

T.P.N 764

ORSTOM NIAMEY / INRA RENNES

Sônia FURIAN
Laurent BARBIERO



1991

MIOSSE W. D. R. C. L.

**RAPPORT D'UNE MISSION D'APPUI
AU PROGRAMME DE THESE DE L. BARBIERO**

**ORIGINES DE LA REPARTITION DE
L'ALCALINISATION
SUR LE PERIMETRE DE LOSSA
(TERRASSES DU NIGER)**

PROJET:

**"AMELIORATION D'UN SOL SODIQUE NON SALE
PAR UNE CULTURE FOURRAGERE"**

Octobre 1991, Niamey - République du NIGER

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N°

Cote

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° : 35497

Cote : B ex 1

SOMMAIRE

I PRESENTATION ET OBJECTIFS DE LA MISSION (page 3)

II CADRE GEOGRAPHIQUE DU TERRAIN (page 3)

III TRAVAIL REALISE (page 4)

1 Reconnaissance générale du terrain

2 Description morphologique des sols

3 Etude géomorphologique initiale

4 Prélèvements d'échantillons

5 Elaboration du rapport de mission

IV CONCLUSION (page 13)

BIBLIOGRAPHIE (page 15)

ANNEXE

Description des profils (page 16)

Cette mission a été réalisée grâce au concours de Claude CHEVERRY, Michel RIEU et Alain CASENAVE. Nous tenons à les remercier pour cela.

Ces remerciements s'adressent également à Roland POSS, qui a accepté de nous accompagner une demi journée sur le terrain, pour ses conseils judicieux.

Nous remercions également l'I.N.R.A.N. qui a permis le développement de la recherche sur le périmètre de LOSSA, en particulier Abou KANO, responsable de la station, ainsi que Idrissa OUMAROU, géographe de la section de cartographie et de classification des sols de l'I.N.R.A.N.-D.R.E., pour son accueil et pour le prêt de matériel d'observation de photographies aériennes.

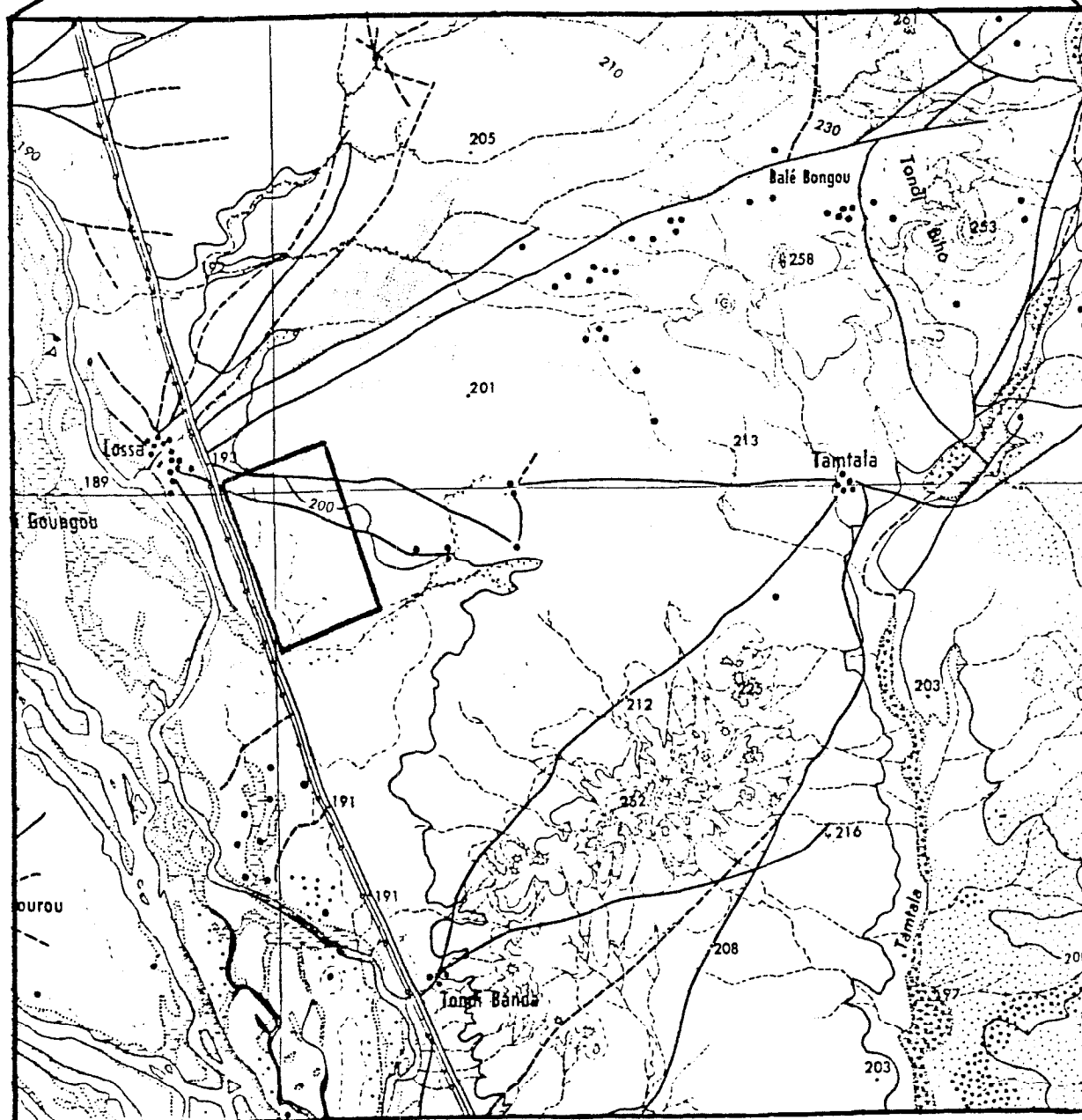
Nous n'oublierons pas Mamadou HANGO, observateur de l'I.N.R.A.N., qui a montré beaucoup d'intérêt à organiser les travaux et à nous accompagner sur le terrain.

Les conseils de Pierre CURMI et Claude CHEVERRY ont été précieux pour la rédaction de ce rapport; qu'ils soient remerciés également pour cela...

...à la mémoire de Sylvie CURMI.

NIGER

FIGURE 1: CADRE GEOGRAPHIQUE



I. PRESENTATION ET OBJECTIFS DE LA MISSION:

Cette mission a été effectuée par Mlle Sônia FURIAN, étudiante de doctorat au sein du laboratoire de sciences du sol de l'INRA de RENNES, sous la responsabilité de M. Pierre CURMI.

Les objectifs de la mission étaient:

- une reconnaissance physique du milieu (géologie, géomorphologie, pédologie)
- une caractérisation de la couverture pédologique des parcelles expérimentales.
- une interprétation sur l'origine de la répartition de l'alcalinisation sur le périmètre de LOSSA.

II. CADRE GEOGRAPHIQUE DU TERRAIN

Le travail s'est déroulé sur le périmètre irrigué de LOSSA, station de recherche de l'INRA, situé à 80 km au Nord-Ouest de Niamey, sur les terrasses de la rive gauche du fleuve Niger (figure 1).

Le périmètre, dominé à l'est par des structures tabulaires cuirassées, repose sur un glaciais de dénudation, entaillé perpendiculairement au fleuve par de nombreux cours d'eau temporaires (figure 2).

Localement se sont développées des dunes qui permettent la culture du mil.

Une terrasse alluviale se raccorde au glaciais par un petit talus. Elle présente également des recouvrements sableux d'origine éolienne.

C'est un de ces bourrelets sableux qui la sépare de la basse terrasse argileuse, mise en valeur par la culture du riz.

D'un point de vue géologique, les structures tabulaires correspondent à des dépôts cuirassés du continental terminal. Le périmètre repose sur le socle précambrien. La roche est une migmatite calco-sodique, qui affleure localement et est toujours présente à faible profondeur (1 à 2 m).

Le climat fortement évaporant est de type sahélien. Une seule saison des pluies apporte suivant les années 300 à 400 mm d'eau. Le bilan P-ETP est négatif (- 1800 à - 2000 mm).

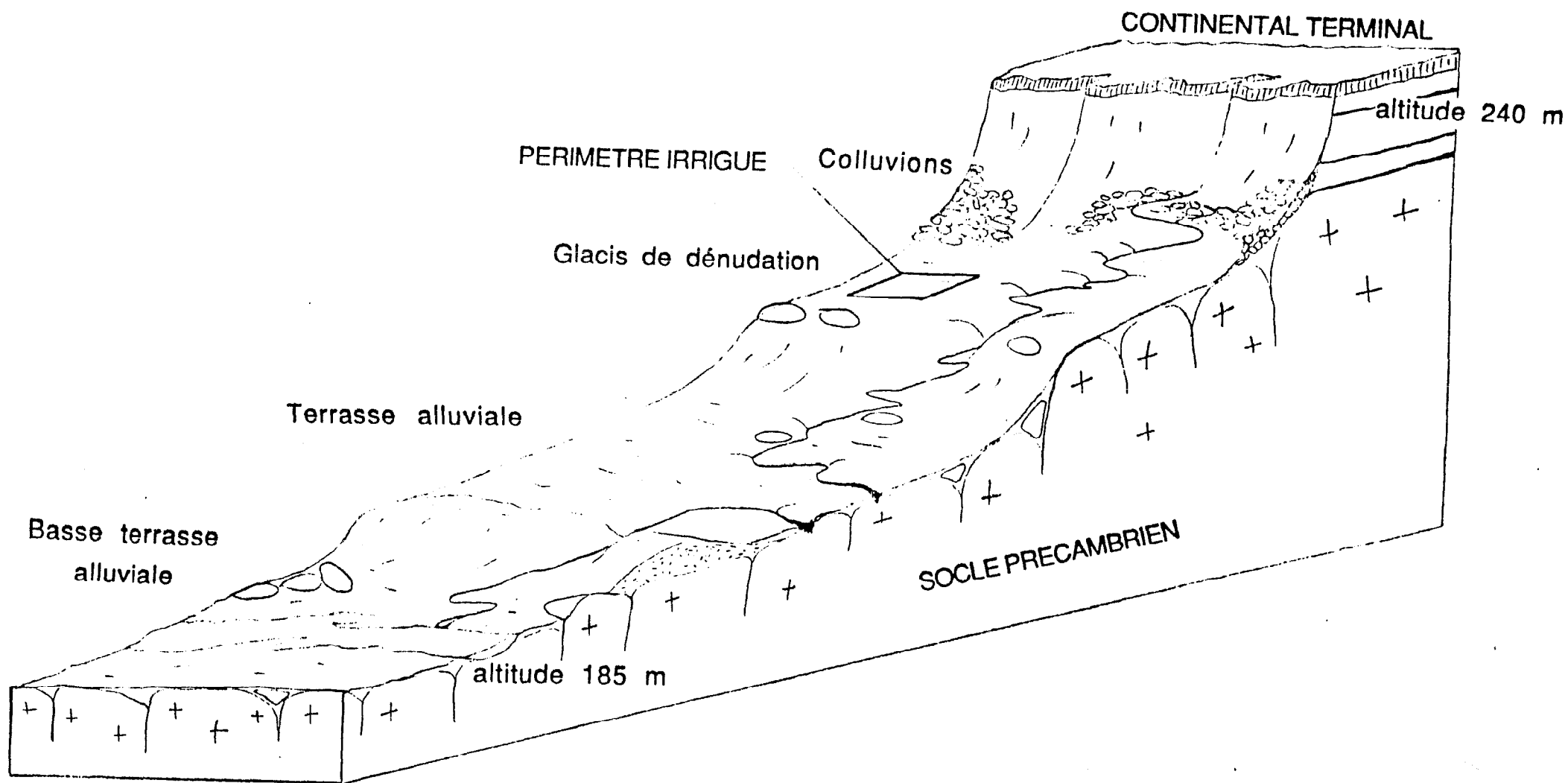


FIGURE 2: GEOMORPHOLOGIE DES ENVIRONS DE LOSSA

III. TRAVAIL REALISE

Le travail s'est déroulé sur la parcelle E2 de la partie INRAN du périmètre (figure 3). Cette parcelle de 1 hectare (100 x 100 m) se compose à 35 % de sols alcalins, et à 65 % de sols qualifiés par FEAU (1976) de sols bruns subarides pas ou peu alcalins.

Au préalable, une cartographie précise de la parcelle a été réalisée sur la base de relevés de pH de sol aux profondeurs de 20 et 40 cm. Ce travail a été très utile pour choisir les emplacements des profils pédologiques décrits durant la mission. Les relevés de pH du sol à la profondeur de 40 cm sont présentés sous forme de carte sur la figure 4.

Deux fosses ont été creusées (une petite 100 x 100 x 130 cm et une longue 350 x 100 x 130 cm) afin de caractériser la morphologie des horizons et de comprendre leur distribution latérale et verticale.

Remarque: l'étude de l'alcalinisation des sols du périmètre de LOSSA a été menée par BARBIERO, 1989 et 1990, VALLES *et al.*, 1991.

Au sein de la solution du sol, on observe localement la précipitation de la calcite sous l'influence de l'évaporation. L'alcalinité résiduelle calcite de la solution est positive (Carbonates > Calcium en meq). On constate alors, au cours de l'évaporation, une augmentation de la teneur en carbonates et une diminution de la teneur en calcium. Le pH augmente considérablement jusqu'à des valeurs voisines de 9,5 et le pourcentage de sodium échangeable dépasse 20 à 25 %. Ce phénomène d'augmentation du pH et du pourcentage de sodium échangeable est plus ou moins avancé suivant les endroits. On observe toujours un gradient de pH de la surface vers la profondeur dans les 80 premiers centimètres. La conductivité électrique de l'extrait à saturation reste faible: elle se situe entre 50 et 100 μ S pour les sols bruns subarides typiques et 250 à 300 μ S pour les sols alcalins.

Dans cette étude, le terme de "sols alcalins" est employé pour des sols dont le pH dépasse 8,5 à 40 cm de profondeur. Cette limite, fixée arbitrairement correspond également à l'apparition d'une croûte claire en surface après labour et à la limite des 60 coups de masses nécessaires pour enfoncer une tige de 10 mm de diamètre à 30 cm de profondeur au cours du test de résistance à la pénétration (à l'aide d'un pénétromètre dynamique manuel léger).

En revanche, on appellera "horizon alcalin" un horizon caractérisé par des phénomènes de précipitation de calcite et une augmentation du pH (par rapport aux autres horizons) sans atteindre nécessairement des valeurs très alcalines.

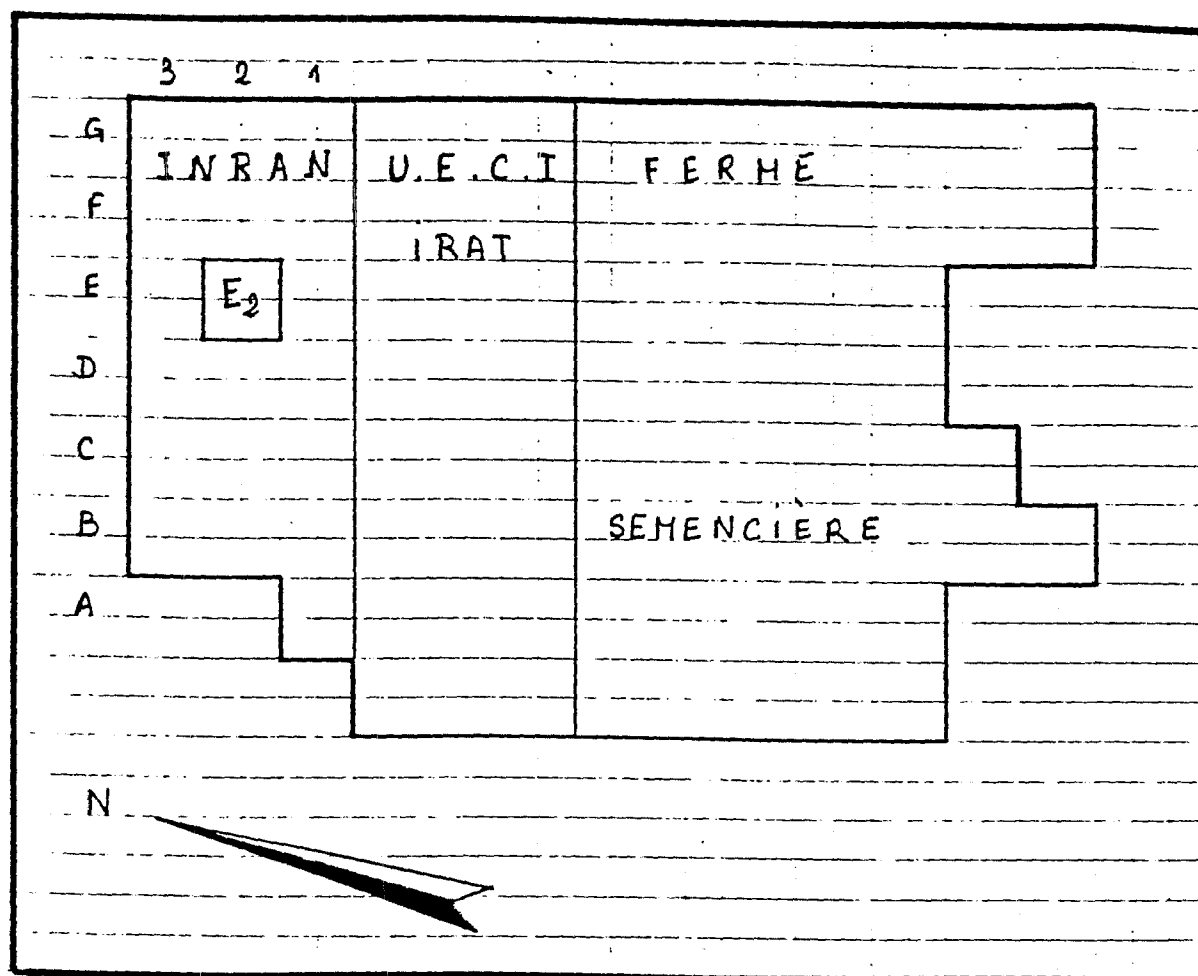


FIGURE 3: LOCALISATION DE LA PARCELLE E₂

La compacité du sol n'a pas été retenue comme indicateur de l'alcalinisation d'un horizon. L'étude menée en 1990 a montré que le pH est le meilleur indicateur de l'alcalinisation (BARBIERO, 1990)

Ces définitions sont en accord avec les observations faites les années précédentes (VALLES, 1989, BARBIERO, 1989 et 1990).

Le travail s'est déroulé en 5 grandes étapes:

III. 1 Reconnaissance générale du terrain.

La parcelle a été resituée dans le contexte morphogéologique du paysage.

Nous nous sommes appuyés pour cela sur les documents de base suivants:

a - carte topographique

Feuille ND-31-VIII-4c (GOTHEYE 4c) échelle 1/50.000, dessinée et publiée par l'institut géographique national, Paris 1964.

b - carte géologique

Carte géologique du NIGER Occidental, planches 1 et 2, échelle 1/200.000, réalisée par le B.R.G.M. 1966.

c- carte pédologique

Carte pédologique de reconnaissance de la république du NIGER, feuille de Niamey, échelle 1/500.000, réalisée par le service de cartographie de l'ORSTOM, 1967 (GAVAUD et BOULET).

d- photographies aériennes

d1 - couverture aérienne verticale - 1975
NIG 40/600, photos n° 2474 et 2475, SAG II 2039 88,58

d2 - couverture aérienne verticale - 1979
NIG 75/700, photos n° 86 et 87, UAG II 3101 153,43

E2: carte des pH et localisation du transect

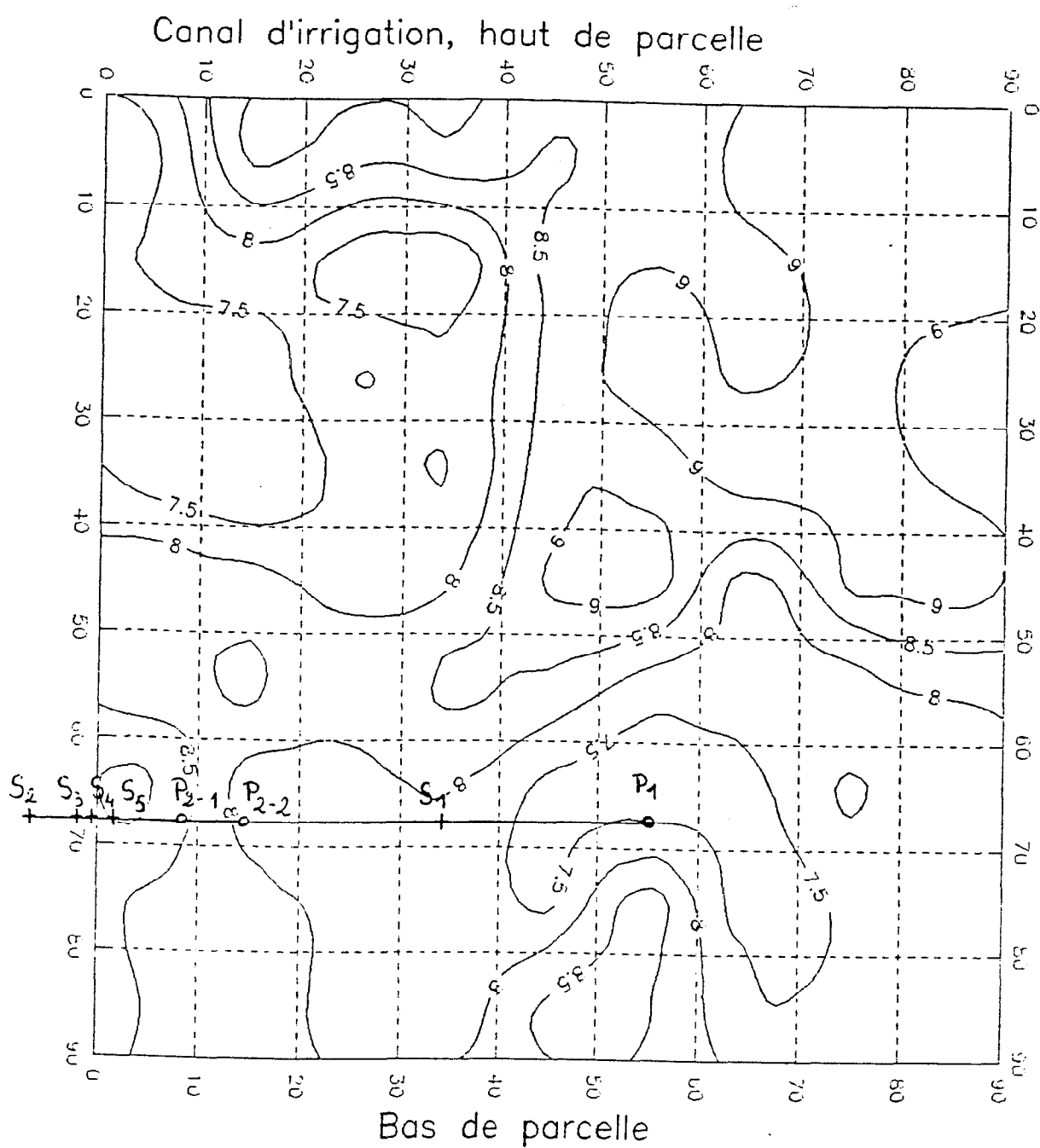


FIGURE 4: CARTE DES pH DE LA PARCELLE E2 A 40 CM DE PROFONDEUR ET LOCALISATION DU TRANSECT

III. 2 Description morphologique des sols

3 profils pédologiques ont été décrits et reliés à l'aide de 5 sondages à la tarière selon la méthode proposée par BOULET et al., 1982. Les descriptions sont présentées en annexe.

La description des horizons a été réalisée en utilisant les termes préconisés par le glossaire de pédologie ORSTOM, 1969.

Les caractéristiques morphologiques des horizons nous ont permis d'identifier 6 horizons et d'établir leur distribution verticale et latérale. A partir de ces distributions, nous avons conçu une séquence de sols (figure 5) qui montre la répartition géométrique des horizons ainsi que leurs variations.

III. 2.1 Commentaires sur la distribution des horizons

Le transect étudié se localise dans le bas des parcelles E2 et E3. Il recoupe une petite tache alcaline sur le bord de la parcelle E2 (figure 4).

Nous nous sommes, dans le cadre de cette mission, limités à l'étude d'une petite tache alcaline sur la parcelle expérimentale E2, car la partie supérieure a été réservée pour la mise en culture de fourrage et l'étude de l'interaction plante-sol.

La parcelle est plane; le microrelief a disparu suite à l'aménagement du périmètre.

succession verticale des horizons

Le profil 1 présente verticalement 6 horizons, le profil P2-2 en présente 5 et le P2-1 seulement 4. Cette diminution du nombre d'horizons se fait au profit de l'augmentation de l'épaisseur de l'horizon alcalin qui se rapproche de la surface.

L'horizon alcalin est présent à 50 cm de profondeur dans la fosse 1 mais remonte à moins de 30 cm dans la fosse 2 (P2-1). Sa limite n'est pas nette et se situe entre 15 et 28 cm. L'alcalinisation semble intéresser également le bas de l'horizon de surface. L'intensité de l'alcalinisation (augmentation du pH) s'accroît avec l'épaississement de l'horizon alcalin. Ceci apparait sur la figure 6.

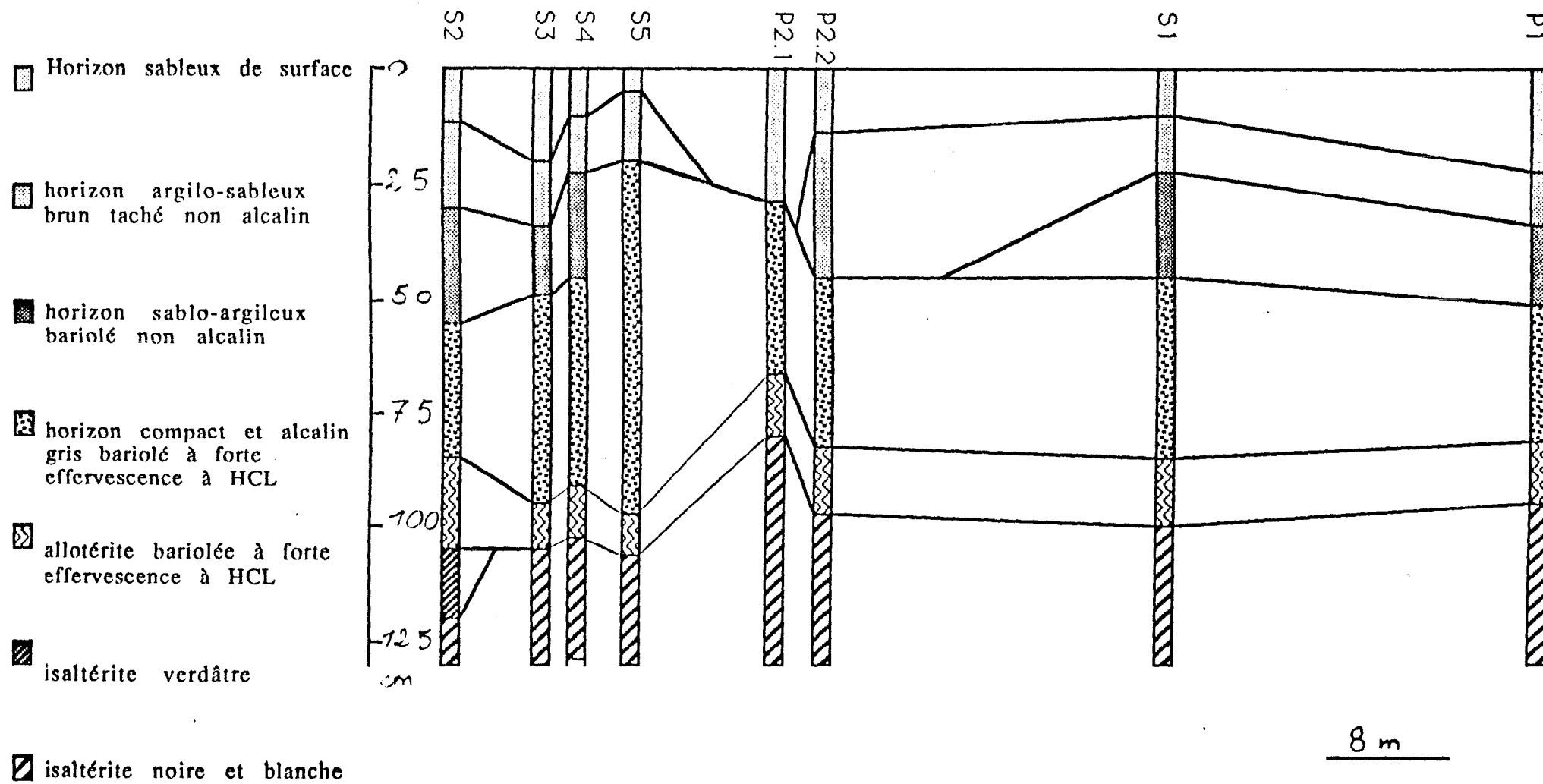


FIGURE 5: DISTRIBUTION DES HORIZONS SUR LE TRANSECT

*description et distribution latérale des horizons*Horizon 1: *"isaltérite noire et blanche"*.

La structure de la roche est conservée. Sa structure est grenue. Sa texture est moyenne à grossière dominante, localement plus fine suivant des bandes différenciées de la roche. Elle a tendance à se désagréger en grains. La limite supérieure de cette isaltérite est irrégulière en raison d'anciennes fractures de la roche où la pédogénèse a été plus rapide. Sa géométrie est irrégulière.

L'isaltérite apparaît à environ 1 m de profondeur sur l'ensemble du transect (80 à 120 cm).

Horizon 2: *"allotérite bariolée à forte effervescence à HCl"*.

La couleur de la matrice argileuse est 10 YR 4/4 à 5/4 et présente de nombreuses taches. La structure est polyédrique angulaire friable avec une importante porosité tubulaire fine. Elle réagit fortement au test d'effervescence à l'acide chlorhydrique. On note une quantité importante de carbonates répartis de manière diffuse (en pseudomycelium) ou concentrée (taches et septarias). Le pH est alcalin à très alcalin suivant les endroits (7,5 à 9,6).

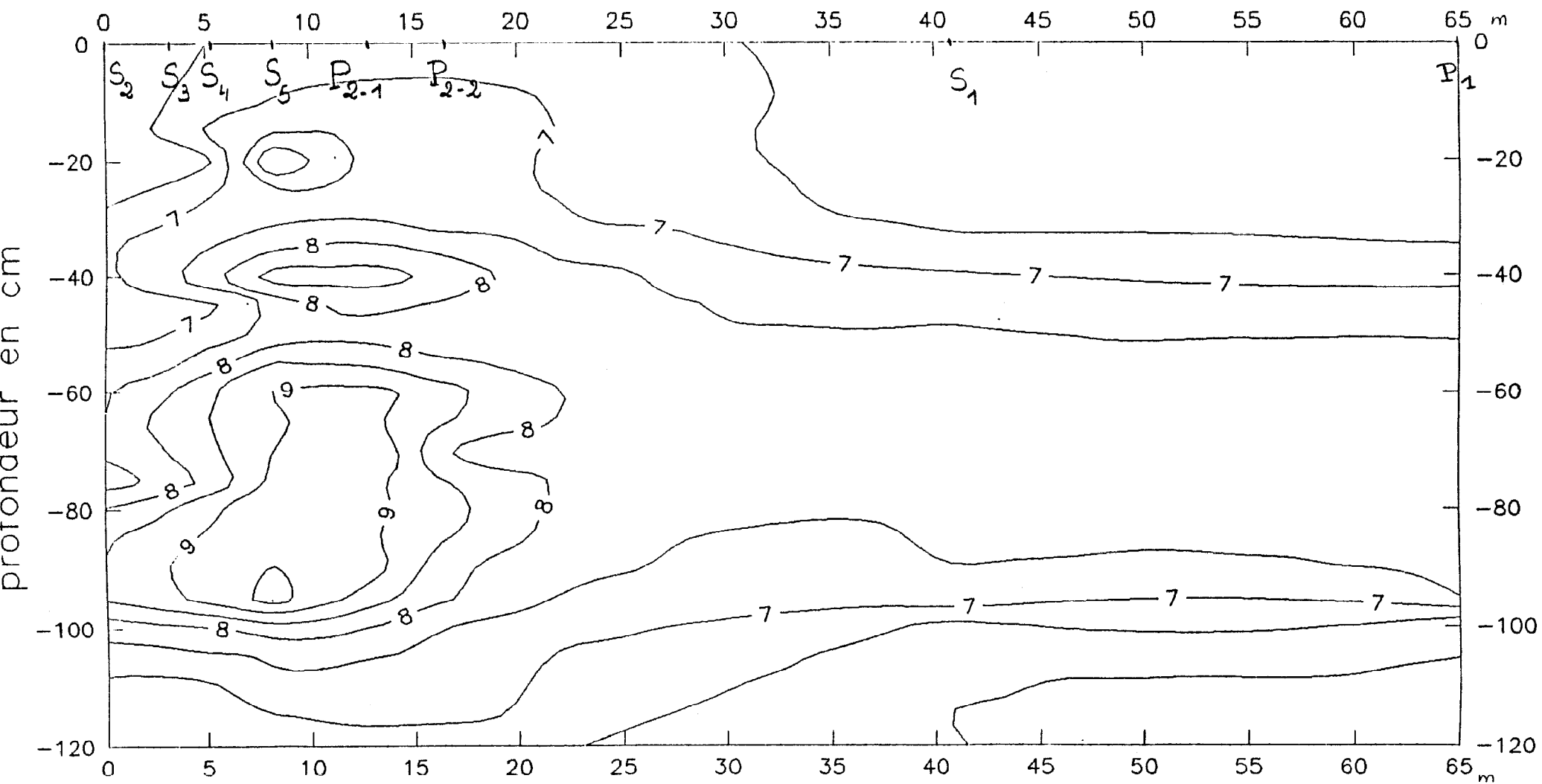
L'allotérite apparaît entre 80 et 100 cm. Son épaisseur est très irrégulière (20 à 50 cm). La limite supérieure est irrégulière et ondulée, soulignée par une concentration de taches blanches carbonatées.

Horizon 3: *"horizon compact et alcalin gris bariolé à forte effervescence à HCl"*.

Sa couleur est 10 YR 4/6. Il présente de nombreuses taches. La texture est très difficile à estimer. Les agrégats dégagés restent compacts dans l'eau. Il est difficile, même par immersion prolongée, d'humidifier les agrégats, et donc d'apprécier la texture du sol. Cette particularité est vraisemblablement liée à un phénomène de cimentation qui vient prendre le sol en masse. Nous avancerons que la texture semble argilo-sableuse à sablo-argileuse. Les éléments constitutifs sont enveloppés d'un matériel grisâtre réagissant fortement au test d'effervescence à l'acide. Le pH varie suivant les zones de 7,5 à 9,5.

Cet horizon compact se développe au dessus de l'allotérite. Son épaisseur est variable (25 à 60 cm). En fonction de cela il se rapproche de la surface. Sa limite est irrégulière et ondulée. L'augmentation de son épaisseur va de pair avec le renforcement du caractère alcalin et avec l'augmentation de la quantité de calcite précipitée.

FIGURE 6: COURBES D'ISO-pH SUR LE TRANSECT



Cet horizon se développe sur tout le transect étudié mais, à quelques centaines de mètres de là, il n'apparaît pas. On passe d'une allotérite non alcaline, sans précipitation de calcite, à l'horizon sablo-argileux bariolé non alcalin.

Horizon 4: *"horizon sablo-argileux bariolé non alcalin"*.

Sa couleur est 10 YR 4,5/6. La structure est polyédrique peu nette. La porosité est tubulaire fine dans les agrégats. Elle est associée à une porosité fissurale qui se développe de manière très importante par dessèchement du profil. On note la présence de petits nodules carbonatés blancs. L'effervescence à l'acide est faible et localisée sur ces nodules. Le pH de l'horizon se situe autour de 7,2.

Cet horizon sablo-argileux non alcalin apparaît entre 30 et 50 cm en P1 et 20 à 45 cm en S1. Il disparaît entre S1 et P2 (sa limite n'a pas encore été précisée) suite à l'épaississement de l'horizon alcalin. Sa limite avec l'horizon supérieur est ondulée.

Horizon 5: *"horizon sableux brun taché non alcalin"*.

Sa couleur est 7,5 YR 4 à 4,5/6. La structure est polyédrique de 2 à 3 cm. La porosité tubulaire fine s'associe rapidement, par assèchement du profil à une porosité fissurale importante. Pas d'effervescence à l'acide. Le pH se situe autour de 6,2 à 7,1.

Cet horizon argilo-sableux se situe entre 22 et 34 cm en P1 et entre 13 et 45 cm en P2-2. Il disparaît en biseau sur les faces latérales de la fosse 2 entre les profils P2-2 et P2-1. A ce niveau, l'horizon compact alcalin s'épaissit et remonte jusqu'à l'horizon sableux de surface. La limite supérieure de l'horizon 5 est ondulée mais nette par sa couleur, sa texture et sa différence de friabilité.

Horizon 6: *"horizon sableux de surface"*.

Sa couleur est 7,5 YR 4/6. La structure est massive peu nette avec une porosité tubulaire fine et une porosité vésiculaire très fine bien développée. Pas d'effervescence à l'acide: le pH varie de 6,1 à 7,2.

Il se développe sur toute la séquence. Son épaisseur est variable et comprise généralement entre 5 et 20 cm mais avec un maximum en P2-1 de 28 cm. A ce niveau, sa limite est peu nette et le bas de l'horizon est touché par le phénomène d'alcalinisation.

"Isaltérite verdâtre".

Cette altérite à structure de la roche conservée a un aspect schisteux qui nous permet de supposer qu'il s'agit d'un filon micacé. Sa couleur d'altération est verdâtre avec des traces blanchâtres. Celles-ci réagissent fortement au test d'effervescence à l'acide.

Cette isaltérite n'a été observée que dans le sondage tarière S2. Elle se développe entre l'isaltérite noire et blanche et l'allotérite bariolée. Son épaisseur ne dépasse pas 15 cm.

III.2.2. Les principaux problèmes soulevés

- Au cours de l'aménagement du périmètre les parcelles ont été remises à plat, ce qui nous permet de supposer des modifications dans l'horizon superficiel.

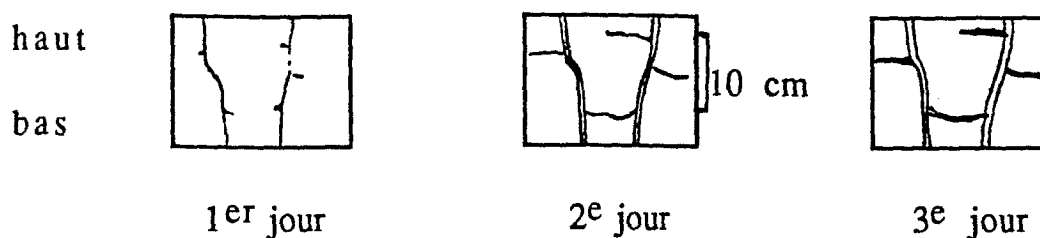
- En ce qui concerne les 5 premiers horizons, les filons de quartz ainsi que quelques lithoreliques que l'on peut suivre sur le profil nous indiquent que le sol s'est développé en place. L'hypothèse d'autochtonie du sol nous paraît la plus plausible. Aucun élément morphologique ne nous permet d'affirmer, contrairement à MARLET 1989, BARBIERO 1989 et 1990, qu'il s'agit de colluvions.

- L'épaississement de l'horizon alcalin compact, au dépend des horizons sus-jacents, ainsi que la répartition des nodules carbonatés dans la porosité fissurale, nous incitent à penser que le phénomène d'alcalinisation est un phénomène secondaire. Il est intervenu après la formation du sol brun subaride régional.

- L'étude géochimique du milieu (BARBIERO 1990, VALLES et al. 1991) a permis de comprendre le phénomène d'alcalinisation des sols ainsi que la formation d'un horizon moins bien structuré par dispersion des argiles: au cours de l'évaporation, la calcite précipite au sein de la solution du sol et cette dernière s'enrichit en carbonates et s'appauvrit considérablement en calcium. La proportion de sodium s'accroît alors sur le complexe argilo-humique.

Cependant, il reste à déterminer la nature du ciment permettant la prise en masse de cet horizon et à comprendre la formation des petits nodules noirs arrondis que l'on retrouve dans l'ensemble des horizons pédologiques. Leur répartition, indépendante de l'intensité de l'alcalinisation permet de penser que leur formation est antérieure à ce phénomène.

- On a pu observé le développement de la porosité fissurale sur les parois des fosses en trois jours. Cette porosité est surtout verticale, et de son développement résulte une macro-structure prismatique à cubique très nette. Elle intéresse tous les horizons. Son développement est décrit sur la figure n° 7.



Pour leur développement, les racines suivent les plans de fissure. Dans l'horizon alcalin compact, la porosité fissurale est moins nette. La largeur des fissures n'est plus que de 1 à 2 mm contre 8 à 10 mm dans les horizons supérieurs.

Les nodules carbonatés, liés au phénomène d'alcalinisation, sont alignés dans le prolongement de la fissuration. Ces observations nous permettent de supposer que:

- la fissuration est présente à l'origine, avant alcalinisation du sol,

- certains nodules carbonatés se sont formés par évaporation de la solution du sol et par précipitation au niveau de ces fissures.

- Du point de vue de la répartition de l'alcalinisation au sein de la parcelle, après irrigation et labour se développe en surface une tache plus claire à limite très nette. D'après les observations de profils, cette tache correspond à la remontée de l'horizon compact alcalin à une profondeur inférieure à 20 cm. Cet horizon a été remanié par le labour et se retrouve en surface, mélangé avec l'horizon sableux. Le caractère alcalin provoque alors la formation d'une croûte plus claire par évaporation. Les observations nous montrent que l'alcalinisation est un phénomène qui intéresse une grande superficie, mais que ses manifestations agronomiques de surface (formation d'une croûte dure et peu perméable) sont liées localement à la remontée de l'horizon alcalin à une profondeur inférieure à 15 ou 20 cm.

- L'alcalinisation au sens large (formation d'un horizon compact, alcalin et riche en carbonates au dessus de l'altérite), d'après l'étude géochimique (BARBIERO 1990, VALLES et al. 1991) est liée à des phénomènes de précipitation dans la solution du sol sous l'influence de l'évaporation.

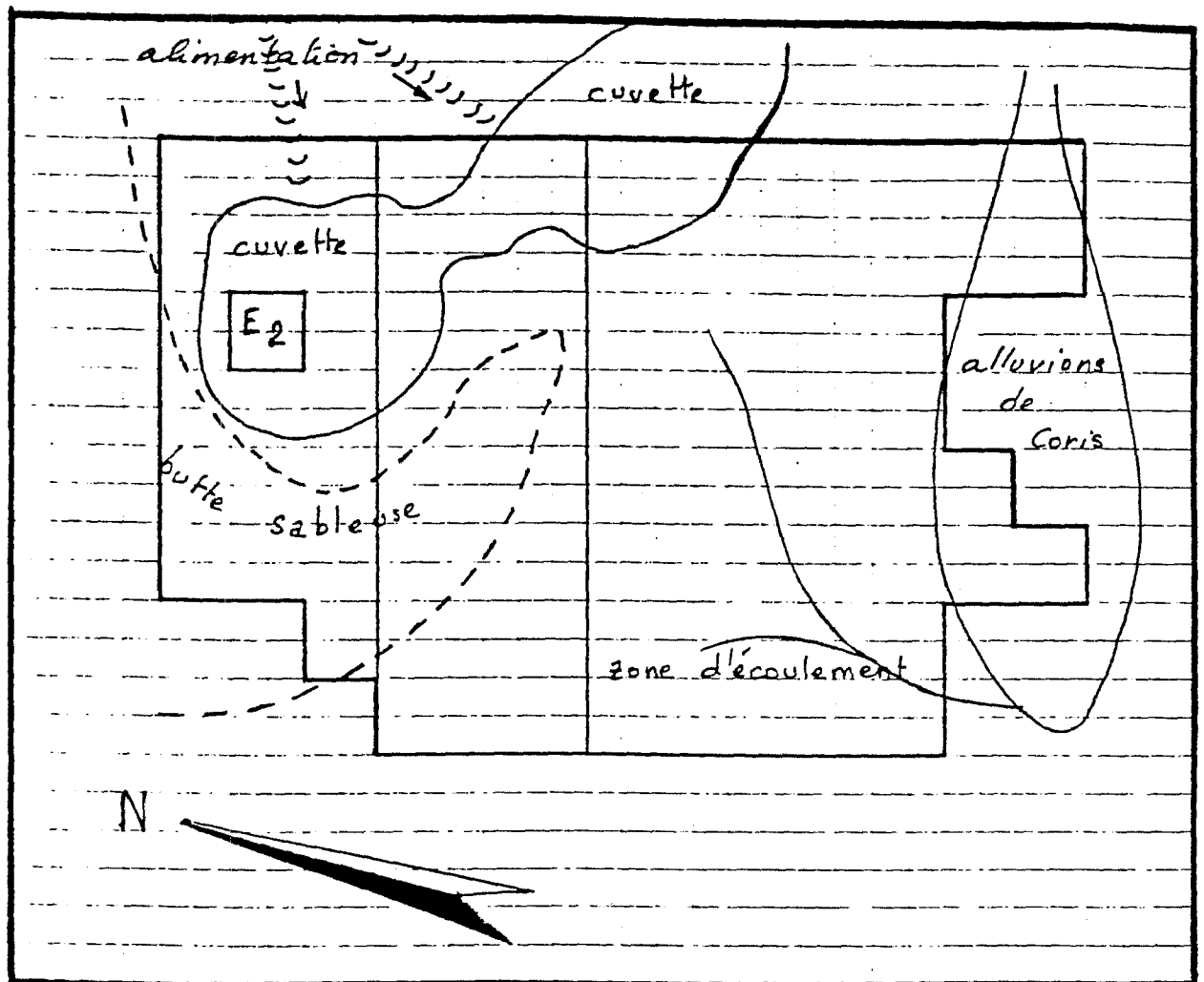


FIGURE 8: TOPOGRAPHIE INITIALE

Si l'évaporation de la solution du sol est responsable de l'alcalinisation, deux hypothèses doivent être soulevées:

- *La qualité chimique de l'eau évaporée était différente suivant la localisation; "très alcalinisante" dans les zones aujourd'hui alcalines, à "peu alcalinisante" dans les zones aujourd'hui pas ou peu alcaline.*

Sous cette hypothèse, l'origine de la variation doit être recherchée dans la variation de la roche mère. En l'absence d'analyse précise, nous pouvons simplement déclarer que la roche mère présente le même aspect et ne semble pas différente en P1, P2-1 et P2-2.

- *La qualité chimique de l'eau était partout la même, alcalinisante, mais la quantité d'eau évaporée dans le sol a été variable en fonction de la localisation. L'intensité de l'alcalinisation à un endroit donné dépend de la quantité d'eau qui s'est évaporée dans le sol à cet endroit.*

Cette hypothèse laisse supposer la présence d'une nappe superficielle locale, ou de dépressions permettant l'accumulation temporaire de l'eau et l'évaporation sur place.

Pour vérifier cela, nous avons eu recours à des photographies aériennes de 1975 et 1979, avant et après l'ouverture du périmètre de LOSSA.

III.3 Etude géomorphologique initiale

Nous avons observé la paire stéréoscopique 86 et 87 de la couverture aérienne de 1979, date à laquelle le périmètre avait déjà été mis en service. D'après la répartition des lignes de partages des eaux et du réseau hydrographique, nous avons constaté que l'aménagement du périmètre a modifié les écoulements sur cette surface. En raison de cela, nous avons eu recours à la couverture aérienne de 1975, paire stéréoscopique 2474 et 2475.

Après agrandissement des photographies, il apparaît que la partie Nord du périmètre était occupée par une cuvette en amphithéâtre à fond ondulé communiquant avec une autre cuvette plus allongée. Ces cuvettes sont séparées des zones d'écoulement par une légère butte sableuse (figure 8).

Ces observations confirment que l'horizon superficiel a été modifié par décapage des buttes et comblement des creux au cours de l'aménagement.

Ces cuvettes à fond ondulé sont des éléments qui renforcent l'hypothèse d'accumulation et d'évaporation localisée de l'eau.

De nouvelles observations de terrain hors périmètre nous ont permis de déceler dans la micro-topographie, des dépressions allongées permettant l'alimentation de ces cuvettes.

Ces dépressions sont recouvertes par des croûtes algaires ce qui confirme la présence d'eau en saison des pluies, sans écoulements violents.

III.4. Prélèvements d'échantillons

Nous avons prélevé 9 échantillons de sol non remaniés destinés à la confection de lames minces, dans le but de préciser:

- les constituants du sol et leur organisation,
- le rapport entre plasma, squelette et porosité,
- la nature du ciment causant la prise en masse de l'horizon alcalin,
- les filiations entre les différentes phases de la pédogénèse, et dans ce cas, confirmer l'hypothèse d'une alcalinisation secondaire des sols.

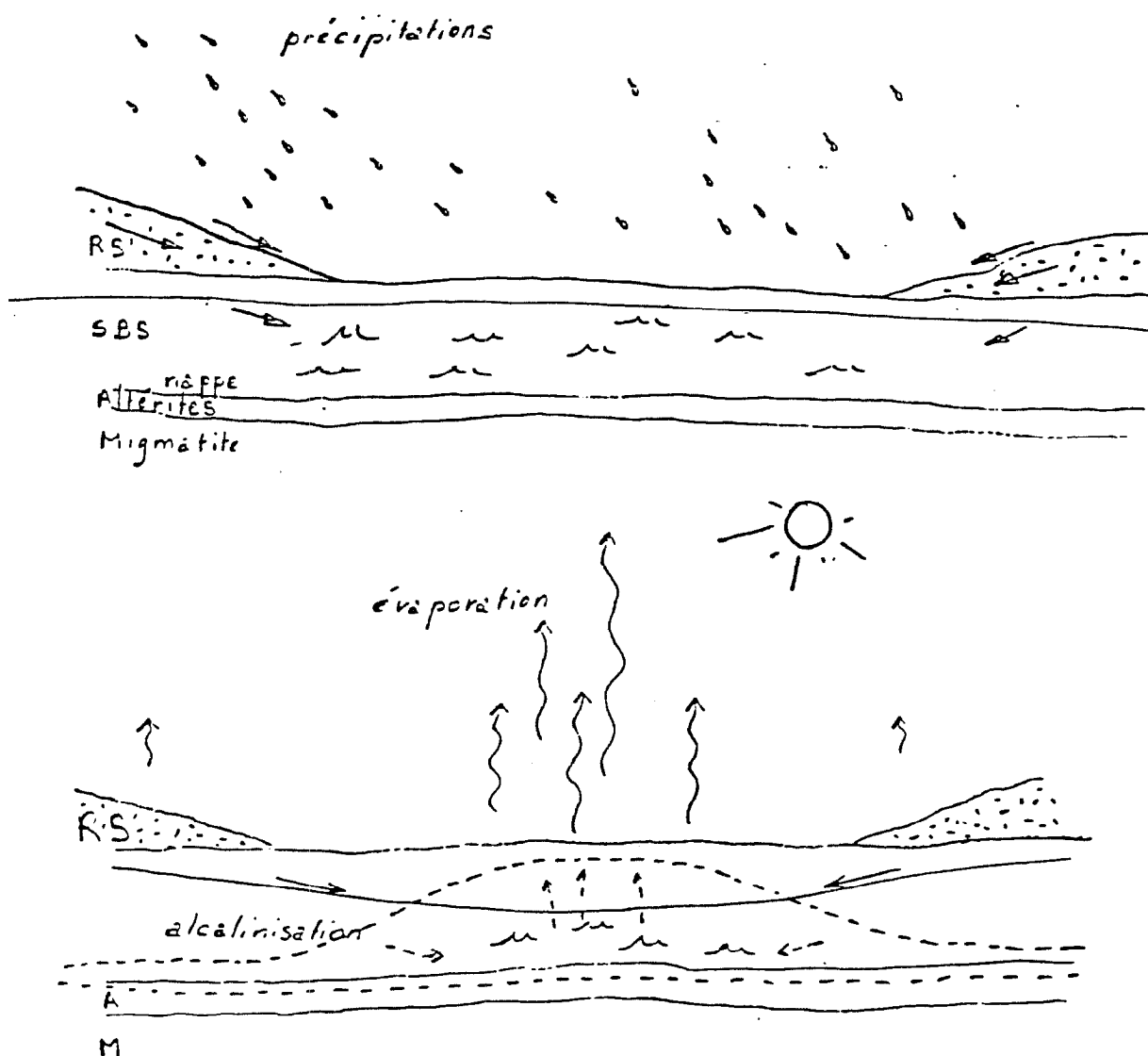
Des nodules carbonatés ainsi que des nodules ferrugineux noirs ont également été collectés dans le but d'une analyse précise de leur composition chimique. L'étude géochimique a montré que le magnésium et le potassium semblent contrôlés par des phénomènes de précipitation (sans qu'aucune forme cristalline n'ait pu être décelée); ces analyses permettront peut-être de confirmer cette hypothèse.

III.5. Elaboration du rapport de mission

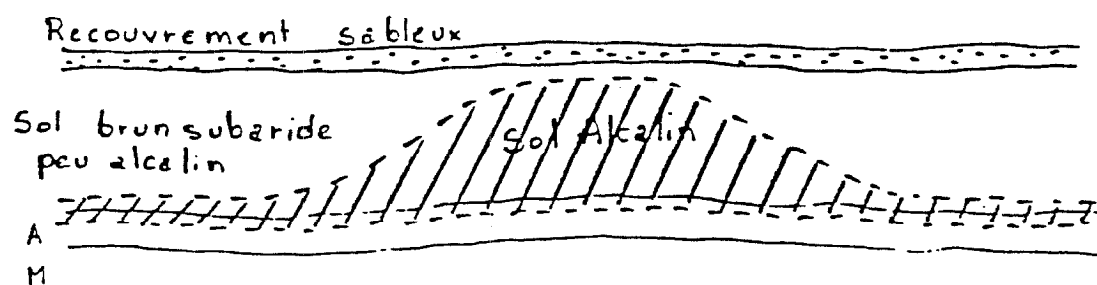
Le rapport résulte de la synthèse effectuée à la suite de chaque journée de terrain.

FIGURE 9: SCHEMA HYPOTHETIQUE DE LA FORMATION DES SOLS ALCALINS

AVANT L'OUVERTURE DU PERIMETRE
DE LOSSA



APRES LA MISE EN SERVICE
(DEPUIS 1976)



IV. CONCLUSION

Dans le contexte régional, le réseau hydrographique a un fonctionnement très particulier. La concentration de pluies courtes dans une saison contribue à des écoulements irréguliers et intermittents.

Cette dynamique de l'eau modèle le paysage soit par des phénomènes érosifs linéaires (coris), soit par l'alimentation de cuvettes de taille et de forme variables. C'est dans ce dernier contexte qu'intervient le phénomène secondaire de pédogénèse qu'est l'alcalinisation des sols.

A partir de ce travail, nous pouvons proposer un schéma résumant les hypothèses de formation des sols (figure 9).

A l'origine, la zone étudiée présentait une cuvette peu marquée (dénivellation 20 à 30 cm) entourée par des buttes sableuses. Durant la saison des pluies, l'eau s'écoulait soit en surface soit en sub-surface vers le centre de la cuvette. Une nappe se formait alors préférentiellement à cet endroit.

Ces eaux présentant une alcalinité résiduelle calcite positive (alcalinité > calcium en meq/l) ont alcalinisé les sols par précipitation de calcite sous l'influence de l'évaporation. L'alcalinisation a été plus forte aux endroits où l'évaporation était maximale, c'est à dire là où la nappe était plus proche de la surface (remontée de la roche, de la nappe, absence de recouvrements sableux...).

La parcelle E2, sur laquelle ont eu lieu les observations se situe dans la cuvette Nord.

La présence de cette cuvette suffit à expliquer la formation de l'horizon compact et alcalin (horizon 3).

La nature ondulée du fond de la cuvette, la présence de petits recouvrements sableux, permet d'expliquer l'épaississement de l'horizon et le renforcement de l'alcalinisation à certains endroits.

Des sondages à la tarière effectués en dehors de cette cuvette en 1989 ont montré que l'allotérite ne présente pas de précipitation de carbonates et que "l'horizon 3" compact ne se forme pas. Le sol est alors un sol brun subaride non alcalin développé sur migmatite altérée.

La durée de ce phénomène nous est encore inconnue, mais il semble s'être arrêté en 1976, lors de l'aménagement du périmètre par la modification des écoulements.

Aujourd'hui, les causes de l'alcalinisation localisée ont disparu suite à la remise à plat du terrain.

Cette hypothèse, construite à partir des observations faites durant la mission et de l'étude géochimique menée en 1989 et 1990, doit être confirmée par des examens plus approfondis:

- de la distribution des horizons des sols aux alentours
- de la continuité des observations
- de la morphologie du terrain hors périmètre
- de la qualité chimique des eaux de ruissellement à proximité du périmètre.

A ce sujet, quelques analyses chimiques d'eau d'écoulements superficiels, fournies par M. Y. GUERO de l'université de Niamey semblent montrer que régionalement les eaux présentent une "alcalinité résiduelle calcite" positive; elles sont dangereuses car susceptibles de former de tels sols alcalins.

L'alcalinisation des sols du périmètre de LOSSA, dont il a été question dans ce rapport, n'a plus cours puisque l'aménagement du périmètre a modifié la cause de l'alcalinisation que sont les dépressions dans la topographie. Cela ne doit cependant pas faire oublier les risques encourus sous irrigation avec une eau alcalinisante comme celle du fleuve Niger (BARBIERO, 1990, BARBIERO et SALOU, 1991, VALLES *et al.*, 1991). En effet, si l'on compare la qualité chimique de l'eau d'irrigation du bras mort de LOSSA avec celle utilisée à l'Office du Niger au MALI, on doit s'attendre à une alcalinisation des terres en 15 à 20 ans sur les terrasses du fleuve.

BIBLIOGRAPHIE

BARBIERO L., 1989: Etude des sols sodiques des périmètres de LOSSA et SONA, terrasses du Niger - *rapport de stage ENSA de TOULOUSE*.

BARBIERO L., 1990: Contribution à l'amélioration foncière des terrasses du fleuve Niger - Périmètres de LOSSA et SONA (République du NIGER) - *Mémoire ENSA de TOULOUSE*, 89 p. + annexes.

BARBIERO L. et SALOU M., 1991: Qualité de l'eau d'irrigation des périmètres de LOSSA et SONA.

BOULET R., CHAUVEL A., HUMBEL F.X., LUCAS Y., 1982: Analyse structurale et cartographie en pédologie I et II - *Cah. ORSTOM, ser. pédol.*, vol. XIX n°4, 309-339.

BREWER, 1964: *Fabric and mineral analysis of soils*, N.Y., Wiley.

FEAU C., 1976: Etude pédologique des périmètres de LOSSA et SONA - INRAN/GERDAT.

MARLET S., 1989: Note sur les sols des terrasses du fleuve Niger - INRAN/IRAT.

ORSTOM, 1969: *Initiation documentations techniques n°13*, Paris, 82 p.

VALLES V., 1989: Rapport de mission au NIGER - du 20/08 au 1/09/91 - *Rapport multigr.* ENSA de TOULOUSE.

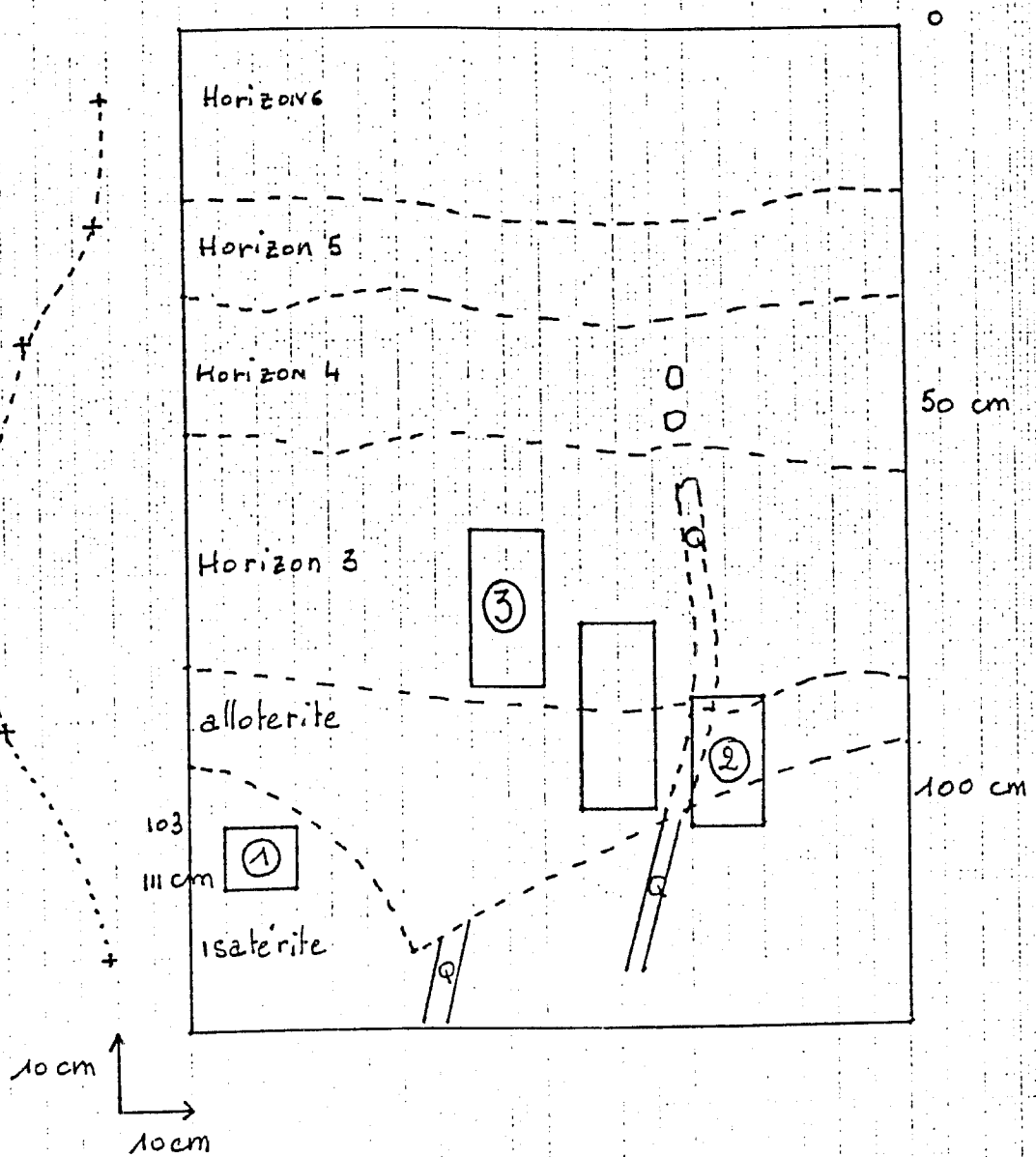
VALLES V., MARLET S., BARBIERO L., POUESSEL F., en cours: Alcalinisation des sols en zone Sahélienne au NIGER I - Etude géochimique des mécanismes responsables de la dégradation des sols - *L'Agronomie Tropicale*.

ANNEXE
DESCRIPTION DES PROFILS

pH

10 9 8 7 6 5

P₁



PROFIL P₁95 et plus: Isaltérite.

Migmatite à foliation 15° par rapport à la verticale, présentant des filons de Quartz de 4 à 5 cm de largeur orientés parallèlement à la foliation. Structure grenue. Tendance à se désagréger en grains. Texture grossière à moyenne dominante suivant les bandes, localement texture plus fine.

Parmi les minéraux constitutifs, on distingue les micas, le quartz, et les feldspaths qui ont tendance à s'altérer en poudre.

Les filons de quartz sont enveloppés d'un matériel argileux blanc grisâtre. Ce matériel blanc se retrouve à la jonction isaltérite-allotérite sous forme de petits volumes de 2 cm. Il réagit au test d'effervescence à l'acide.

On reconnaît parfaitement les anciennes fractures de la roches plus ou moins fines (2 mm à 12 cm). Une altération préférentielle se développe dans ces fractures verticales

pH = 6,1, pas d'effervescence à l'acide sauf autour des filons de quartz. Les carbonates sont répartis en revêtements autour de ces filons.

82 à 95-110: Allotérite.

Son épaisseur est très irrégulière en fonction des anciennes fractures de la roche. Dans ces fractures, la matrice fine est bien développée mais on note encore la présence de minéraux primaires en quantité.

Couleur: 10 YR 4/4 à 5/4. Présence de nombreuses taches grises, ocre (10 YR 7/8), blanches et de petits points rouges vif (0,1 mm). Les taches grises représentent environ 60 % de la surface.

Texture argilo-sableuse avec de nombreux éléments grossiers (quartz, petits nodules carbonatés millimétriques).

Structure polyédrique friable (3 cm). Elle se dégrade en petits polyèdres de 2 à 5 mm.

Porosité tubulaire fine (2 mm) et importante (11 pores/cm²).

Racines très fines fasciculées (6 racines pour (5 cm)²).

pH = 7,5, forte effervescence généralisée. Les carbonates sont répartis en pseudomycélium de manière diffuse dans l'horizon et en nodules indurés à structure concentrique et à fissuration radiale (septarias, BREWER, 1964) ou en taches plus friables.

La limite supérieure est irrégulière ondulée.

52 - 82: Horizon 3

Couleur 10 YR 4/6. Présence de nombreuses taches au contour flou. Horizon bariolé. Les taches grises représentent environ 50 % de la surface.

Texture argilo-sableuse à sables grossiers. D'anciens filons de quartz donnent des graviers de 4 à 5 cm. Présence de nodules carbonatés blancs et de nodules ferrugineux arrondis noirs.

La structure est polyédrique à faces anguleuses (1,5 à 2,5 cm). Localement, on observe un matériel micro-agrégé fin dans les pores tubulaires.

La porosité fissurale est bien développée, surtout verticalement. Des dépôts de sable rouge provenant de l'horizon de surface tapissent les plans de fissures.

On trouve une porosité tubulaire fine millimétrique (8 pores/cm²) et plus rarement tubulaire plus grossière de 3 mm, comblée par un matériel micro-agrégé.

On note la présence de racines fasciculées fines à très fines. Elles se développent uniquement dans les plans de fissures.

pH = 7,9, effervescence généralisée et forte surtout à la base de l'horizon. Les carbonates sont répartis de manière diffuse et en petits nodules à la base de l'horizon, et uniquement sous forme de petits nodules dans la partie supérieure.

La limite avec l'horizon supérieur est irrégulière ondulée.

REMARQUE: cet horizon est le plus compact du profil.

34 - 52 cm: Horizon 4.

Couleur 10 YR 4,5/6.

texture sablo-argileuse. Diminution des éléments grossiers mais présence de petits nodules ferrugineux noirs millimétriques et de nodules carbonatés blancs de même taille.

Structure polyédrique peu nette.

Porosité tubulaire fine (8 pores/cm²).

Le développement d'une porosité fissurale par assèchement du profil détermine une macro-structure prismatique à cubique.

Présence de racines très fines.

pH = 7,2, effervescence faible et localisée sur les petits nodules blancs.

La limite avec l'horizon supérieur est ondulée.

22 - 34 cm: Horizon 5.

Couleur 7,5 YR 4,5/6 à 4/6. Taches plus grisâtres développées dans les agrégats.

Texture argilo-sableuse. Quelques éléments grossiers: graviers de quartz et petits nodules ferrugineux noirs. Très rares petits nodules blancs (1/4 de mm).

Structure polyédrique 2 à 3 cm.

Porosité tubulaire intra agrégats fine

Porosité fissurale assez développée.

Les racines fines à moyennes sont développées entre les agrégats suivant les plans de fissures

pH = 6,2, pas d'effervescence.

La limite est nette et ondulée.

0 - 22 cm: Horizon 6.

Couleur 7,5 YR 4/6.

Texture sableuse à sablo-argileuse avec quelques éléments grossiers. Nodules ferrugineux peu nombreux. Pas de nodules carbonatés.

La structure est massive peu nette.

Porosité tubulaire fine intra agrégats peu développée (2 pores/cm²).

Porosité d'assemblage développée entre les agrégats. Porosité vésiculaire très fine

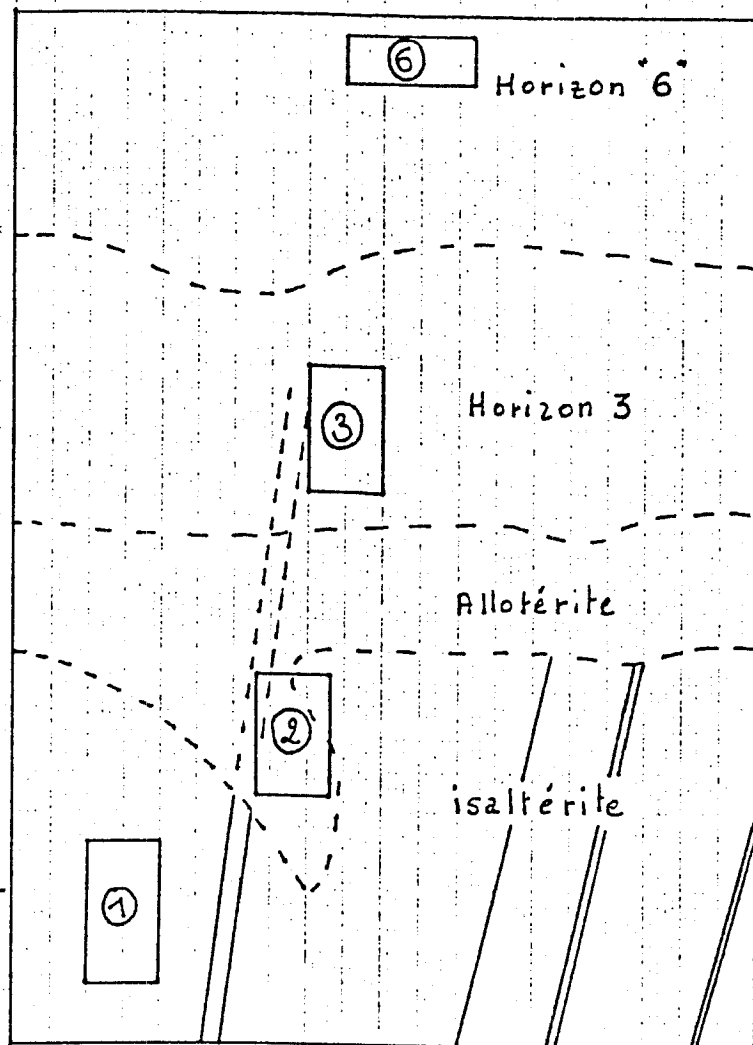
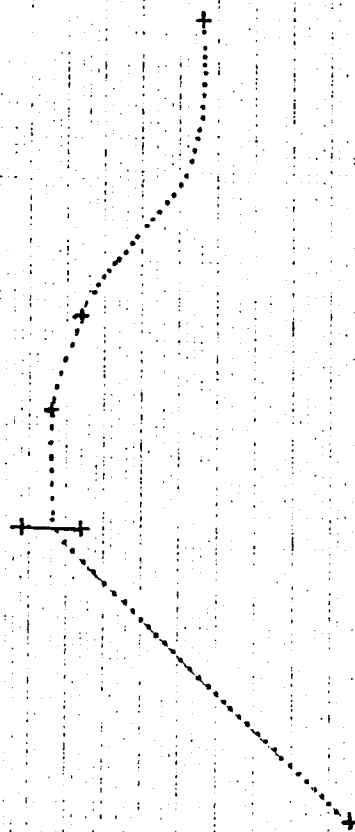
Quelques racines fines fasciculées.

pH = 6,1, pas d'effervescence.

10 9 8 7 6 5

P₂₋₁

pH



0

50 cm

100 cm

10 cm
10 cm

PROFIL P2-1

80 et plus: Isaltérite.

Granit à foliation 4 à 5° par rapport à la verticale, présentant des veines blanches de feldspaths altérés très marquées dans la direction de la foliation (largeur 0,5 à 1 cm). Matériel sec friable à très friable. Les plans de fissuration sont recouverts d'une pellicule grisâtre à grains très fins. Présence de quartz, de micas (les paillettes de muscovite sont nombreuses) et de feldspaths en voie d'altération.

pH = 5,2 mais peut atteindre 9,2 dans les fractures où se développe le matériel grisâtre. Effervescence forte localisée à cet endroit.

64 - 80 cm: Allotérite.

Couleur 10 YR 6/3,5 avec de nombreuses taches ocre et blanches.

Texture sablo-argileuse à sables grossiers. Parmi les éléments grossiers, les nodules carbonatés gris-blancs sont prédominants (taille 1 mm à 3 cm). Le cortex est blanc et l'intérieur se compose de grains de quartz cimentés par des carbonates de couleur grise.

On note la présence d'un ciment englobant les éléments de roche.

On trouve également des paillettes couleur cuivre à reflets métalliques dans des taches de couleur gris-noire (N 5/0). Des taches grises sont composées de petits cristaux couleur "gros sel".

La structure est polyédrique angulaire grossière.

La porosité fissurale bien développée définit une macro-structure prismatique d'environ 30 cm.

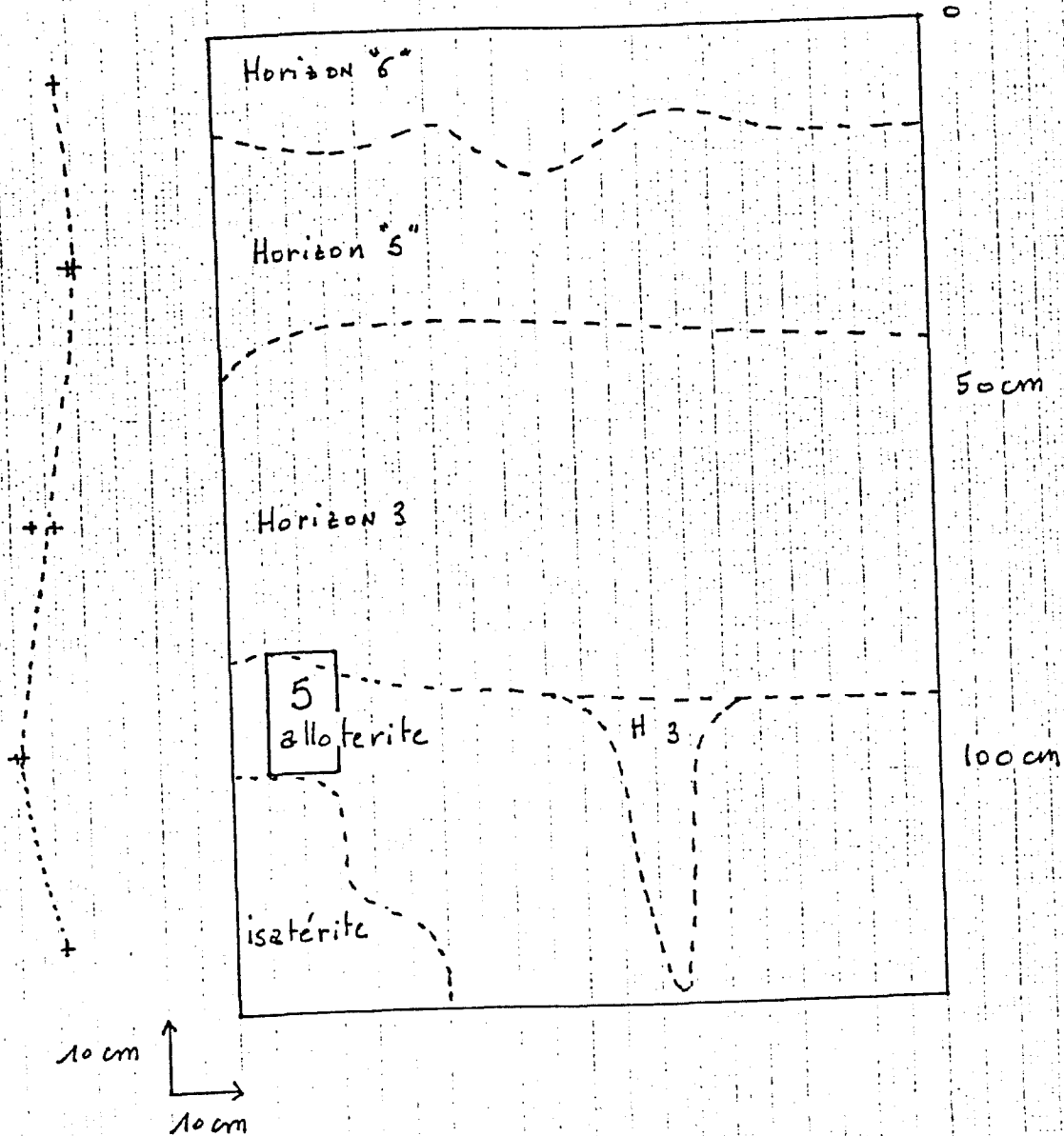
La porosité tubulaire est fine (non liée à l'activité racinaire) ou grossière de 2 à 3 mm (liée à l'activité faunique). Cette porosité est parfois comblée d'un matériel brun foncé micro-agrégé.

pH = 8,8 à 9,6, effervescence généralisée forte à très forte. Les carbonates sont répartis en pseudomycélium d'une manière diffuse, mais aussi en taches d'environ 3 à 4 cm de diamètre et en nodules à structure concentrique et à fentes radiales (septarias).

La limite avec l'horizon du dessus est irrégulière ondulée.

10 9 8 7 6 5

P₂-2



28 - 64 cm: Horizon 3

Couleur: bariolée brun 10 YR 5/4, rouge 7,5 YR 5/6, jaune, blanc et gris.

Les taches grises sont composées de petits cristaux et recouvrent environ 60 % de la surface de l'horizon.

Texture sablo-argileuse avec sables grossiers. Nombreux nodules blancs d'environ 2 mm, noirs de 5 à 10 mm, ainsi que des graviers de quartz.

Horizon compact à très forte cohésion; les constituants sont cimentés entre eux.

La structure est massive. Le développement de la porosité fissurale détermine une macro-structure prismatique.

Présence d'une porosité tubulaire grossière

Quelques racines se développent entre les agrégats dans les plans de fissures.

pH = 8,8 à 9,2, effervescence forte généralisée et très forte sur les taches blanches. Comme dans l'horizon précédent, la répartition des carbonates se fait de manière diffuse et concentrée en taches et septarias.

La limite avec l'horizon du dessus est peu nette (elle se situe entre 15 et 28 cm) et ondulée.

0 - 28 cm: Horizon de surface.

Couleur: Taches rouges, brunes et grises au contour flou (7,5 YR 4/6, 7,5 YR 4/5, 10 YR 6/4)

Texture sableuse à éléments grossiers. Très petits nodules blancs, et quelques nodules noirs arrondis.

Structure massive peu nette à cassures en polyèdres. Matériel sec friable en poudre en dégageant des agrégats polyédriques arrondis compacts de 2 à 3 cm. Les nodules blancs se distribuent dans ces agrégats. L'agencement des taches est également lié à ces agrégats: cortex gris clair, intérieur rouge puis centre brun-gris.

La porosité est tubulaire dans les agrégats:

- . 2 à 3 mm, comblée de matériel rouge micro-agrégé,

- . 0,1 mm, liée aux racines

pH = 7,2, effervescence faible (localisée sur les petits nodules) à nulle.

PROFIL P2-2

98 et plus: Isaltérite.

Mêmes caractéristiques que pour les deux descriptions précédentes.
pH = 7,4, effervescence très faible.

83 - 98: Allotérite.

Couleur bariolée blanc-grisâtre avec des taches ocre.

Texture sablo-argileuse à sables grossiers. Parmi ceux-ci, on trouve des nodules ferrugineux (5 mm), des nodules carbonatés dont certains peuvent atteindre environ 3 à 4 cm, et des graviers de quartz.

La structure est massive et la porosité est comblée par la précipitation de la calcite.

pH = 7,9 à 8, effervescence généralisée forte. L'horizon est presque entièrement blanchi par les carbonates répartis en taches friables diffuses.

La limite avec l'horizon du dessus est irrégulière en raison d'une ancienne fracture de la roche, mais nette car soulignée par une diminution de la précipitation de la calcite.

45 - 83: Horizon 3.

Couleur 10 YR 6/4 avec des taches plus rouges 7,5 YR 6/4 et des taches blanches, ocre et grises.

Les taches rouges sont réparties sur les faces structurales et dans la porosité tubulaire comblée. Les taches ocre sont enfermées dans les taches grises.

La texture est sablo-argileuse avec des sables grossiers. On constate une diminution de la quantité de grains de quartz par rapport à l'horizon du dessous.

Les nodules carbonatés sont répartis dans des taches allongées verticalement dans le prolongement de la porosité fissurale.

On trouve des nodules ferrugineux d'environ 2 à 3 mm, répartis un peu partout dans l'horizon.

Après développement de la porosité fissurale, on note une macro-structure prismatique qui se débite en une structure polyédrique anguleuse d'environ 6 à 7 cm avec de fins dépôts de sable sur les faces structurales.

La porosité fissurale est très importante et très nette, à la fois verticale et horizontale. La porosité fissurale verticale reste cependant prédominante.

On trouve également une porosité tubulaire grossière (3 mm) due à l'activité faunique.

Plus rarement, on peut trouver une porosité tubulaire plus fine (1/2 mm).

Les racines se développent essentiellement dans la porosité fissurale.

pH = 7,4 à 7,7, effervescence forte localisée sur les nodules à structure concentrique (septarias), eux même regroupés et alignés. On note également une répartition plus diffuse présentant une effervescence moyenne à la base de l'horizon.

La limite supérieure de l'horizon est peu nette et irrégulière.

13 - 45 cm: Horizon 5.

Couleur 7,5 YR 4/6.

Texture sablo-argileuse mais un peu plus sableuse que l'horizon du dessous.

Éléments grossiers: quelques rares nodules blancs, quelques nodules ferrugineux (2 mm) et de nombreux grains de quartz.

La structure est polyédrique anguleuse friable.

La porosité fissurale est un peu moins développée que dans l'horizon inférieur.

On note une porosité tubulaire fine et plus grossière.

On retrouve le matériel de l'horizon de surface déposé en lamelles sur les faces structurales.

Les racines se développent principalement dans la porosité fissurale, mais également quelquefois dans les agrégats.

pH = 7 à 7,1, pas d'effervescence.

0 - 13 cm: Horizon de surface.

Couleur 7,5 YR 4/5.

Texture sablo-argileuse à sableuse. Les éléments grossiers sont moins nombreux: quelques graviers de quartz et quelques nodules noirs.

Structure polyédrique arrondie friable.

La porosité fissurale est assez faible et fine. La porosité d'assemblage est bien développée entre les grains.

On trouve environ une racine par cm². Elles se développent à l'intérieur des agrégats.

pH = 7,2, pas d'effervescence.

Etat de surface: croûte noire algaire riche en débris végétaux avec quelques graviers. Epaisseur 2 mm, elle est collée à l'horizon de surface.