

PRINCIPALES APTITUDES ET CONTRAINTES DES SOLS DU BASSIN L'IMPORTANCE DES GRAVILLONS

Daniel Boa

I.I.R.S.D.A., B.P. V-51, Abidjan, Côte d'Ivoire.

RESUME

Les sols gravillonnaires à matériaux rouges, actuellement cultivés à Booro-Borotou, sont ceux qui présentent les meilleures propriétés physiques. Les gravillons ne constituent une contrainte majeure que lorsqu'ils sont sus-jacents aux indurations continues (carapace ou cuirasse). Les sols éluviés de bas de pente à potentialité chimique plus intéressante pourraient être davantage exploités pour la culture de riz et d'igname.

Il importe avant tout de veiller au maintien du taux de matière organique et des teneurs en argile par la présence d'une certaine couverture arborée, par l'application des techniques d'agroforesterie, de conservation de l'eau et des terres, par une meilleure gestion du couvert des cultures (association) et des résidus.

INTRODUCTION

Il convient d'effectuer une brève synthèse de l'ensemble des aptitudes et contraintes édaphiques des sols du bassin. Nous insisterons davantage sur les propriétés physiques, les mieux étudiées, que sur les propriétés chimiques et organiques. Nous nous arrêterons quelques temps sur le cas particulier des sols très gravillonnaires, du fait de leur importance spatiale non seulement sur le bassin mais aussi, et surtout, dans l'ensemble du nord de la Côte d'Ivoire.

LES MATERIAUX PEDOLOGIQUES

Avant d'aborder les propriétés physiques, hydriques et chimiques, il est nécessaire de rappeler les différents types de sols et de montrer l'organisation des différents matériaux pédologiques sur le bassin versant.

Les types de sols

Les principaux sols, définis selon la classification C.P.C.S (1967), appartiennent à quatre classes:

- la classe des sols minéraux bruts
- la classe des sols peu évolués
- la classe des sols hydromorphes
- la classe des sols ferrallitiques

Les sols hydromorphes ou peu évolués sont localisés à l'aval des versants. Les sols minéraux bruts s'observent localement. Les sols ferrallitiques occupent la plus grande part du bassin. Dans cette dernière classe, les sols remaniés constitués essentiellement d'éléments grossiers de taille supérieure à 2 mm (gravillons) sont les plus importants (fig. 1). C'est pourquoi nous nous sommes intéressés aux différents types de gravillons sur le bassin.

Les différents types de gravillons

L'observation des échantillons gravillonnaires a permis de distinguer, selon des critères strictement morphologiques, neuf types de gravillons :

- *Les gravillons rocheux* : débris de roches très peu altérés marqués par la présence de tâches blanchâtres et jaunes.
- *Les gravillons altéritiques* : pseudonodules de couleur rouge avec des plages blanchâtres et jaunes héritées de l'altération.
- *Les gravillons terreux* : nodules de couleur homogène aussi bien à la surface que dans le noyau. Ils sont pratiquement sans patine.
- *Les gravillons pédoplasés* : nodules moyennement à fortement indurés munis d'une patine discontinue qui leur donne un aspect quelque peu luisant.
- *Les gravillons concrétionnés* : concrétions recouvertes de patine ou de cortex très marqué et continu. Leur surface est lisse et luisante.
- *Les gravillons pisolitiques* : également des concrétions de taille plus réduite avec une coloration jaune ou grisâtre à la surface.
- *Les gravillons à quartz hérissés* montrent à leur surface des grains de quartz peu nombreux.
- *Les gravillons gréseux* présentent également à leur surface des grains de quartz, ici très nombreux, emballés dans un ciment de coloration hétérogène.
- *Les gravillons conglomératiques* se caractérisent par des gravillons inclus dans une matrice.

La distribution de ces gravillons montre un gradient granulométrique par rapport aux niveaux indurés. On passe des mésogravillons (2-5mm) aux macrogravillons (5-10mm) puis aux mégagravillons (>10mm). La teneur en gravillons diminue d'amont en aval (fig. 2). Les concentrations maximales s'observent dans le prolongement des indurations et s'approfondissent dès que l'on s'éloigne des formations indurées (Lévêque, 1975 ; Leprun, 1979 ; Boa, 1989).

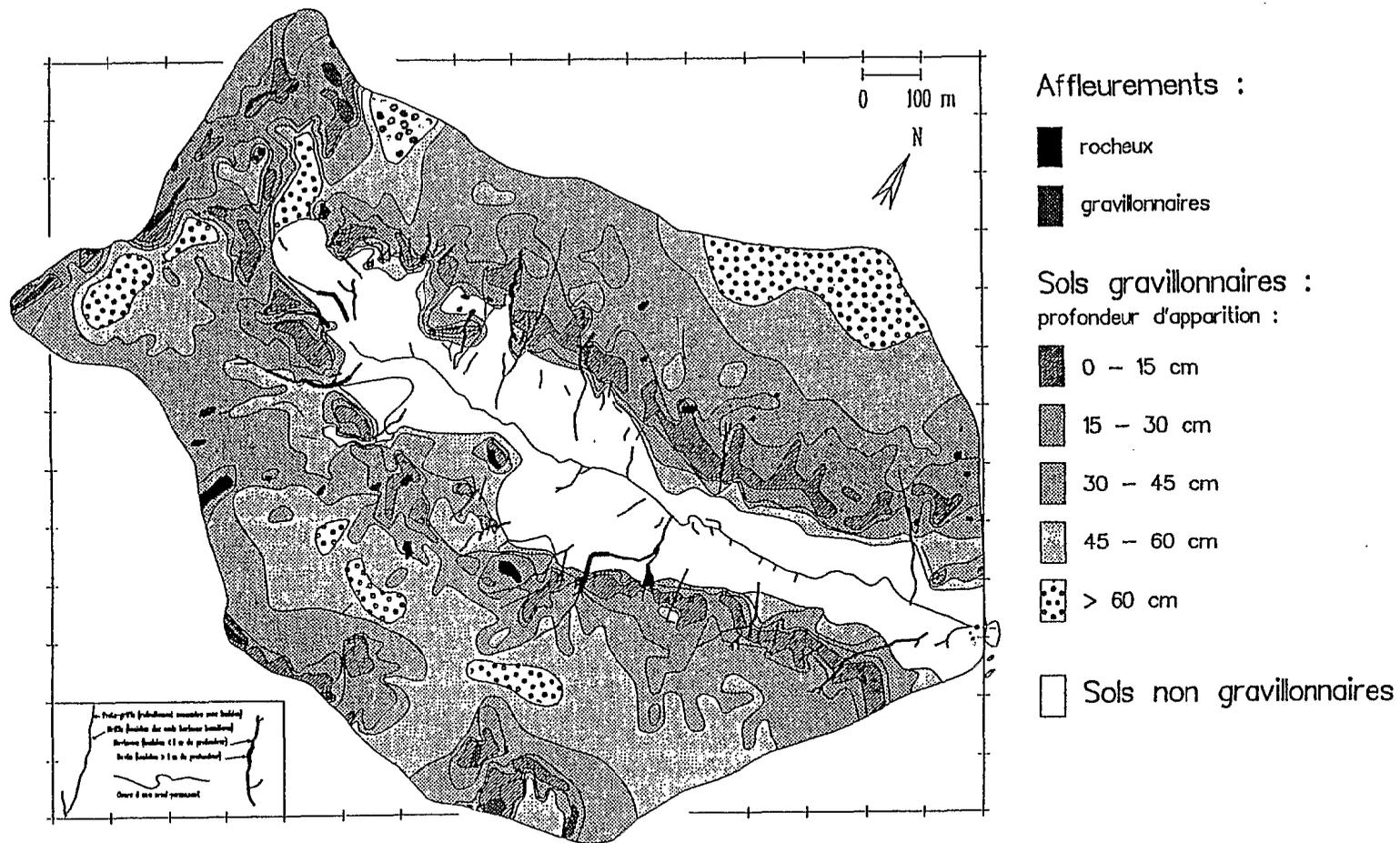


Figure 1 : Carte de profondeur d'apparition des gravillons

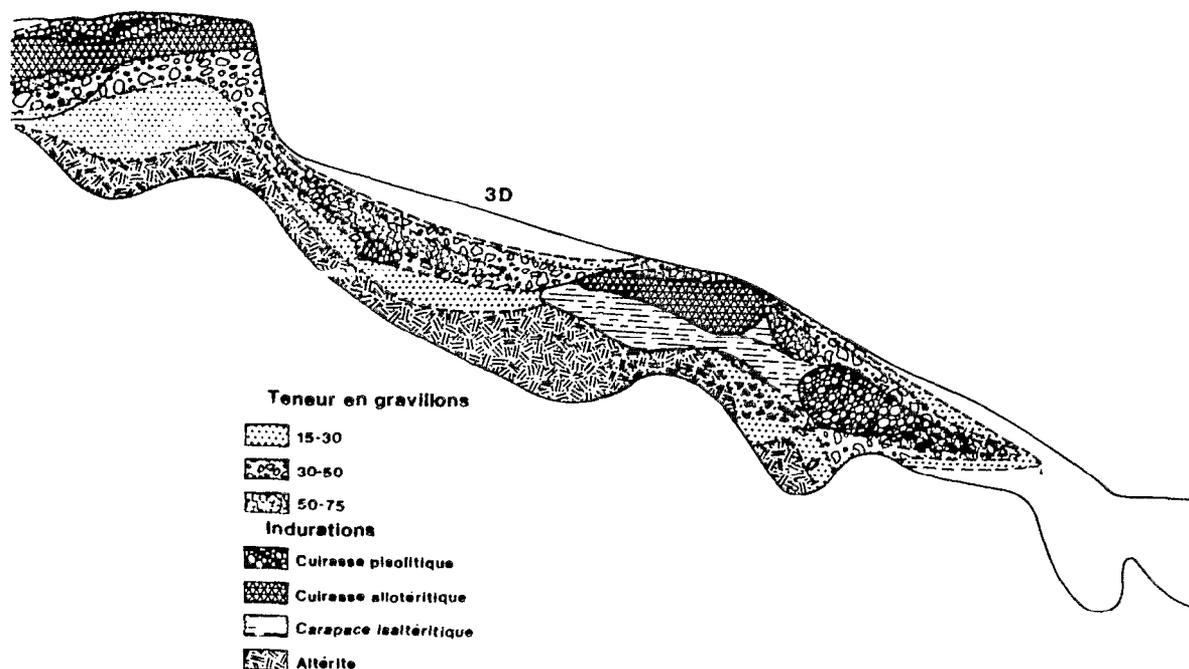


Figure 2. *Distribution de la teneur en gravillons sur une toposéquence représentative.*

Les matériaux meubles

Le développement des sols a donné naissance à divers matériaux meubles dont la distribution est généralement la suivante : les matériaux rouges (2.5YR, 5YR), argileux, se situent en amont du bassin. Ils sont relayés par les matériaux ocres (7.5YR), argilo-sableux à sablo-argileux. Les matériaux jaunes ou blancs (10YR), sableux, en aval, constituent le stade ultime de cette distribution.

Ce schéma peut être perturbé par la présence de l'induration de mi-versant. On peut, dans le cas extrême, aboutir à l'inverse du premier schéma et trouver les matériaux plus colorés à proximité de la mi-versant alors que les matériaux de haut de versant auront continué leur évolution, apparaissant donc plus dégradés. Enfin, dans un troisième schéma, l'évolution dépasse le niveau induré et atteint l'ensemble du versant.

PROPRIETES CHIMIQUES ET ORGANIQUES

Il faut noter que l'essentiel des éléments chimiques et organiques est concentré dans les 20 premiers centimètres des sols.

pH et complexe d'échange

De l'amont vers l'aval des versants, on peut noter les variations suivantes (Fritsch *et al.* à paraître)

- une légère élévation de la valeur du pH (5 à 5,8)
- une baisse de la teneur en Al échangeable (1,2 à 0 meq/100)
- une augmentation du taux de saturation.

Réserve en bases échangeables

L'augmentation du pH et du taux de saturation est corrélée à l'élévation des réserves en bases des sols. Cette réserve est assurée, par ordre d'importance, par Na, K, Mg, Ca. K est surtout présent dans la fraction argileuse à l'amont et Mg principalement localisé dans la fraction argileuse en aval (Fritsch *et al.* à paraître).

Matière organique

Le taux de matière organique, important sur le haut de versant, diminue sur la mi-versant puis augmente en bas de pente.

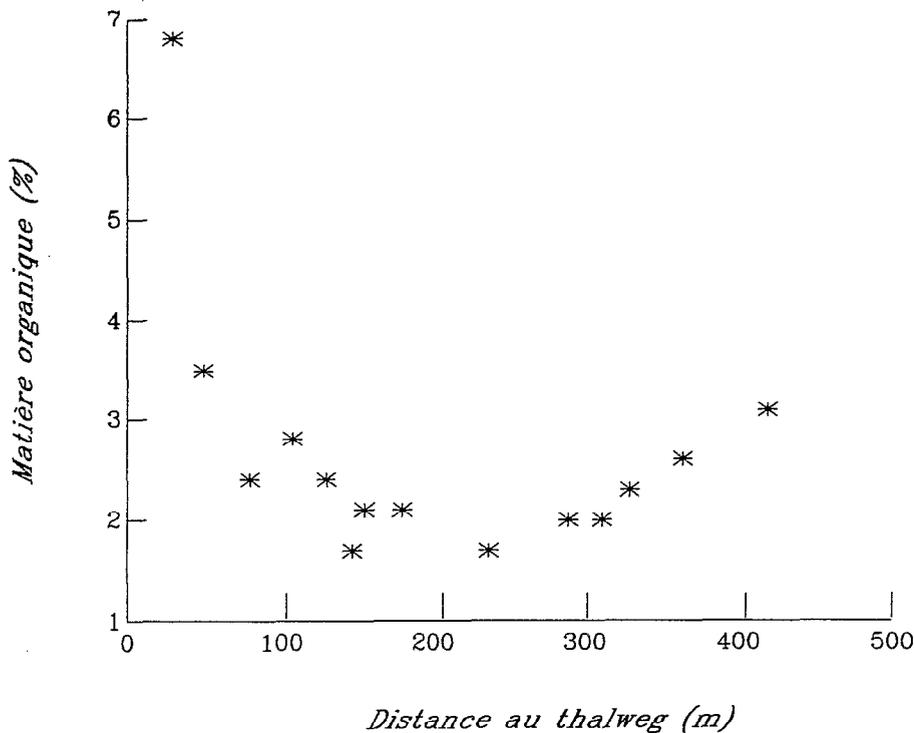


Figure 3. Distribution des teneurs en matière organique le long de la toposéquence type.

Il faut retenir pour l'essentiel que les sols de bas de pente présentent quelques caractères chimiques et organiques intéressants.

PROPRIETES PHYSIQUES

La granulométrie

Les résultats granulométriques montrent, de manière générale, une diminution des teneurs en argile d'amont en aval et un accroissement depuis la surface vers la profondeur des sols. La texture est sablo-argileuse dans les parties supérieures des versants et sableuse en bas de pente.

L'indice d'instabilité structurale

L'indice d'instabilité structurale augmente lorsqu'on passe des sols à matériaux rouges aux sols à matériaux ocres et diminue dans les sols de bas de pente (Valentin, 1989). Cette évolution de l'indice structural correspond aux passages des structures fragmentaires aux structures massives puis aux structures particulières. Cette variation structurale s'accompagne systématiquement par une augmentation de la cohésion à mi-versant et, à l'inverse, d'une perte progressive de la cohésion en bas de pente.

Porosité

Les variations les plus importantes ont lieu lors du passage des horizons rouges aux horizons ocres (Iris, 1983). Elles peuvent être liées à la dégradation de la macroporosité inter-agrégat.

En conclusion, ce sont les sols à matériaux ocres, situés de part et d'autre de la mi-versant, qui présentent le plus de contraintes physiques.

PROPRIETES HYDRODYNAMIQUES

Porosité des gravillons

Les caractéristiques physico-hydriques (Tab. 1) montrent que les gravillons altéritiques, et dans une moindre mesure les gravillons terreux, sont les plus accessibles à l'eau. Viennent ensuite les gravillons pédoplasmés. Les gravillons concrétionnés, pisolitiques et conglomératiques présentent les valeurs les plus faibles. Il faut noter que les gravillons à quartz hérissés ont une porosité plus importante que les gravillons gréseux.

Tableau 1. Caractéristiques physico-hydriques des gravillons.

	Densité apparente	Porosité totale (%)	Porosité ouverte (%)
Gravillons altéritiques	1,8	35,7	35,1
Gravillons terreux	1,9	30,1	29,3
Gravillons pédoplasés	2,3	23,8	18,7
Gravillons concrétionnés	2,9	13,6	8,9
Gravillons pisolitiques	2,7	8,2	11,0
Gravillons quartzeux	2,5	18,0	15,5
Gravillons gréseux	2,6	13,2	10,7
Gravillons conglomératiques	2,7	13,7	11,7

Tableau 2. Rétention en eau des gravillons en contact avec de la terre fine de texture différente.

Terre fine		Sableuse	Sablo-argileuse	Argilo-sableuse	Argileuse
Gravillons altéritiques	1	6,7	8,0	7,6	5,6
	2	13,1	14,3	11,9	8,9
	3	17,1	17,2	17,2	17,1
Gravillons pédoplasés	1	6,0	6,9	6,2	5,6
	2	8,3	8,6	8,1	7,2
	3	9,0	9,9	9,3	9,5
Gravillons concrétionnés	1	2,5	2,4	2,2	2,3
	2	2,9	2,8	2,9	2,9
	3	3,0	3,0	3,0	3,0

1 : pF = 4.2

2 : pF = 3.5

3 : pF = 2.5

Echanges d'eau entre la terre fine et les gravillons

La rétention en eau par les gravillons en contact avec la fraction fine dépend de la texture et plus particulièrement du pF. Les matériaux sablo-argileux apparaissent les plus favorables (Tab. 2). Les échanges hydriques s'effectuent par l'intermédiaire d'une gangue dont le pF atteint des valeurs compatibles avec celles de l'absorption de l'eau par les plantes.

La restitution d'eau par les gravillons est également en relation avec la nature de la terre fine. Dans ce cas, le matériau fin argileux offre la meilleure possibilité d'échange (Tab. 3). Pour les gravillons altéritiques et pédoplasés, le taux de restitution avoisine 75%. Il est de 45% dans les conditions de notre expérimentation pour les gravillons concrétionnés.

Tableau 3. Pourcentage d'humidité restituée par les différents gravillons.

Terre fine	sablo-argileuse	argilo-sableuse	argileuse
Gravillons altéritiques	36,8	71,0	74,7
Gravillons pédoplasés	34,7	58,0	75,8
Gravillons concrétionnés	16,9	40,6	45,5

Caractéristiques hydrodynamiques des sols gravillonnaires

Les résultats des campagnes de simulation de pluies montrent que le coefficient d'infiltration (KI) est très élevé, souvent voisin de 100%, sur les sols à gravillonnage superficiel.

L'intensité d'infiltration minimale (Fn) ne montre pas une variation sensible en fonction de la profondeur d'apparition des gravillons. La pluie d'imbibition (Pi) est plus élevée en surface qu'en profondeur à l'exception de la parcelle à l'état naturel sur les sols rouges pour lesquels la variation est croissante.

Somme toute, les résultats des caractéristiques hydrodynamiques révèlent que la présence des gravillons à la surface des sols retarde l'apparition du ruissellement et par conséquent favorise l'infiltration. Ils constituent un mulch. Dans l'ensemble, leur profondeur d'apparition ne semble pas influencer les caractéristiques hydrodynamiques des sols. La teneur en gravillons en surface ralentit la formation des croûtes superficielles.

De manière générale, l'infiltrabilité est élevée sur le haut de versant, diminue sur la mi-versant, puis redevient intense en bas de pente. Elle est relativement plus importante

sur les parcelles labourées que sur les parcelles naturelles. Il en est de même sur les matériaux ocres par rapport aux matériaux rouges.

Tout ce qui précède semble expliquer le démarrage et l'abondance du ravinement sur la mi-versant. Ce phénomène disparaît en bas de pente où la présence des matériaux sableux favorise l'infiltration.

CONTRAINTES ET POTENTIALITES DES SOLS GRAVILLONNAIRES

Données de terrain

La constitution de diagrammes à partir des observations de terrain (Planchon, 1989) a permis d'étudier les relations entre les différents matériaux pédologiques et la végétation naturelle (fig.4) ou la jachère (fig.5).

Il se dégage de cette partie de l'étude que l'épaisseur minimale de sol, sans induration continue, convenable au développement de la végétation est de 45 cm. Il faut rappeler qu'à partir de cette profondeur l'induration est de moins en moins affirmée : la cuirasse disparaît au profit de la carapace ou de l'horizon bariolé légèrement induré (pseudo-carapace) à faciès altéritique.

La profondeur d'apparition des gravillons caractérisée par l'absence d'une végétation arbustive est comprise entre 30 et 40 cm. Elle est déterminée par le fait qu'à cette profondeur, les gravillons sont sus-jacents aux indurations continues. Dans ce cas, leur taux est très élevé et leur dimension grossière. En l'absence d'induration continue, la concentration des gravillons apparaît moins intense et plus profonde.

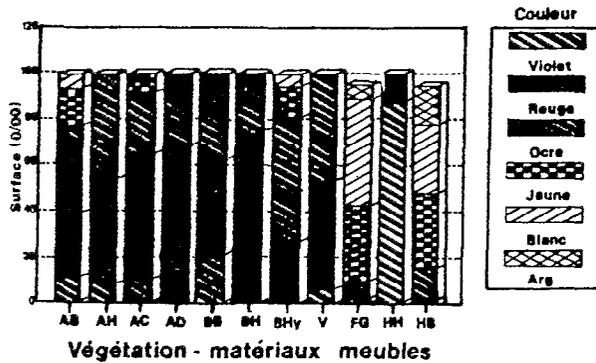
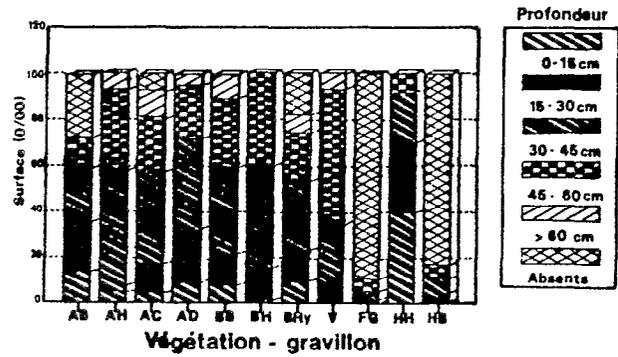
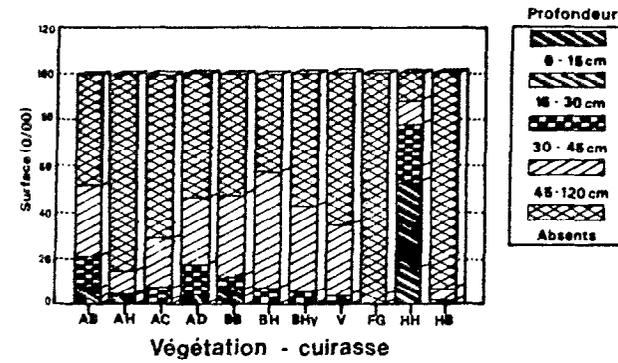
Le fait que le matériau rouge soit plus cultivé peut s'expliquer, d'une part par ses propriétés physiques satisfaisantes : texture un peu plus argileuse (15% d'argile), structure polyédrique (Fritsch *et al.*, 1986) et porosité fissurale développée et opérationnelle (Iris, 1983) et, d'autre part, par ses propriétés chimiques.

Données expérimentales

Des essais ont été menés en serre dans des pots contenant des mélanges binaires de terre fine de diverses textures et de gravillons dans des proportions volumiques de 0, 20, 30, 40, 50% avec des arrosages périodiques tous les deux jours afin de suivre la croissance et le développement de l'arachide. Pour cette étude, ce sont les deux types de gravillons pédoplasme et concrétionné, les plus fréquents sur le bassin, qui ont été utilisés.

On peut retenir sur la figure 6 que la terre fine argilo-sableuse associée aux nodules (TN) favorise le développement des organes aériens (tige et rameaux). Les composantes du rendement s'expriment mieux dans les mélanges de terre fine argilo-sableuse et de concrétions (TC). Le développement des racines est facilité dans les échantillons gravillonnaires de type nodulaire et de texture sablo-argileuse (SN).

Il se dégage des résultats que la pénétration racinaire ne serait pas entravée par la présence des gravillons. C'est plutôt la nature de la terre fine qui peut réduire la masse des racines et le poids des graines.



Savanes

- AB : Arborée basse
- AH : Arborée haute
- AC : Arbustive claire
- AD : Arbustive dense
- BB : Boisée basse
- BH : Boisée haute
- BHy : Boisée hydrophyle
- FG : Forêt galerie
- HH : Herbacée haute
- HB : Herbacée basse
- V : Champs

Figure 4. Relations entre la végétation naturelle et les matériaux pédologiques.

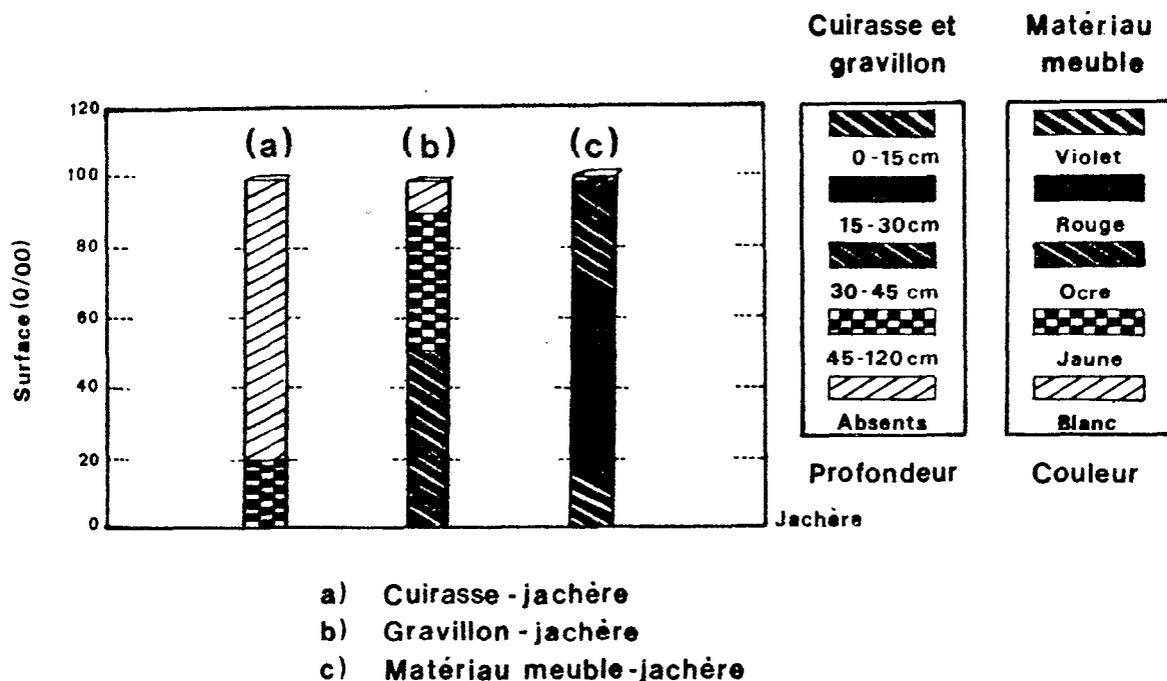


Figure 5. Relations entre la jachère et les matériaux pédologiques.

En revanche, le type de gravillons exerce une contrainte hydrique sur le rendement. Les nodules à plus forte porosité ouverte sont les plus favorables. la teneur des gravillons, quant à elle, conditionne le développement végétatif en plus du rendement dans le cas de l'arachide à production souterraine. Mais cette contrainte mécanique s'atténue, de manière générale, avec les taux inférieurs à 30% en volume qui correspondent à 50% en poids.

Comme précédemment signalé, les sols gravillonnaires à teneur volumique supérieure à 30% ont un comportement négatif sur le développement de l'arachide. Sur le bassin, le taux volumique de 30% s'observe au-dessus des indurations continues (carapaces et cuirasses) réparties sur les plateaux et sur la mi-versant. En l'absence des formations indurées continues, il existe, à la surface des sols, une couverture de terre meuble suffisante pour le développement de plantes annuelles cultivées. Les formations indurées continues constituent la contrainte majeure à Booro-Borotou.

CONCLUSION

Les sols gravillonnaires à matériaux rouges présentent des potentialités agronomiques intéressantes, au reste, largement utilisés dans le nord de la Côte d'Ivoire, notamment pour la culture de coton (Lévêque, 1982). Ces sols actuellement cultivés à Booro-Borotou sont ceux qui présentent les meilleures propriétés physiques. Les sols

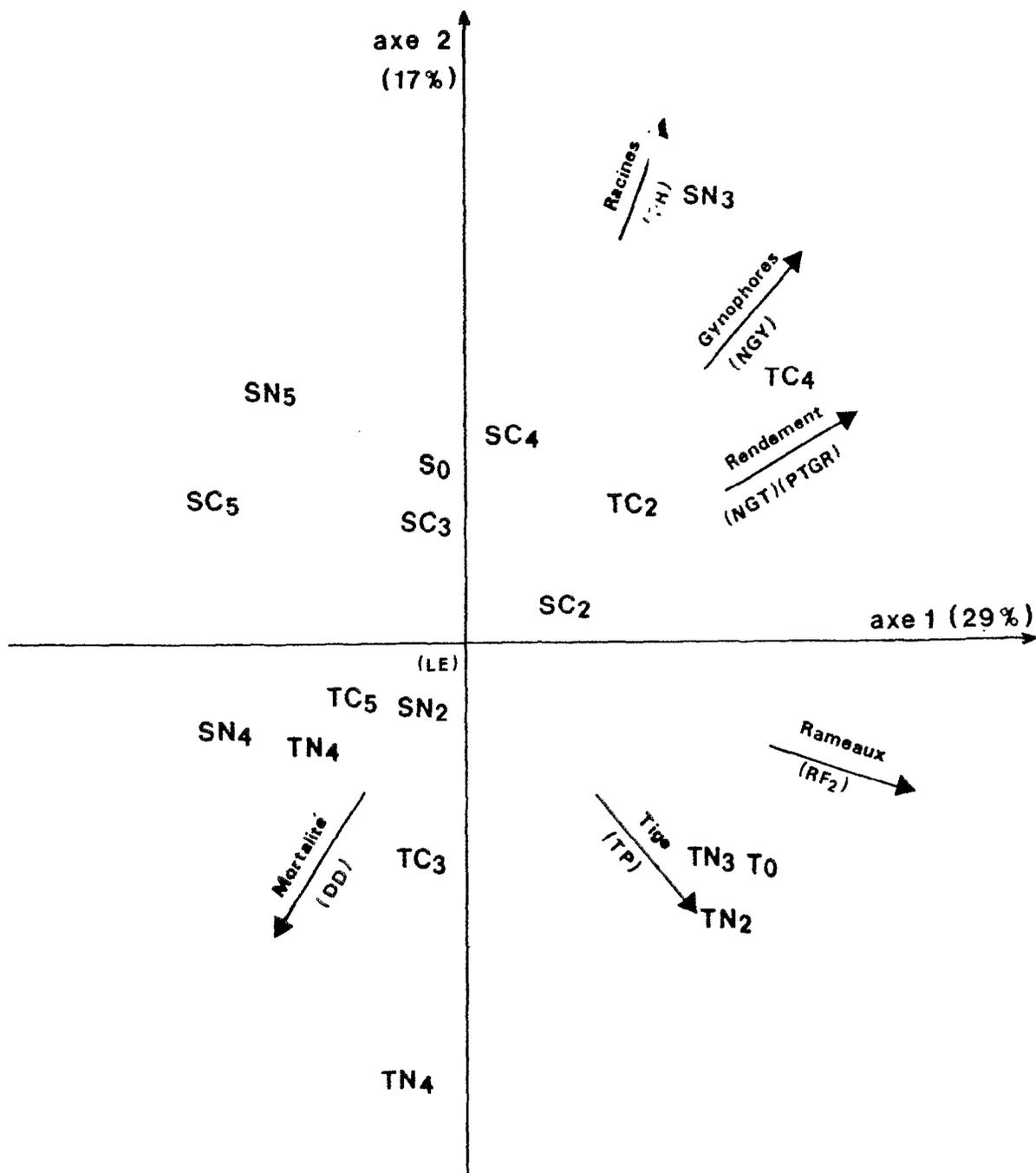


Figure 6. Projections sur le plan des axes 1 et 2 des points d'une analyse en composantes principales portant sur les variables des matériaux pédologiques et de la plante (arachide).

éluviés de bas de pente pourraient être davantage exploités pour la culture de riz et d'igname. Il convient avant tout de veiller :

- Au maintien du taux de matière organique et des teneurs en argile. Pour le premier point, la conservation d'une certaine couverture arborée et des techniques d'agroforesterie pourraient être envisagées. L'absence d'élevage exclut tout recours au fumier, pourtant le plus adéquat pour éviter la détérioration du statut organique (Piéri, 1989). Le deuxième point découle des techniques de conservation de l'eau et des terres.
- A lutter efficacement contre les pertes en eau et en terre par une meilleure gestion du couvert des cultures (association) et des résidus, ainsi que par une disposition mieux adaptée des lignes de billons et des limites de parcelles.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Boa (D.)**, 1989. Caractérisation, propriétés hydrodynamiques, contraintes et potentialités agronomiques des sols gravillonnaires : cas de Booro-Borotou, région de Touba, nord-ouest de la Côte d'Ivoire, *Thèse de doct. ing., Univ. d'Abidjan*, 134 p.
- C.P.C.S.**, 1967. Commission de Pédologie et de classification des sols. Classification des sols. E.N.S.A. Grignon. Lab. Pédologie-Géologie, 87 p., multigr.
- Fritsch (E.), Herbillon (A.), Jeanroy (E.), Pillon (P.), Barres (O.)**, 1989. Variations minéralogiques et structurales accompagnant le passage "sols rouges-sols jaunes" dans un bassin versant caractéristique de la zone de contact forêt-savane de l'Afrique occidentale (Booro-Borotou, Côte d'Ivoire). à paraître dans *Sciences Géologiques*.
- Fritsch (E.), Planchon (O.), Boa (D.)**, 1986. Les transformations d'un paysage cuirassé au nord-ouest de la Côte d'Ivoire sur formations gneisso-migmatitiques. Sem. Rég. de Yaoundé sur les latérites. *Coll. et Sémin. de l'ORSTOM*, 12 p., 11 fig.
- Iris (J.M.)**, 1983. Analyse et interprétation de la variabilité spatiale de la densité dans trois matériaux ferrallitiques. *Sci. du Sol*, 24 : 245-256.
- Leprun (J.C.)**, 1979. Les cuirasses ferrugineuses des pays cristallins de l'Afrique occidentale sèche. Genèse. Transformations. Dégradations. *Thèse Sci. Nat., Strasbourg*, 203 p.
- Lévêque (A.)**, 1975. Pédogenèse sur le socle granito-gneissique du Togo. Différenciation des sols et remaniements superficiels. *Thèse Sci., Strasbourg*, multigr., 301 p.
- Lévêque (A.)**, 1982. Quelques aspects de la structure des sols ferrallitiques en saison humide. Implication agronomique concernant le cotonnier dans le Nord de la Côte d'Ivoire. *Rapp. ORSTOM Adiopodoumé*, multigr., 38 p.
- Piéri (C.)**, 1989. Fertilité des terres de savane. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricole au sud du Sahara. *Ministère de la Coopération et CIRAD-IRAD*, 444 p.
- Planchon (O.)**, 1989 - Le relief, le paysage et les formes d'érosion linéaires : leur importance dans le fonctionnement d'un petit bassin versant (Booro-Borotou, Côte d'Ivoire). *Thèse, USTL, Montpellier*.
- Valentin (C.)**, 1989. Les états de surface des savanes de l'Ouest africain : relations avec les sols et incidences sur l'économie en eau. In : Soltrop 89. Actes du 1^{er} séminaire franco-africain de pédologie tropicale. Lomé, 6-12 février 1989. ORSTOM. *Coll. Colloques et Séminaires*. 243-252.