

LES SOLS SUBARIDES AU SÉNÉGAL

par

R. MAIGNIEN

Docteur ès Sciences, Directeur de Recherches à l'ORSTOM.

INTRODUCTION (*)

L'intérêt porté aux régions subarides du globe impose la connaissance de leurs sols. Les données actuellement acquises résultent principalement des travaux russes et américains. La contribution africaine porte sur l'étude des sols subtropicaux d'Afrique du Nord et du Sud. Les observations sur les sols des régions tropicales sont rares et dispersées.

SHANTZ et MARBUT (1923) ont signalé, les premiers, la présence de sols bruns steppiques au Sénégal, les confondant d'ailleurs avec les sols d'argile noire de Bargny. Un peu plus tard (1932), des sols steppiques sont portés sur la carte pédologique à petite échelle dressée par les Russes. Ils les prolongent vers le sud, par une bande de sols tchernozémiques, en s'appuyant sur des considérations climatiques. Il faut attendre 1946 pour trouver des études plus détaillées de ces profils (AUBERT (G.), DUBOIS (J.), MAIGNIEN (R.), 1946). Depuis, quelques notes sont venues préciser la typologie et les caractéristiques génétiques de ces sols (DABIN, 1950, MAIGNIEN (R.), 1946-1956). Ce rapport est donc le premier essai de synthèse à l'échelon d'un pays tropical.

REMARQUES : Le terme « subaride » a été préféré à celui de steppique pour plusieurs raisons :

- les phytogéographes ne sont pas d'accord sur la dénomination des formations végétales subarides des pays tropicaux,
- la pédogénèse de ces sols dépend étroitement de leur régime hydrique,
- les teneurs globales en matière organique rapprochent ces sols des sierozems, plutôt que des sols steppiques décrits en d'autres régions du globe.

(*) Etude du Centre de Recherche pédologique de l'ORSTOM à Hann-Dakar.

PREMIÈRE PARTIE

LE MILIEU NATUREL ET LES FACTEURS DE LA PÉDOGÉNÈSE

I. CADRE GÉOGRAPHIQUE

Les sols subarides s'observent dans les régions septentrionales du Sénégal. Ils débordent largement vers le Nord, en Mauritanie. Leur limite sud est marquée approximativement par le parallèle 15°30', bien que certains types particuliers de sols bruns se rencontrent encore dans la province du Baol (BONFILS, FAURE, 1957).

D'ouest en est, le territoire étudié se situe entre 16°30' et 13° de longitude ouest.

Les principales régions naturelles sont :

a) Au nord, la vallée du fleuve Sénégal qui, à partir de Richard-Toll, se transforme en un delta complexe, où dominent les sols hydromorphes et les sols salés. A cet ensemble se rattache le lac de Guiers, qui se prolonge vers le sud-est, puis vers l'est, par la vallée du Bounoum, encore appelée Ferlo.

b) Au sud-ouest, autour de la ville de Louga, s'étend la province du Cayor, à laquelle fait suite, à l'est, la province du Djoloff, avec Linguère comme principal centre. Les limites sont surtout politiques.

c) Entre les vallées du Sénégal et du Bounoum se situe le Fouta Toro, souvent improprement appelé Ferlo. Le désert du Ferlo proprement dit est une région de dunes à l'ouest et au nord, qui passent à un bas-plateau, parfois cuirassé, à l'est et au sud.

II. CLIMAT

Sur toute la zone considérée règne le climat sahélien qui, sahélo-soudanien vers Louga, Linguère, passe au sous-climat sahélo-saharien en bordure de la vallée du fleuve Sénégal (AUBREVILLE, 1949).

Ces climats se caractérisent par une saison pluvieuse brève (deux à trois mois), avec une pluviométrie variant de 500 à 350 mm, répartis en trente à quarante jours de précipitations. Le maximum se situe en août. A cette saison, fait suite une longue saison à sécheresse excessive, où le déficit de saturation tombe très bas, particulièrement en période d'harmattan, vent sec et chaud qui souffle de l'est.

Les températures les plus élevées sont atteintes en fin de saison sèche (avril-mai), époque où il n'est pas rare de voir le thermomètre atteindre 48° C. Les mois les plus frais (20° C) se situent en décembre-janvier. Les variations de température journalières sont maximum en février, mars, avril.

III. GÉOLOGIE

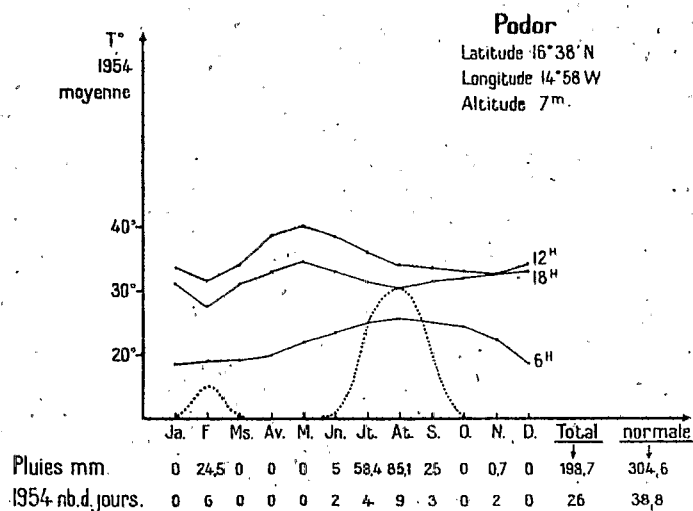
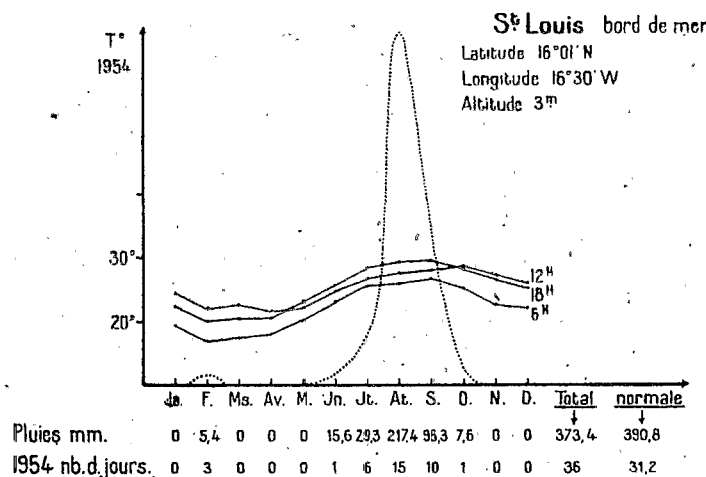
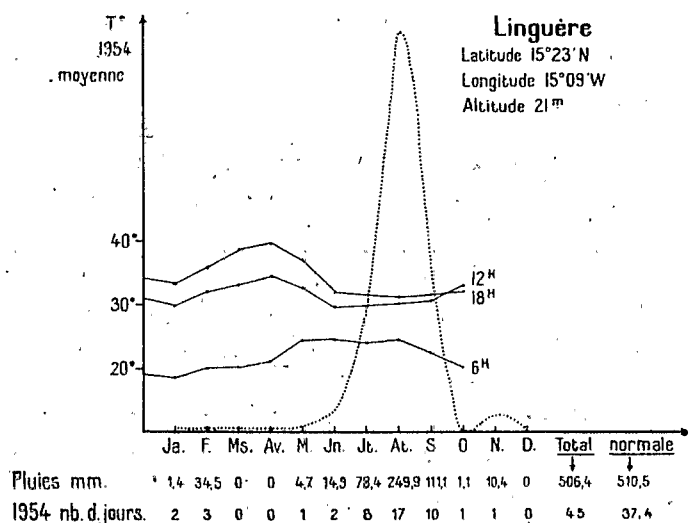
Les sols subarides observés au Sénégal dérivent tous de formations sédimentaires. Il y a souvent peu de relations entre les couches marines reconnues en profondeur et les formations superficielles qui ont donné naissance aux sols. Pourtant l'action des premières est loin d'être négligeable (enrichissement en certains éléments : calcium ; formes de modelé orientant le drainage).

Les affleurements sédimentaires débutent par des formations Eocènes constituées de calcaires, de marnes, d'argiles et même, sur le pourtour des cuvettes, de niveaux gréseux et sableux. Signalées sur la carte géologique le long de la rive gauche du fleuve Sénégal, elles ne sont visibles qu'à l'intérieur des puits. Dans le Djoloff, elles paraissent jouer un rôle important dans la formation des sols.

Les formations Lutétiennes, qui leur font suite, ne sont représentées que dans l'ancienne cuvette marine du Djoloff à l'est de Linguère. Elles sont formées généralement de calcaires souvent bien cristallisés à leur sommet.

Le Mio-Pliocène forme le bas-plateau du Ferlo et une partie du Fouta Toro. Il représente, en

Diagrammes climatiques



étendue, la formation la plus importante du nord du Sénégal. Les éléments qui le constituent sont des sables plus ou moins argileux, blancs, jaunes, rouges ou bariolés. Souvent la surface de ces formations est ferruginisée en une cuirasse indurée, qui est mise à l'affleurement en bordure des vallées.

Ces formations anciennes sont, en tout ou en partie, recouvertes par des sédiments récents. Ce sont :

Des alluvions anciennes, le long de la vallée du Sénégal et de celles des rivières mortes du Ferlo. Dans le haut delta du Sénégal, elles acquièrent une grande importance.

Des sédiments lacustres représentés par des argiles et des calcaires gris friables, qui ont une grande importance sur la répartition des sols bruns. Ils sont fréquents aux environs de Louga, de Darrah, au sud de Yang-Yang et vers Lagbar.

Des sables rouges continentaux, éparpillés sur toute la plaine occidentale. Dans le Djoloff, ils sont bien développés aux environs et au nord de Coki.

Des alluvions récentes qui sont surtout constituées de sables dunaires, mal stabilisés, au nord-ouest de Louga et d'argiles, plus ou moins salées, dans le bas delta du fleuve Sénégal.

L'étude de la chronologie de ces formations a fait l'objet de nombreux travaux ces dernières années (TRICART et DUBOIS (J.), 1954-1956).

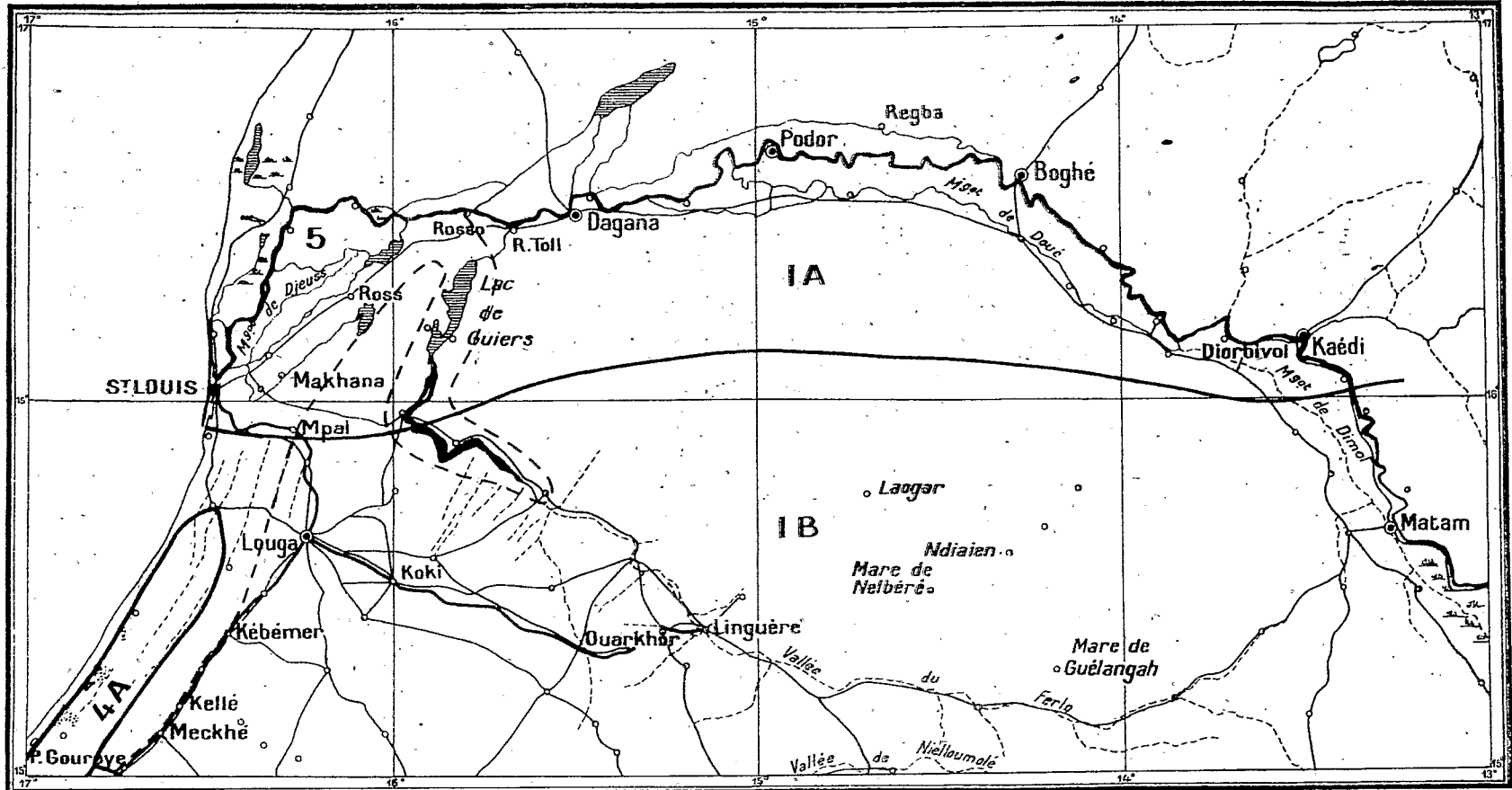
Plusieurs données, orientant la pédogénèse, sont à retenir :

- la présence de calcaire,
- la présence de vastes cuvettes où l'eau draine mal,
- la nature des sédiments à texture variée (sableux à très argileux),
- les formes du modelé peu stabilisées en régions dunaires, surtout à l'ouest.

IV. VÉGÉTATION

D'après TROCHAIN (1941), la végétation se caractérise par « des espèces ligneuses peu nombreuses, souvent rabougries, la plupart épineuses, à rameaux souvent étalés en parasol, à feuillage souvent réduit et caduc. A la saison des

DIVISIONS PHYTOGÉOGRAPHIQUES DU NORD SÉNÉGAL (d'après Trochain)



1A. Secteur Sahelo Saharien - 1B. Secteur Sahelo Soudanien - 4A. Le "pays des Niayes" - 5. Etage Paralittoral -

pluies, de nombreuses plantes herbacées, ne formant pas toutefois un tapis continu, parsèment le sol. L'ensemble constitue une pseudo-steppe ou une savane arbustive ou arborée ».

a) Parmi les peuplements ligneux, il est possible de distinguer :

Sur les terrains sableux récents mal stabilisés : A l'ouest, des forêts claires à *Acacia tortilis*. Ces forêts sont pour la plupart très dégradées. On peut cependant en observer de magnifiques peuplements, difficilement pénétrables dans les entre-dunes proches de la mer.

A l'est, ces peuplements sont remplacés par une savane arbustive à *Combretum glutinosum*, plus ou moins mélangés d'espèces subarides (*Acacia Vereck*, *Leptadenia pyrotechnica* au nord, *Terminalia avicennioides* au sud).

Sur les anciennes régions sableuses, stabilisées, et non ou peu dégradées, des pseudo-steppes très ouvertes, à gommiers.

Dans les dépressions colmatées et partiellement inondées en saison des pluies, des savanes armées à *Acacia Seyal*, souvent exclusif.

En zone un peu mieux drainée, mais à modelé subhorizontal, des pseudo-steppes arbustives à *Commiphora africana* et *Grewia bicolor* bien développées vers le nord-ouest et le nord, puis vers le sud; à *Pterocarpus lucens*.

Dans les vallées d'inondation, et surtout sur les plaines alluvionnaires du fleuve Sénégal, des forêts épaisses à *Acacia scorpioides* presque exclusif, des peuplements de *Myragina inermis* en association avec de nombreuses espèces de milieux plus humides.

Ces diverses formations sont souvent mélangées de *Balanites aegyptiaca* qui fournit parfois des peuplements presque purs.

b) Les peuplements graminéens sont probablement encore plus représentatifs. Ils se répartissent assez bien suivant la texture et la structure des horizons de surface des sols.

Sur sols sableux, non dégradés, sont des peuplements d'Aristidées qui se mélangent vers le sud, à de nombreuses Andropogonées : *Aristida funiculata*, *A. mutabilis*, *Cenchrus prieurii*, *Cymbopogon schoenanthus*, *Eragrostis ciliaris*, puis *Andropogon amplexans*, *A. Gayanus*, *A. pseudapricus*, *Achyranthes aspera*, etc... *Aristida stipoides*, apparaît sur les milieux très sableux ou dégradés.

Sur les sols plus compacts et moins aérés, s'observent des peuplements constants à *Schoenefeldia gracilis* et *Chloris Prieurii*, qui disparaissent quand les terrains sont mis en cultures ou ont leur structure dégradée par le passage des troupeaux.

Il s'y substitue des peuplements à *Pennisetum pedicellatum* dominants.

V. UTILISATION DES TERRES

La vallée du Sénégal est le domaine de la culture de décrue (mil, maïs) et de la riziculture (Richard-Toll). Partout ailleurs se pratique la culture de saison des pluies. L'économie est basée principalement sur l'assolement mil-arachide. Les centres de production se situent le long de la voie ferrée Dakar-Saint Louis et Louga-Linguère.

Mais les régions subarides du Sénégal sont, avant tout, des zones d'élevage (bovins, caprins). De grands axes de transhumance les traversent. La politique actuelle des forages profonds provoque la fixation des troupeaux autour des nouveaux points d'eau. Il en résulte une destruction rapide du couvert végétal, et il serait souhaitable d'y instituer rapidement des périmètres de protection. La Station Centrale de l'élevage à Darah (Djolloff) étudie dans ce but la valeur et l'amélioration des pâturages, ainsi que des modes de pacage.

Un apport non négligeable à l'économie du pays est la récolte de la gomme tirée de l'*Acacia Vereck*. Ce commerce était dans le passé très florissant. Aujourd'hui il a beaucoup regressé, et l'on assiste, sur les vieilles dunes du Fouta Toro, à une reconstitution partielle des peuplements de gommiers qui avaient souffert des saignées.

DEUXIÈME PARTIE

LES SOLS SUBARIDES SÉNÉGALAIS

I. MORPHOLOGIE

Seuls des sols bruns et des sols brun-rouge ont été reconnus au Sénégal. Mais alors que les premiers dépendent étroitement de conditions particulières du milieu naturel (présence de calcaire, drainage déficient), les seconds sont spécifiquement liés aux conditions climatiques qui règnent sur ces régions.

Le nord du Sénégal correspond zonalement à l'aire des sols brun-rouge subarides.

I₁) Sols bruns.

a) Voici un des rares exemples de sol brun observé sur roche acide.

Profil à gauche de la route menant de Merinaghen à M'Pal, à 4 km environ du lac de Guiers. Topographie extrêmement plane, aucune pente apparente. Végétation de pseudo-steppe à bois armé, où dominant :

Strate arbustive : *Acacia tortilis*, *A. Seyal*, *A. Vereck*, mélangés de quelques touffes de *Boscia senegalensis* et de quelques *Balanites aegyptiaca*.

Strate herbacée : tapis bas de *Schoenefeldia gracilis* et *Aristida mutabilis*. *Callotropis procera*, peu abondant ici, donne de beaux peuplements à quelques kilomètres plus au nord.

Le matériau originel est un sédiment sablo-siliceux. De nombreuses petites buttes, édifiées par les fourmis, sont constituées de débris de phyllites marneuses, riches en carbonate de calcium, remonté de la profondeur. Cependant à 250 cm, ces formations ne sont pas encore visibles. Elles doivent avoir une influence certaine sur la formation du sol, bien que celui-ci ne montre aucune trace de carbonate.

0 à 22 cm, horizon de couleur gris-brun, paraît bien humifère ; texture sableuse avec quelques gros grains de quartz roulés et rougis ; structure grumeleuse assez grossière ; cohésion de faible à moyenne, le tout faiblement durci ; peu de pores, le chevelu formé par les racines est peu développé ; sur les 3 ou 4 cm supérieurs, structure feuilletée, avec quelques débris de Graminées non décomposés.

22 à 110 cm, horizon de couleur brune, encore bien humifère ; texture sableuse ; structure nettement nuciforme ; cohésion faible ; horizon légèrement durci ; édifice assez compact avec peu de pores ; quelques racines de Graminées.

110 à 130 cm, horizon de couleur plus claire dans les tons beiges ; texture toujours sableuse ; structure nuciforme beaucoup moins développée que ci-dessus à tendance particulière ; cohésion faible à moyenne ; pas de pores ; quelques taches diffuses faiblement calcaires.

130 à plus de 190 cm, en roche-mère légèrement argileuse de couleur jaunâtre non calcaire.

b) Plus généralement les sols bruns se développent, soit au contact ou à partir d'une roche calcaire, soit dans des zones à drainage déficient.

Les premiers s'observent fréquemment à l'ouest des formations sédimentaires du Continental Terminal et forment des surfaces importantes dans le Djollof, l'est du Cayor, et les approches du lac de Guiers.

De bons exemples s'observent en bordure de la route Louga-Linguère.

A 15 km de Louga, dans une zone non dégradée par la culture mais fortement pâturée, dont la pente ne dépasse pas 2%, sous une pseudo-steppe à bois armé à *Acacia tortilis* et *A. Seyal* et sous un tapis de *Schoenefeldia*, la succession des horizons est la suivante :

0 à 38 cm, horizon brun, riche en matière organique ; texture sableuse faiblement argileuse ; structure à tendance grumeleuse grossière, assez mal développée ; sur les 2 premiers centimètres

aspect feuilleté créé par une érosion en nappe ; cohésion moyenne ; quelques pores tubulaires ; quelques petites taches et concrétions calcaires ; la masse n'est pas calcaire ; nombreuses racines de Graminées, quelques grandes fentes de retrait peu prononcées sur 40 cm environ.

38 à 105 cm, horizon brun clair ; à texture sablo-argileuse, plus compacte que ci-dessus ; structure nuciforme donnant quelques angles, grossière ; cohésion forte ; nombreuses petites taches et concrétions calcaires, qui deviennent plus dures vers le bas de l'horizon en formant des petits nodules, dont le diamètre peut atteindre 1 cm ; quelques traînées de couleur rouge sang.

105 à 125 cm, horizon encore plus clair ; à texture plus argileuse et plus compacte que l'horizon supérieur ; également plus de concrétions calcaires, avec, dans la masse calcaire, de nombreuses traînées plus ou moins diffuses, ferrugineuses, de couleur rouille à rouge.

125 à 145 cm, horizon brun très clair, très calcaire ; très argileux, compact, créant un véritable niveau imperméable ; les racines pénètrent jusqu'à cet horizon. Nombreuses concrétions et nodules calcaires qui se développent jusque dans la roche-mère.

145 à plus de 200 cm, marne fortement calcaire où le carbonate a tendance à se concentrer en nodules.

Dans l'exemple ci-dessus se superposent, à l'évolution du sol brun, des actions d'hydromorphie très sensibles (formation de nodules calcaires, individualisation plus poussée du fer, structure assez massive, etc...). Cette hydromorphie est créée par l'imperméabilité du niveau des marnes qui donnent naissance au sol. Ces actions se retrouvent d'une façon générale dans presque tous les sols bruns formés sur roche calcaire.

Plus au sud, les processus d'hydromorphie deviennent prépondérants et provoquent la formation de sols hydromorphes bruns (Bambey).

c) Voici un autre profil de sol brun sur dépôts sableux, enrichis en calcaire par apports latéraux.

Cet exemple est très intéressant car il jouxte un sol brun-rouge développé sur sédiment non calcaire. La comparaison de ces deux profils est très instructive.

Le lieu d'observation se situe à gauche de la route Louga-Saint Louis au kilomètre 21 de Louga. C'est une large entre-dunes, où affleurent des formations sédimentaires sablo-argileuses, calcareuses par taches.

La végétation arbustive est très dégradée par le bétail. Elle est formée d'*Acacia tortilis*, de quelques petits *Acacia Seyal* et de rares *A. Vereck*. Des *Balanites aegyptiaca*, quelques touffes de *Combretum aculeatum*, *Gymnosporia senegalensis* complètent la strate arbustive. Le tapis herbacé est constitué de *Schoenefeldia gracilis*, auquel se mêlent des individus d'*Aristida longistyla* et de *Zornia diphylla*.

0 à 5 cm, horizon brun, paraissant bien humifère ; texture sableuse légèrement argileuse ; structure feuilletée, avec quelques débris de végétaux secs, mal décomposés entre les strates ; légèrement durci en surface ; cohésion moyenne ; pas de pores ; nombreuses racines de Graminées.

5 à 20 cm, horizon de même couleur, mais plus massif, à texture sablo-argileuse ; structure particulière mais le tout assez durci pour donner de grosses écailles angulaires sous le choc du marteau ; cohésion faible ; non calcaire.

20 à 65 cm, horizon de couleur brune plus foncée ; paraît moins massif ; texture sablo-argileuse ; structure à tendance nuciforme un peu anguleuse ; cohésion moyenne ; quelques pores ; pseudo-mycellium calcaire abondant.

65 à 145 cm, horizon brun plus foncé ; texture plus argileuse ; structure nuciforme à tendance dolyédrique ; nombreux pores tubulaires ; nombreux nodules calcaires plus ou moins durcis, dont le diamètre peut atteindre 2 cm, plutôt petits dans l'ensemble, pas de pseudo-mycellium calcaire ; taches brun noir, enrichies en fer et probablement en manganèse ; marbrures de couleur ocre rouille ; quelques poches de sables grossiers blancs.

145 à 175 cm, l'horizon blanchit fortement par disparition de la matière organique ; texture un peu plus sableuse ; structure particulière ; nombreuses taches et traînées ferrugineuses, légèrement durcies, de couleur ocre-rouille à ocre noir ; quelques rares nodules calcaires ; la masse n'est pas calcaire (horizon fortement oxydé, car plus sableux).

175 à plus de 210 cm, sable faiblement argileux avec taches ferrugineuses assez diffuses, actions d'hydromorphie.

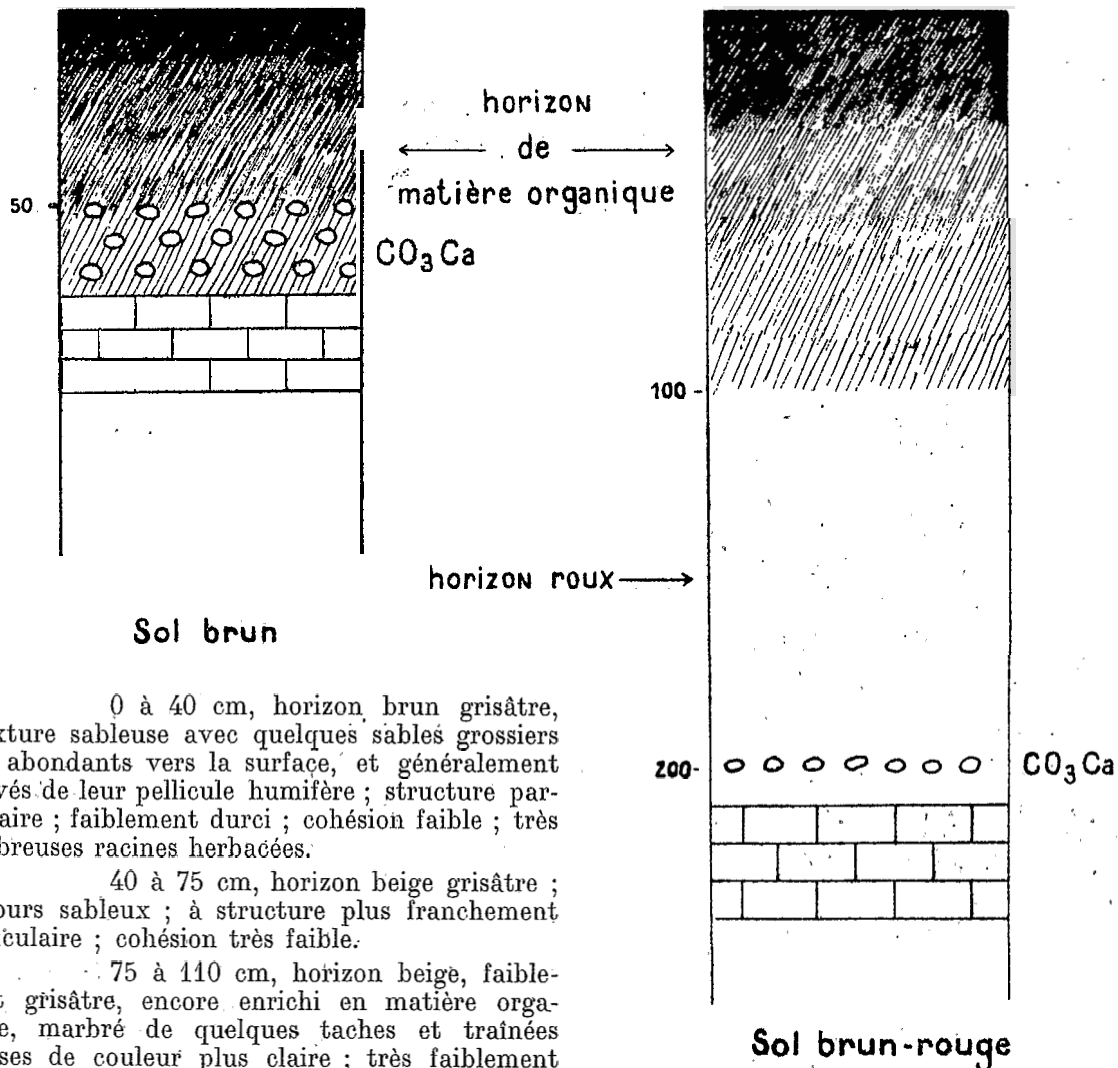
Si on compare ce sol au sol brun rouge voisin, qui sera décrit plus loin, on constate que :
 le sol brun possède une texture plus lourde que le sol brun rouge, ce qui provoque des actions d'hydromorphie,
 le sol brun est enrichi en carbonate de calcium.

La fréquence de phénomènes d'hydromorphie, à la base des profils des sols bruns subarides formés sur roches calcaires, amène à décrire les sols bruns formés à la suite d'un drainage déficient.

d) Un vaste périmètre de ce type s'étend à droite de la route qui mène à Niomre et Guermalal. Au village de Tioumande, on observe un sol brun bien caractérisé, dans une zone plane où le drainage est légèrement ralenti.

Le paysage botanique est une savane arborée claire, à *Acacia tortilis* en mélange avec quelques *Acacia Vereck*.

Profils de sols subarides



0 à 40 cm, horizon brun grisâtre, à texture sableuse avec quelques sables grossiers plus abondants vers la surface, et généralement lessivés de leur pellicule humifère ; structure particulaire ; faiblement durci ; cohésion faible ; très nombreuses racines herbacées.

40 à 75 cm, horizon beige grisâtre ; toujours sableux ; à structure plus franchement particulaire ; cohésion très faible.

75 à 110 cm, horizon beige, faiblement grisâtre, encore enrichi en matière organique, marbré de quelques taches et traînées diffuses de couleur plus claire ; très faiblement argileux ; structure nuciforme ; cohésion un peu plus forte.

110 à plus de 170 cm, sable faiblement argileux, de couleur ocre jaune, avec taches et traînées noirâtres.

Ce type de sol fait la transition avec les véritables sols bruns subarides.

e) Voici un autre exemple observé à Darah sur le domaine de la Station Centrale de l'Élevage.

Le profil se situe en bordure de la route nord-sud du titre foncier de 6.000 ha, à environ 500 mètres de la borne nord, qui marque le passage d'une dune très aplatie à un bas-fond à sol hydromorphe noir. La pente est de 2%.

La végétation constitue une savane armée ouverte à *Balanites aegyptiaca* et *Acacia Seyal* dominant. Quelques individus d'*Acacia tortilis*, *A. Vereck*, *A. arabica* var. *astringens*, et quelques touffes de *Guiera senegalensis* apportent un peu de variété à l'ensemble. Le tapis herbacé est formé de *Schoenefeldia gracilis* avec quelques touffes denses d'*Andropogon amplexans*, de nombreux *Polycarpea linearifolia*, quelques individus de *Cassia mimosoides*, *Aristida mutabilis*, *Indigofera diphylla*, *Zornia diphylla*, *Borreria radiata*, *Waltheria americana*, etc...

0 à 40 cm, horizon de couleur brune ; texture sableuse ; structure grenue bien développée, paraissant moyennement stable, taille fine ; cohésion de moyenne à forte, horizon assez durci quand il est sec ; nombreuses racines de Graminées dans les 5 cm supérieurs.

40 à 70 cm, horizon de couleur brune légèrement rougie (observé en humide) ; texture sableuse, très faiblement argileuse ; pas de structure bien nette (particulière) ; cohésion faible.

70 à 105 cm, horizon brun plus foncé, encore riche en matière organique, avec nombreuses marbrures formées de taches plus claires ou légèrement ocre rouille ; texture sableuse légèrement argileuse ; pas de structure bien nette ; cohésion de faible à moyenne.

105 à plus de 150 cm, l'horizon s'éclaircit fortement vers les teintes gris blanchâtre avec de nombreuses petites poches de sable blanc ; texture sableuse légèrement argileuse.

La transition entre ces sols bruns et les sols hydromorphes voisins est graduelle. Pour les distinguer les uns des autres, il est essentiel de tenir compte des caractéristiques de leur dynamisme :

La matière organique est mieux décomposée chez les sols bruns.

La formation d'un horizon de réduction oriente l'individualisation du fer, le début des concrétionnements, la structuration à tendance cubique chez les sols hydromorphes par engorgement temporaire.

I₂) Sols brun-rouge

Les sols brun-rouge subarides sont au Sénégal bien typés et très développés en superficie. Vers le sud, ils passent progressivement aux sols ferrugineux tropicaux non lessivés, dont ils se distinguent difficilement. Les critères de discrimination employés s'appuient sur les données de la pédogénèse.

Horizon humifère :

sols subarides : épaisseur au moins 50 cm, couleur brune, matière organique bien évoluée, assez bien structurés.

sols ferrugineux tropicaux non lessivés : épaisseur moins de 30 cm ; couleur gris noir ; matière organique plus minéralisée ; structure instable.

Horizon sous-jacent :

sols subarides : couleur rousse caractéristique ; jamais durci, parfois accumulations calcaires en profondeur.

sols ferrugineux non lessivés : couleur ocre-rouge ; souvent légèrement durci par dessiccation, jamais d'accumulations calcaires.

Les sols brun-rouge se développent sur des roches variées mais presque toujours à texture légère. Ils préfèrent les modelés accidentés qui favorisent leur drainage.

a) En bordure de la route Guermalal à Mérinaghen à 8 km du premier village, à droite de la piste, on observe des taches de sols brun-rouge alternant avec des taches de sols bruns qui entourent des mares d'hivernage. Ces sols brun-rouge se forment sur des sables faiblement calcaires qui drainent bien.

La végétation constitue une savane claire à *Acacia tortilis* et *Acacia Vereck* où l'on observe également quelques *A. Seyal*, des *Balanites aegyptiaca*, *Boscia senegalensis* et *Callotropis procera*. Dans le tapis herbacé dominant *Schoenefeldia gracilis*, *Eragrostis tremula*, *Schizachyrium* sp. avec quelques touffes de *Ctenium elegans* et *Aristida longistyla*.

0 à 18 cm, horizon gris brun ; texture sableuse ; structure à tendance nuciforme peu développée ; légèrement feuilletée sur le premier centimètre ; instable ; cohésion faible ; sans pores ; horizon dans l'ensemble légèrement durci.

18 à 57 cm, horizon brun-rouge ; légèrement grisâtre, encore humifère ; texture légèrement plus argileuse tout en étant très sableuse ; structure nuciforme un peu mieux développée ; cohésion moyenne : quelques pores tubulaires.

57 à 103 cm, horizon ocre clair, marbré de taches et traînées à peine visibles de couleur ou plus claire ou plus rouge ; texture sableuse faiblement argileuse ; pas de structure bien nette (observé en humide) ; tendance nuciforme, cohésion faible avec des pores assez nombreux ; ensemble très peu durci.

103 à 180 cm, horizon jaune ocre où les marbrures sont plus prononcées ; texture sableuse plus argileuse que ci-dessus ; pas de structure nette ; taches non durcies ; blanchi vers la base sans être calcaire.

180 à plus de 250 cm, au sommet de cet horizon, nombreux petits nodules calcaires, faiblement durcis, au milieu d'un sable argileux, blanc, calcaire, taché de traînées ocre-rouille. Vers la profondeur, sable calcaire où s'individualisent des nodules durcis, plus durs mais moins nombreux.

Dans ce sol, l'horizon humifère ne dépasse pas 60 cm. Le niveau d'accumulation de carbonate de calcium apparaît vers 200 cm. Cet horizon colmaté limite l'oxydation de l'horizon rougi qui est de couleur jaune-ocre. Ce sol n'en est pas moins typiquement un sol brun-rouge subaride.

b) Voici un autre exemple observé sur une roche plus argileuse, dans les environs immédiats du forage de Lagbâr.

La topographie est plane, avec des écoulements faibles vers des mares d'hivernage.

La végétation constitue une pseudo-steppe, où dominant *Acacia Vereck*, *Grewia bicolor*, *Commiphora africana*, *Boscia senegalensis* avec quelques grands individus de *Sclerocarya birrea*. Le tapis herbacé est composé de *Schoenefeldia gracilis* avec par taches, *Andropogon amplexans* et *Ctenium elegans* ; quelques *Chloris gayana* et *Cassia mimosoides* complètent l'ensemble.

0 à 15 cm, horizon gris-brun, humifère ; texture sablo-argileuse avec une prédominance de sables fins ; durci par la sécheresse ; se glace assez facilement en surface sous l'action de l'érosion en nappe ; structure grumeleuse très grossière, à tendance nuciforme ; cohésion forte ; nombreux pores.

15 à 40 cm, horizon brun clair tendant vers le rouge ; texture sablo-argileuse ; structure nuciforme peu développée ; cohésion faible, car humide et peu stable ; nombreux pores non tubulaires ; quelques gros grains de quartz.

40 à 55 cm, horizon brun jaunâtre ; texture légèrement plus argileuse, les gros grains de quartz sont plus nombreux ; structure à tendance particulière ; cohésion faible.

55 à 85 cm, horizon jaunâtre, marbré de petites taches brunes indiquant de faibles actions d'hydromorphie ; texture argilo-sableuse identique à ci-dessus ; structure particulière ; cohésion faible.

85 et plus de 150 cm, matériau originel plus argileux, avec de gros grains de quartz (probablement Continental Terminal) ; vers 140 cm quelques petites concrétions calcaires, dont le diamètre varie de 2 à 5 mm, faiblement durcies.

Les racines pénètrent le sol jusqu'à la roche-mère.

Les horizons humifères se prolongent jusque vers 60 cm et les concrétions calcaires apparaissent approximativement vers 150 cm. La texture, plus argileuse, limite l'oxydation et donne des couleurs moins vives, ainsi que de légères actions d'hydromorphie en profondeur. Par contre, quand la roche-mère devient plus sableuse, l'oxydation plus poussée en saison sèche provoque la formation d'horizons roux caractéristiques.

c) Profil observé dans le Nord Ferlo en bordure de la route Tyle-Boubacar Niamarel, à 18 km du premier village. Cette région est formée de dunes aplaties (système dunaire ancien). La végétation clairsemée comprend quelques *Commiphora africana* dominant, avec des *Schoenefeldia gracilis*, *Aristida mutabilis* et de nombreux *Blepharis linearifolia*.

0 à 25 cm, horizon gris roux, paraissant assez bien pourvu en matière organique ; texture très sableuse ; structure grumeleuse assez grossière ; légèrement durci en surface où l'on observe des traces d'érosion en nappe ; système racinaire abondant.

25 à 70 cm, horizon rouge grisâtre encore humifère ; durci ; texture très sableuse ; structure à tendance nuciforme mal développée, donne des éclats au choc ; stabilité faible ; gros grains de quartz arrondis et colorés ; non poreux ; les racines se développent essentiellement dans ces deux premiers horizons.

70 à 160 cm, sable roux légèrement rougi ; pas de structure nette, car humide ; quelques débris de charbon de bois ; cohésion très faible ; pas de pores.

160 à plus de 200 cm, sable jaune rouge, très faiblement argileux. Il n'y a pas de concrétions calcaires, ceci étant lié à la pauvreté de la roche-mère en calcium.

d) Description d'un sol brun-rouge situé à 10 mètres environ du profil I₁ c) dans la même position topographique, et supportant la même végétation.

0 à 12 cm, horizon brun-roux, un peu gris ; texture sableuse très faiblement argileuse ; structure à tendance nettement grumeleuse, mais pas encore bien développée, légèrement lamellaire sur le premier centimètre, et durcie ; cohésion forte ; pas de pores.

12 à 33 cm, horizon brun-rouge ; texture sableuse ; structure nuciforme assez anguleuse, donnant des éclats massifs ; durci ; cohésion forte ; peu ou pas de pores ; quelques taches et poches de sables blancs grossiers.

33 à 75 cm, horizon brun un peu moins rougi ; texture finement sableuse ; structure particulière, donne des éclats ; légèrement durci ; cohésion faible ; édifice un peu moins massif et un peu plus poreux que ci-dessus.

75 à 110 cm, horizon jaune brun ; texture sableuse, avec de nombreuses poches remplies de sable grossier blanc ; structure nuciforme assez anguleuse ; beaucoup moins durci ; cohésion de faible à moyenne.

110 à plus de 160 cm, sable blanc, bariolé de taches et traînées ocre jaune à ocre-rouille indiquant des actions assez intenses d'hydromorphie ; les racines pénètrent jusqu'à la roche-mère. A 5 mètres à droite de ce profil, le sol est un peu plus profond. Les horizons roux sont plus tranchés. Quand la roche devient légèrement calcaire, il y a début de formation d'un horizon brun vers le bas du profil avec formation de pseudo-mycellium calcaire.

Les actions d'hydromorphie ne sont pas rares à la base des profils des sols brun-rouge. Mais ces actions se produisent à une profondeur plus importante que dans les sols bruns, ce qui limite leur rôle sur la répartition de la matière organique et son évolution. Ces actions amènent parfois la formation de raies enrichies en fer.

e) Un bon exemple est donné par un sol observé à la Station Centrale de l'Élevage de Darha, et situé en bordure de la route est-ouest du titre foncier de 6.000 ha, à 2.000 mètres environ du coin nord-ouest.

La topographie est faiblement vallonnée.

La végétation constitue une savane assez fermée, mais légèrement dégradée en espèces, où dominant *Balanites aegyptiaca* et *Acacia Vereck*, accompagnés de quelques *Grewia bicolor*. Le tapis herbacé est formé d'une association à *Schoenefeldia gracilis*, *Eragrostis tremula*, où se mêlent *Aristida mutabilis* et *Andropogon amplexans*.

0 à 28 cm, horizon gris beige ; assez humifère ; texture sableuse ; structure feuilletée sur les 2 ou 3 premiers centimètres, ensuite elle devient à tendance grumeleuse, mais peu développée, et peu stable avec très peu de pores, et par suite, donne un horizon assez tassé ; nombreuses racines.

28 à 58 cm, horizon ocre gris, encore assez bien fourni en matière organique ; très sableux ; structure nuciforme faiblement anguleuse, assez bien structuré ; nombreux pores résultant de l'assemblage des agrégats ; cohésion de faible à moyenne ; une raie enrichie en fer à 45 cm, subhorizontale et légèrement durcie.

58 à 110 cm, horizon ocre rouille ; texture sableuse ; structure nuciforme assez angulaire, horizon légèrement durci ; édifice assez poreux avec nombreux petits pores non tubulaires ; cohésion de moyenne à forte ; trois raies enrichies en fer et légèrement durcies.

110 à plus de 150 cm, horizon ocre jaune ; texture sableuse faiblement argileuse ; légèrement durcie ; structure mal définie ; nombreux pores assez gros ; cohésion forte ; une raie visible jusqu'à 150 cm.

Ces raies matérialisent des niveaux d'oxydation où le fer est venu se déposer.

f) Dans quelques cas, l'hydromorphie est plus poussée, liée à un enrichissement en fer par

apports obliques, elle amène la formation d'horizons concrétionnés et parfois même de cuirasses. Ce phénomène a été étudié dans les régions nord du Ferlo entre Gbidi et Lagbar.

La chaîne des sols examinés se situe à environ 6 km de Gbidi, juste à la sortie des dunes. La région forme de vastes cuvettes où se concentrent les eaux d'hivernage.

Les sols de bordure de la cuvette sont typiquement des sols brun-rouge. Au centre s'observent des sols hydromorphes argileux, avec de nombreuses fentes de retrait. Le concrétionnement se produit en bordure de la zone d'inondation, marquée par la présence de *Mitragyna inermis* et *Anogeissus leiocarpus*.

A 50 mètres en amont de cette limite, le profil observé est un sol brun-rouge pour les horizons superficiels. Les phénomènes de concrétionnement se produisent en profondeur. La végétation est constituée de *Balanites aegyptiaca*, *Zizyphus jujuba*, *Commiphora africana* et *Boscia senegalensis*. Pour le tapis herbacé de *Schoenefeldia gracilis*.

0 à 15 cm, horizon brun foncé ; petites trainées très rares de couleur rouille ; non durci ; texture sablo-argileuse avec quelques gros grains de quartz roulés ; structure nuciforme assez massive ; la surface est feuilletée sur quelques centimètres ; horizon sec durci ; cohésion forte ; nombreux pores tubulaires.

15 à 38 cm, horizon brun rouille ; couleur assez homogène avec cependant un début de marbrures ; texture légèrement plus argileuse que précédemment ; structure nuciforme massive ; cohésion moyenne ; nombreux pores.

38 à 70 cm, horizon bariolé avec nombreuses taches rouges, commençant à bien s'individualiser ; quelques taches rouille plus claires, plus diffuses ; masse de couleur gris acier ; très argileux ; structure massive, cubique ; cohésion forte ; pores moins nombreux.

70 à 110 cm, horizon de concrétionnement, avec nombreuses concrétions durcies ; de couleur rouille, se nourrissant par l'extérieur, recouvertes d'une mince pellicule blanchâtre, au milieu d'une pâte argileuse de couleur beige, avec des taches plus ou moins diffuses rouges et rouille ; édifice compact ; devient moins concrétionné et plus argileux vers le bas.

110 à plus de 160 cm, argile beige ; très compacte ; taches plus claires blanc-grisâtre ; trainées plus ou moins diffuses vers le sommet, et, par poches, quelques concrétions durcies ; cohésion très forte.

L'horizon concrétionné présente un bel exemple d'aspect pseudo-colluvionné. Pourtant il n'y a pas trace de cuirasse fossile autour de la cuvette étudiée. Il se produit un lessivage latéral du fer, faiblement individualisé, à travers les sols qui bordent la cuvette, suivi d'une concentration et d'un concrétionnement dans les parties basses.

Près du forage de Yaré Lao, des phénomènes identiques amènent la formation de niveaux cuirassés. Les concrétions, ferrugineuses et partiellement manganifères, sont cimentées par une pâte bien durcie, riche en fer (MAIGNIEN, 1953). Ainsi apparaissent en bordure des mares du Ferlo des auréoles de sols cuirassés. Ces cuirasses sont à séparer des cuirasses fossiles qui surmontent le Continental Terminal plus au sud et à l'est.

II. CARACTÉRISTIQUES ANALYTIQUES

II₁) Caractéristiques physico-chimiques des sols subarides au Sénégal.

a) COMPOSITION MÉCANIQUE:

Sols bruns.

En dehors des sols formés sur sédiments calcaires, et des sols d'interdunes, les sols étudiés sont tous extrêmement sableux, avec prédominance des sables fins sur les sables grossiers. Le rapport sable fin/sable grossier, avoisine, 2,0-2,1, les valeurs extrêmes rencontrées étant 1,2 et 6,2.

Les teneurs en argile sont faibles de 2 à 9% dans les horizons en surface. Elles peuvent atteindre des valeurs un peu plus élevées en profondeur (6 à 10%), ordinairement à partir de 50 cm.

Les teneurs en limon sont toujours inférieures à celles de l'argile, souvent de plus de moitié.

On n'observe pas de lessivage *per descensum* des matériaux fins. Les pourcentages légèrement plus faibles en surface de ces produits sont dus à l'érosion hydrique ou éolienne, qui, en entraînant les particules les plus fines, provoque une augmentation relative des éléments grossiers.

Sur les formations marno-calcaires, ou dans les zones d'épandage, les teneurs en argile sont toujours plus élevées, et atteignent 10%. On constate une faible-augmentation des teneurs en argile avec la profondeur, augmentation toujours plus prononcée que dans les sols sableux. Ces variations dépendent davantage des conditions d'altération des dépôts sédimentaires que des phénomènes de lessivage (argilisation).

Sols bruns

COMPOSITION MÉCANIQUE EN % DE TERRE SÉCHÉE A 105°.

Lieu	N°	Profondeur	Terre fine	Sables gross.	Sables fins	Limon	Argile	Mat. organ.	CO ₂ Ca
Coki	IRHO 411	0- 30 cm	100	34,8	59,8	1,4	2,8	0,24	
		112 50- 75 cm	100	38,3	55,8	3,2	3,4	0,15	
		113 100 cm	100	33,3	61,2	1,9	3,7	0,12	
		114 180 cm	100	33,3	65,5	0,6	2,0	0,07	
Sagata	IRHO 501	0- 25 cm	100	28,0	66,5	1,3	2,9	0,29	
		502 50- 65 cm	100	26,0	63,5	1,1	8,1	0,21	
		503 100 cm	100	30,0	62,5	0,1	6,6	0,17	
		504 150 cm	100	29,0	61,0	1,8	6,6	—	
Ouarrack	IRHO 491	0- 12 cm	100	32,5	61,5	1,5	1,8	0,19	
		492 45- 55 cm	100	34,0	60,0	0,8	4,3	0,21	
		493 75 cm	100	34,0	61,0	1,1	3,1	—	
		494 150 cm	100	34,5	62,0	—	3,6	—	
Sagata (bas-fond)	Ha	321 0- 25 cm	100	28,5	59,3	2,6	9,4	0,66	
		322 50- 75 cm	100	28,5	54,3	5,1	11,9	0,43	
		323 100 cm	100	27,0	50,0	4,1	16,6	0,52	
		324 150 cm	100	37,5	55,3	3,2	5,4	0,14	
Gagnarh (sur marnes)	Ha	311 0- 30 cm	100	22,0	63,0	3,2	10,2	0,53	1,5
		312 95-105 cm	100	21,5	59,0	1,5	11,2	0,34	5,4
		313 110-125 cm	100	20,5	55,0	1,7	13,4	0,27	8,0
		314 145 cm	100	16,5	49,0	2,7	14,8	0,27	16,4
		315 200 cm	100	—	—	—	—	—	29,4
Km 15 N. Louga (entre-dunes)	Ha	331 0- 5 cm	100	16,0	69,8	3,7	10,6	0,64	—
		332 5- 20 cm	100	23,3	62,5	2,6	10,9	0,46	—
		333 50- 65 cm	100	25,5	54,0	3,2	13,8	0,38	2,1
		334 125 cm	100	16,5	62,0	1,8	17,2	0,24	6,4
		335 150 cm	100	16,0	65,0	3,4	14,3	—	0,8
		336 200 cm	100	18,3	73,3	3,6	14,1	—	—
Merinaghen	Ha	361 0- 22 cm	100	36,0	58,0	3,8	4,8	0,41	
		362 100 cm	100	40,0	52,0	1,2	6,2	0,25	
		363 130 cm	100	42,0	51,5	—	6,3	—	
		364 180 cm	100	32,0	62,5	—	6,4	—	
Tiamande (drainage déficient)	IRHO 421	0- 25 cm	100	30,1	62,5	2,6	4,5	0,40	
		422 50- 75 cm	100	30,7	60,8	1,0	7,5	0,24	
		423 100 cm	100	30,2	59,8	1,8	7,2	0,19	
		424 170 cm	100	28,2	67,8	1,7	2,4	0,10	
Keur Samba Kane	IRHO 461	0- 22 cm	100	12,5	77,5	2,5	5,6	0,33	
		462 50- 70 cm	100	13,5	76,5	2,6	5,6	0,27	
		463 100 cm	100	14,3	72,5	0,9	9,3	0,21	
		464 140 cm	100	13,5	72,5	0,8	9,3	0,15	
Darah (zone basse)	Ha	451 0- 25 cm	100	27,5	63,5	—	5,6	0,24	
		452 40- 70 cm	100	26,0	61,2	—	8,9	—	
		453 95-105 cm	100	23,8	62,8	1,0	9,6	0,29	
		454 150 cm	100	27,5	58,0	2,0	11,3	0,14	

Sols brun-rouge.

La composition mécanique des sols brun-rouge est beaucoup plus variée que celle des sols bruns. Ce fait confirme les tendances génétiques des sols des régions nord du Sénégal.

Les sols étudiés sont ordinairement très sableux, les teneurs en sables totaux dépassent fréquemment 90 %. Comme pour les sols bruns, il y a toujours prédominance de sables fins sur les sables grossiers. Les rapports sont cependant plus faibles. Cette remarque est très constante pour toutes les régions nord du Sénégal. BOUYER a signalé des faits analogues dans le Cayor.

Souvent les teneurs en argile sont plus faibles en surface qu'en profondeur, sans que l'on puisse dégager pour cela un processus de lessivage vertical. Comme pour les sols bruns, cette diminution du taux d'argile en surface est due à un déblayage des matériaux fins par les agents de l'érosion. Elle est néanmoins plus prononcée en sols brun-rouge qu'en sols bruns, par suite d'une stabilité structurale plus faible.

Sols brun-rouge

COMPOSITION MÉCANIQUE EN % DE TERRE SÉCHÉE A 105°.

Lieu	N°	Profondeur	Terre fine	Sables gross.	Sables fins	Limon	Argile	Mat. organ.	CO ₂ Ca
Sakal (sur dunes)	IRHO 81	0- 25 cm	100	36,2	58,7	2,8	2,7	0,17	
	82	50- 80 cm	100	48,2	47,5	0,5	3,1	0,10	
	83	120-125 cm	100	47,1	50,2	—	2,0	0,09	
	84	180 cm	100	49,2	48,1	0,7	1,7	0,09	
Sud Tyle-Boubacar (Zone dunaire)	Ha 371	0- 25 cm	100	26,5	67,5	0,3	5,0	0,31	
	372	50- 70 cm	100	28,0	65,0	2,2	4,3	0,14	
	373	100 cm	100	27,5	65,0	2,9	0,1	—	
	374	175 cm	100	20,5	69,0	3,1	4,3	—	
Darah	Ha 461	0- 25 cm	100	32,0	61,0	2,6	5,7	0,34	
	462	45- 55 cm	100	30,5	59,0	4,5	7,4	0,29	
	463	100 cm	100	29,5	55,5	2,1	14,4	—	
Près de Louga (passage aux sols ferrugineux)	Ha 301	0- 17 cm	100	37,5	58,0	2,8	1,8	0,45	
	302	30- 50 cm	100	33,5	61,5	2,3	3,0	0,21	
	303	75 cm	100	36,0	58,0	0,5	4,0	—	
	304	150 cm	100	32,0	62,0	0,8	3,8	—	
	305	250 cm	100	34,0	62,0	0,5	2,6	—	
Yiare (Ferlo)	Ha 391	0- 25 cm	100	33,5	59,5	3,7	2,8	0,27	
	392	25- 50 cm	100	32,0	36,0	0,8	9,7	0,17	
	393	100 cm	100	31,5	53,5	2,3	12,2	—	
	394	150 cm	100	32,5	55,5	1,9	9,7	—	
Güermalal	Ha 351	0- 18 cm	100	26,3	67,8	2,3	5,1	—	
	352	40- 50 cm	100	28,0	55,5	2,4	10,5	—	
	353	100 cm	100	28,0	61,6	1,3	9,4	—	
	354	50 cm	100	29,0	57,5	2,6	10,8	—	
	355	250 cm	100	30,5	56	3,8	6,8	—	1,16
Km 15 nord Louga (entre-dunes)	Ha 341	0- 12 cm	100	25,0	65,8	2,0	6,4	0,95	—
	342	12- 33 cm	100	25,3	64,6	1,2	7,7	0,37	—
	343	50- 75 cm	100	21,0	68,5	0,8	8,5	—	
	344	100 cm	100	13,5	79,0	1,0	6,6	—	
	345	150 cm	100	9,8	84,3	—	7,3	—	
5 km sud Gbidi	Ha 381	0- 15 cm	100	34,0	50,5	9,2	8,4	0,62	
	382	15- 38 cm	100	27,5	45,5	7,7	18,9	0,41	
	383	50- 70 cm	91	23,5	43,0	4,5	27,2	0,22	
	384	75 cm	20	26,0	39,0	5,4	27,9	—	
		110 cm	87	20,5	40,0	4,1	33,4	—	

b) MATIÈRE ORGANIQUE.

Sols bruns.

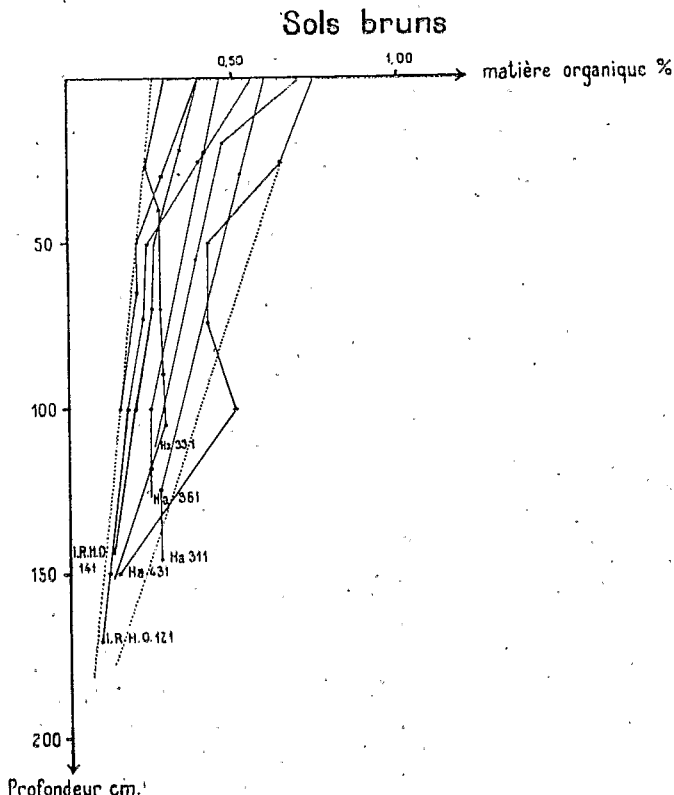
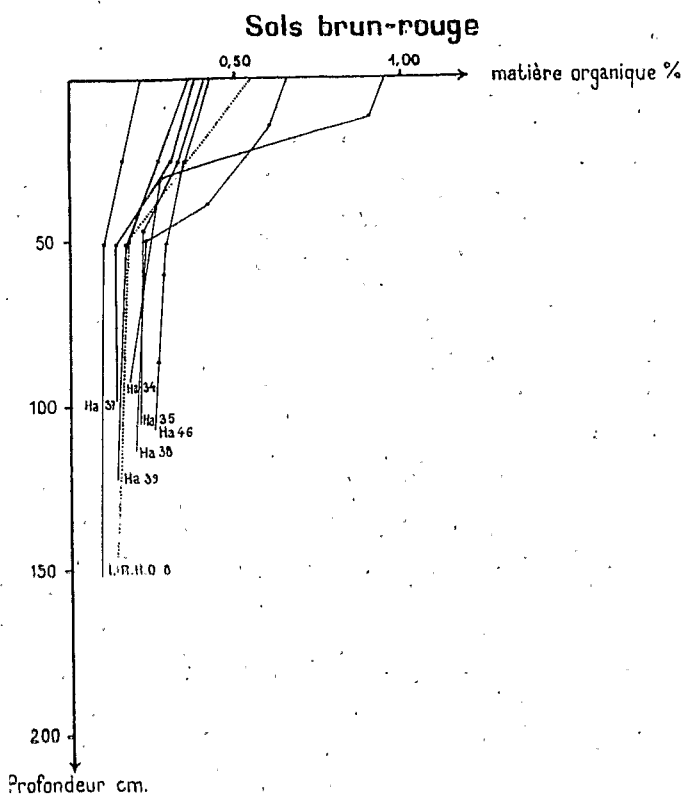
Les teneurs en matière organique sont faibles pour des sols bruns. Dans aucun cas, il a été trouvé des valeurs supérieures à 1 %. Les teneurs les plus fréquentes varient de 0,40 à 0,75 %. Cependant, dans une étude récente, DUGAIN (1958) signale des valeurs de 2,7 % pour des sols bruns de la région de Kankossa (Mauritanie).

Sols bruns

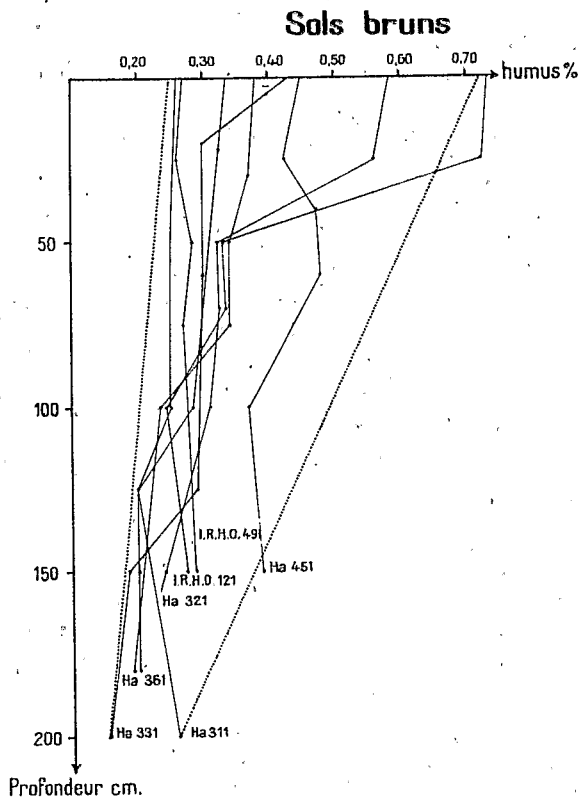
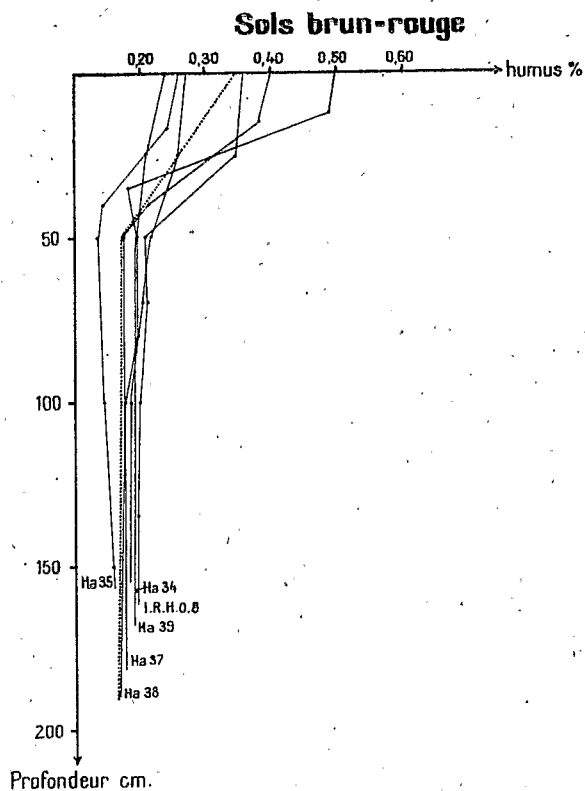
TENEURS EN MATIÈRE ORGANIQUE

	N°	Mat. organ. %	Humus ‰	C %	N ‰	C/N	pH		
Sols bruns typiques	Ha	311	0,53	0,26	0,31	0,35	8,9	7,5	
		312	0,34	0,26	0,20	0,38	5,3	7,6	
		a) sur marnes	313	0,27	0,20	0,16	0,39	4,1	7,7
		314	0,27	0,22	0,16	0,37	4,6	7,9	
		315	—	0,27	—	0,27	—	7,9	
	b) sur sables	Ha	361	0,41	0,35	0,24	0,25	9,6	7,4
			362	0,25	0,28	0,15	0,25	6,5	7,2
			363	—	0,20	—	—	—	7,8
			364	—	0,20	—	—	—	7,8
	Sols bruns à nodules	Ha	331	0,64	0,40	0,37	0,40	9,0	7,2
332			0,46	0,30	0,27	0,45	6,0	7,2	
333			0,38	0,30	0,22	0,27	8,1	7,7	
334			0,24	0,28	—	—	—	7,8	
335			—	0,18	—	—	—	7,9	
336			—	0,12	—	—	—	8,1	
451			0,24	0,45	0,14	0,29	4,8	7,3	
452			0,28	0,48	0,16	0,21	1,7	6,9	
453			0,29	0,37	0,17	0,13	13,1	6,9	
454			0,14	0,39	0,08	0,17	1,7	7,0	
IRHO		121	0,40	0,74	0,23	0,19	12,1	6,5	
		122	0,24	0,33	0,14	0,16	8,7	6,7	
		123	0,19	0,24	0,11	0,16	6,9	6,7	
		124	0,10	0,28	0,06	0,15	4,0	7,0	
Sols bruns à taches	IRHO	501	0,29	0,50	0,17	0,15	10,4	6,1	
		502	0,21	0,52	0,52	0,28	4,3	5,0	
		503	0,17	—	0,10	0,26	3,8	5,6	
		504	—	—	—	—	—	5,0	
	Ha	321	0,66	0,56	0,39	0,41	9,5	6,0	
		322	0,43	0,32	0,25	0,48	5,2	5,1	
		323	0,52	0,31	0,30	0,41	7,2	6,0	
		324	0,14	0,24	0,08	0,35	2,3	7,3	
	IRHO	491	0,19	0,26	0,11	0,22	5,0	6,7	
		492	0,21	0,29	0,12	0,18	6,0	5,5	
		493	—	0,27	—	0,14	—	5,4	
		494	—	0,29	—	0,10	—	5,7	
	IRHO	461	0,33	0,39	0,19	0,19	10,0	6,2	
		462	0,27	0,30	0,16	0,21	7,6	6,6	
		463	0,21	0,37	0,12	0,11	10,9	6,7	
		464	0,15	0,26	0,09	0,16	5,6	6,8	
	Sols bruns	111	0,24	0,37	0,14	0,16	8,8	5,5	
		112	0,15	0,34	0,09	0,13	6,0	5,3	
113		0,12	0,24	0,07	0,15	4,7	4,8		
114		0,07	0,20	0,04	0,13	3,1	5,3		

Teneurs en Matière Organique



Teneurs en Humus



La matière organique se distribue de façon homogène à travers les profils au moins jusqu'à 100 cm de profondeur.

La diminution des teneurs avec la profondeur est progressive.

Plus caractéristiques sont les variations de pourcentage de l'**humus précipitable**, à travers les différents horizons. Les valeurs absolues varient fortement d'un sol à l'autre (de 0,30 à 0,75 p. mille dans les horizons de surface). Mais dans chaque profil, ces teneurs restent constantes jusque vers 50 cm de profondeur, avec parfois une légère augmentation, quand l'horizon de surface a été travaillé par des façons culturales. Vers 100 cm les teneurs en humus atteignent encore couramment 0,25 à 0,30 p. mille.

Normalement, l'humification de la matière organique est lente, mais elle augmente sensiblement avec l'apparition du phénomène d'hydromorphie, et est proportionnelle à son intensité. La valeur moyenne des rapports humus/matière organique varie de 5 à 10 %, mais, pour certains sols bruns à taches et marbrures, elle atteint 15 à 20 %. En profondeur, ces valeurs dépassent couramment 20 % dans les horizons d'hydromorphie. Ces chiffres sont en relation avec la stabilité des composés humiques de synthèses. Des rapports humus/matière organique supérieurs à 10, en sols subarides, indiquent une minéralisation plus active de la matière organique, qui est due à une plus grande humidité du milieu en saison des pluies. Dans de tels sols, la mise en culture provoque une baisse rapide des réserves organiques.

Les teneurs en azote sont relativement bonnes. Elles confirment la présence de produits humiques de synthèse. Ces teneurs sont plus élevées en sols bruns, surtout en présence de calcaire. Les sols bruns à tendance hydromorphe ont des teneurs plus faibles sur tout le profil, ce qui semble indiquer la formation de produits organiques résiduels beaucoup moins riches, produits influant sur le développement de la structure de ces sols.

Les rapports C/N, bien que peu significatifs, confirment ces conclusions. Ils varient de 9 à 10 dans les horizons de surface pour baisser rapidement avec la profondeur. Les faibles valeurs de ce rapport sont liées à un manque de matériaux carbonés, fait déjà signalé par BOUYER (1949). Les sols bruns à taches ou marbrures fournissent des valeurs un peu plus élevées, qui peuvent atteindre 12. Deux facteurs influent dans ce cas : une plus grande humidité du milieu, qui amène un développement plus important de la végétation, et, par suite, un retour au sol d'une plus grande quantité de matière organique ; des actions réductrices qui limitent sensiblement la décomposition de ces matériaux carbonés. Ces faits expliquent également les variations parfois importantes de ce rapport C/N à travers un même profil.

Sols brun-rouge

Les teneurs en matière organique de ces sols sont beaucoup plus faibles que celles des sols bruns. Pour les horizons de surface, elles varient en moyenne de 0,30 à 0,60 %. A Kankossa (Mauritanie), DUGAIN trouve des valeurs plus fortes (1,6 %).

Les variations avec la profondeur sont plus rapides qu'en sols bruns. On observe un abaissement brutal vers 40 cm, la valeur moyenne vers 50 cm n'étant plus que de 0,25 %. Ces données montrent le passage aux sols ferrugineux.

Les variations d'**humus précipitable** avec la profondeur classent bien ces sols dans le groupe des sols subarides. Les diminutions des teneurs en humus sont plus amorties que celles de la matière organique. Elles indiquent une évolution vers la formation de produits humiques de synthèse. Les teneurs en valeurs absolues varient en moyenne entre 0,25 et 0,50 p. mille. Ces valeurs baissent assez brusquement vers 25 cm, pour atteindre 0,20 à 0,35 %, valeurs ensuite constantes jusque vers 150 cm.

Il semble donc se produire en surface une évolution de la matière organique, beaucoup plus rapide qu'en sols bruns, avec perte importante de celle-ci par minéralisation vers 25 cm. Cependant une partie importante de cette matière organique (plus de la moitié) donne encore des produits humiques stables qui caractérisent les sols subarides.

Cet équilibre entre la minéralisation et la mise en réserve de la matière organique montre le passage vers les sols ferrugineux. La minéralisation s'observe particulièrement en sol bien drainé, de type dunaire. Dans ces sols, les rapports humus/matière organique varient de 17 à 20. En sol légèrement plus argileux, ce rapport tombe au-dessous de 10. Il semble donc se dégager certaines relations entre la vitesse de minéralisation de la matière organique, l'aération du milieu et la durée d'humidité des sols.

Sauf dans un cas (accumulation d'inter-dunes), les **rapports C/N** sont toujours très bas, et indiquent, d'une part une bonne décomposition de la matière organique, d'autre part le manque de matériaux carbonés. Il semble que les sols brun-rouge soient aptes à décomposer des quantités beaucoup plus importantes de matière organique que celle qui est actuellement à leur disposition. Peut-être faut-il voir dans ce déficit carboné, une conséquence des feux courants annuels qui détruisent presque entièrement la couverture herbacée de ces sols.

Sols brun-rouge

TENEURS EN MATIÈRE ORGANIQUE

No	Mat. organ. %	Humus ‰	Carbone %	Azote ‰	G/N	pH
IRHO	81	0,17	0,34	0,10	—	6,0
	82	0,10	0,20	0,06	0,16	5,9
	83	0,09	0,20	0,05	0,16	5,6
	84	0,09	0,22	0,05	0,16	6,2
Ha	371	0,31	0,26	0,18	0,23	7,4
	372	0,14	0,22	0,08	0,11	7,2
	373	—	0,14	—	0,11	7,5
	374	—	0,16	—	0,07	—
Ha (nodules)	351	0,34	0,24	0,20	0,29	6,9
	352	0,22	0,14	0,13	0,25	6,8
	353	—	0,14	—	0,14	7,3
	354	—	0,17	—	0,25	7,4
	355	—	—	—	—	8,2
Ha (entre dunes)	341	0,95	0,50	0,55	0,45	12,2
	342	0,27	0,18	0,16	0,35	4,6
	343	—	0,12	—	0,29	—
	344	—	0,10	—	0,21	—
	345	—	0,10	—	0,24	—
Ha (Hydromorphie en profondeur)	461	0,34	0,50	0,20	0,24	8,3
	462	0,29	0,60	0,17	0,18	9,4
	463	—	0,39	—	0,17	—
	464	—	0,35	—	0,15	—
Ha	391	0,27	0,22	0,16	0,17	0,4
	392	0,17	0,18	0,10	0,14	7,1
	393	—	0,20	—	0,13	—
	394	—	0,18	—	0,15	—
Ha (Gravillons en profondeur)	381	0,62	0,38	0,36	0,28	12,9
	382	0,41	0,22	0,24	0,24	10,0
	383	0,22	0,15	0,13	0,25	5,2
	384	—	0,18	—	0,17	—
	385	—	0,14	—	0,22	—

Les teneurs en azote sont bonnes, supérieures d'une façon générale à celles des sols bruns, ce qui confirme la combustion rapide de la matière organique.

En résumé ces sols pèchent par un manque manifeste de matériaux organiques.

c) ACIDITÉ PH.

Sols bruns

L'acidité pH est sous la dépendance du type d'évolution de la matière organique et des carbonates présents ou absents. Cette valeur est un des meilleurs critères de discrimination entre les différents sols bruns. D'une façon générale, les sols bruns typiques ont toujours un pH supérieur à 7. On trouve ordinairement des valeurs plus faibles (quelques dixièmes), dans les horizons intermédiaires,

puis une augmentation importante vers la roche-mère. Cette remontée est liée à l'apparition du carbonate de calcium.

Dans les sols bruns dépourvus de carbonates, il existe une nette relation entre l'abaissement du pH, et la déficience du drainage. Les sols à marbrures, qui montrent des phénomènes d'engorgement temporaire à la suite de grosses précipitations, possèdent des pH neutres à faiblement acides. Ils subissent des variations importantes au cours de l'année. Dans les cas les plus défavorables, le pH s'abaisse de plus d'une unité en saison des pluies. Mais d'une façon générale, les sols bruns sont assez bien tamponnés.

Les sols à taches, à phénomènes d'engorgement plus prononcés en profondeur, possèdent des pH plus bas, qui descendent en dessous de pH 6 en saison des pluies, quand le milieu est faiblement tamponné. Cette acidité est en relation avec les degrés d'hydromorphie qui règlent le type de décomposition de la matière organique. Plus le drainage est déficient, plus le pH tend à s'abaisser, par suite de la formation de produits organiques acides. On passe ainsi insensiblement aux sols hydromorphes qui peuvent être parfois confondus, à la limite, avec certains types de sols bruns.

Sols brun-rouge

Le pH des sols brun-rouge est toujours inférieur de quelques dixièmes d'unité à celui des sols bruns typiques. Il varie de neutre à légèrement acide. Les sols brun-rouge sont assez mal tamponnés. En particulier leur pH, surtout dans les horizons de surface, varie sensiblement au cours de l'année. C'est ainsi qu'il s'abaisse en saison des pluies, parfois de presque une unité pH, pour remonter assez brusquement en saison sèche.

La pauvreté chimique de ces sols fait que le pH suit étroitement les modifications d'évolution de la matière organique. C'est l'acidité organique qui définit le pH. En sols plus argileux, le milieu est mieux tamponné et les fluctuations annuelles sont moins prononcées.

On dégage ainsi des relations entre la nature texturale de ces sols, leur pH et l'intensité des précipitations. En région à faible pluviométrie, comme dans le nord du Ferlo, par exemple, les pH sont neutres à faiblement acides, même sur sables siliceux. Dans les régions plus méridionales, où la pluviométrie est plus forte, le pH prend des valeurs légèrement inférieures à 7, et ce phénomène est d'autant plus prononcé que les sols sont plus sableux.

Sur un même profil, on observe des variations de pH sensibles. Celui-ci s'abaisse parfois d'une unité dans les horizons intermédiaires pour remonter en profondeur, vers 150 cm. Le pH des horizons profonds est toujours plus élevé que celui des horizons de surface.

Toutes ces observations montrent le caractère mixte de ces sols, surtout dans les régions méridionales :

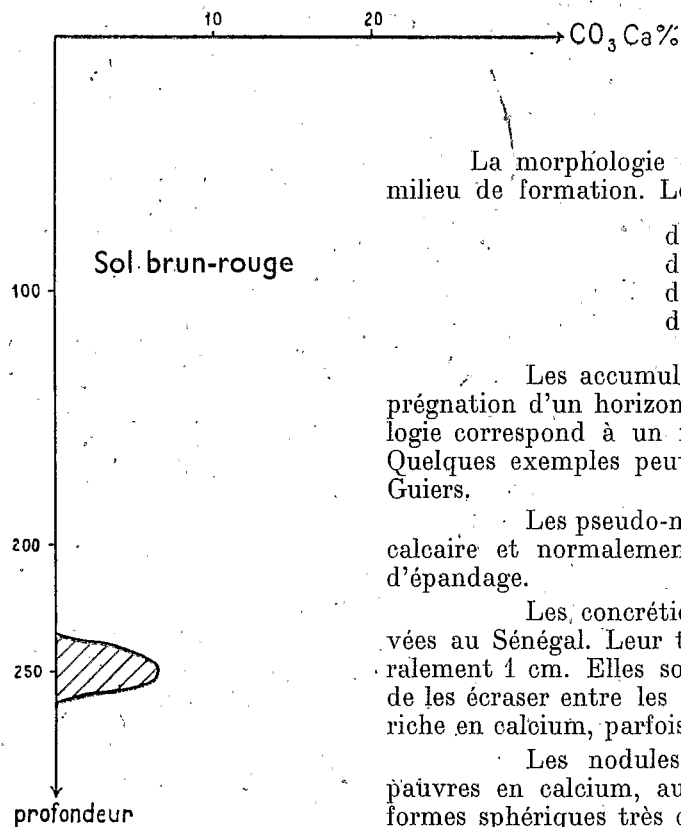
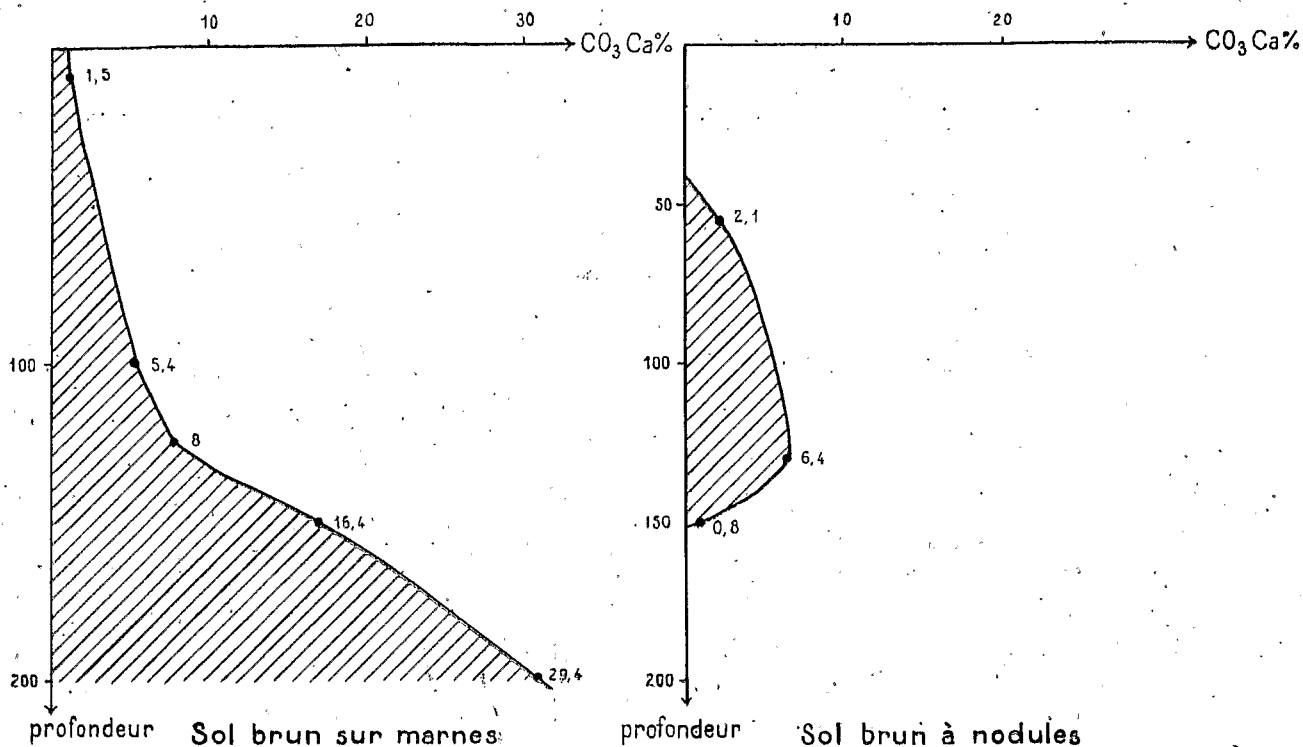
tendance à une légère acidification en surface, formation d'une certaine quantité de produits organiques acides, amorçant un début de lessivage (caractéristique des sols ferrugineux),
remontée du pH en profondeur avec tendance d'accumulation de carbonate de calcium (caractère de sols subarides).

d) CARBONATE DE CALCIUM.

Les sols subarides possèdent fréquemment un horizon d'accumulation calcaire à faible profondeur, généralement vers 30-50 cm. Dans les régions nord, on observe des accumulations calcaires, que dans les sols bien caractérisés, développés sur des formations argilo-gréseuses miopléocènes, sur des formations antérieures généralement calcaires, sur des dépôts lacustres récents ou en zone d'épannage argileux. Ordinairement, les sols formés sur roche-mère sableuse, d'origine plus ou moins dunaire, ne donnent pas d'accumulations calcaires.

A facteurs égaux, les sols bruns donnent toujours des accumulations plus importantes que les sols brun-rouge. Chez ces derniers, les accumulations sont sporadiques, et liées à une hydromorphie d'engorgement en profondeur. En sols bruns, les accumulations de carbonate commencent près de la surface. En sols brun-rouge quand elles existent, elles n'apparaissent généralement pas avant 150 cm.

Répartition de CO_3Ca à travers les profils



La morphologie des accumulations est assez caractéristique du milieu de formation. Les formes observées sont :

- des formes diffuses,
- des pseudo-mycelium,
- des concrétions,
- des nodules.

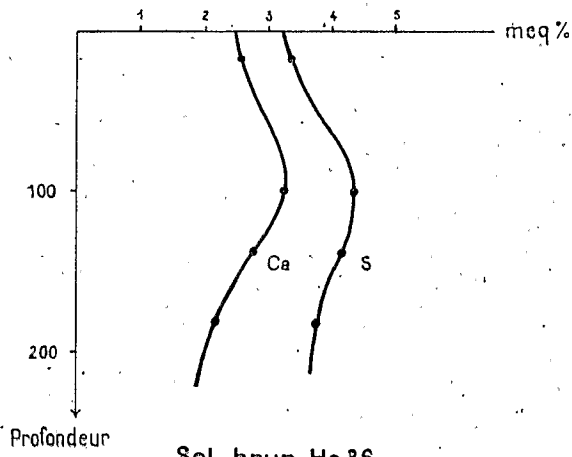
Les accumulations diffuses sont rares au Sénégal. Il y a imprégnation d'un horizon qui se trouve légèrement durci. Cette morphologie correspond à un milieu calcaire meuble et normalement drainé. Quelques exemples peuvent être signalés dans les environs du lac de Guiers.

Les pseudo-mycelium s'observent en sol argileux, faiblement calcaire et normalement drainé. Ils sont caractéristiques des zones d'épandage.

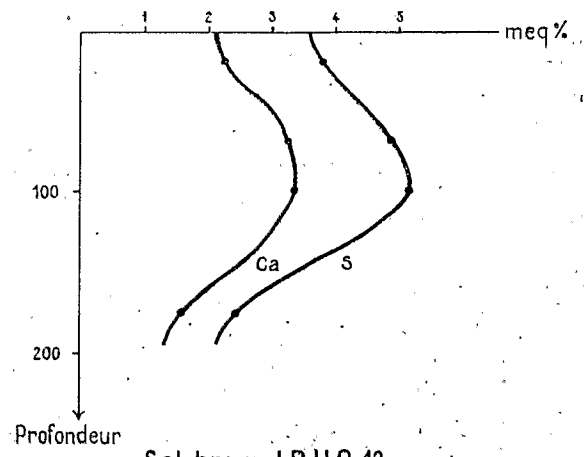
Les concrétions sont les formes les plus couramment observées au Sénégal. Leur taille est variable, leur diamètre dépassant généralement 1 cm. Elles sont assez fortement durcies, mais il est possible de les écraser entre les doigts. Elles indiquent un milieu moyennement riche en calcium, parfois légèrement colmaté en profondeur.

Les nodules s'observent fréquemment dans des horizons pauvres en calcium, au contact d'un niveau imperméable. Ils sont de formes sphériques très dures et présentent une géode en leur centre. Le

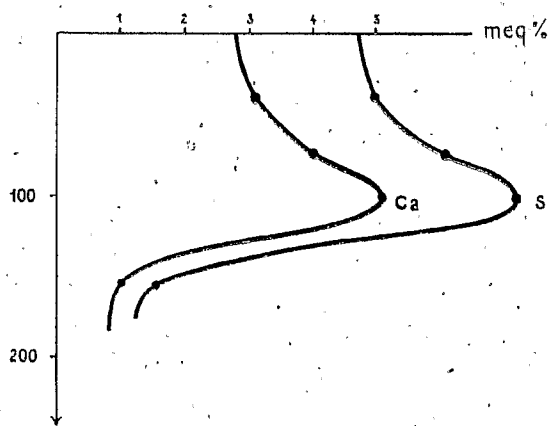
Répartition de Ca et des bases échangeables du complexe-absorbant à travers les profils



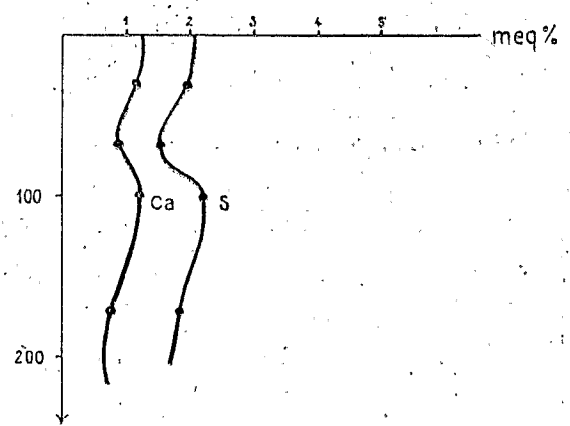
Sol brun Ha 36



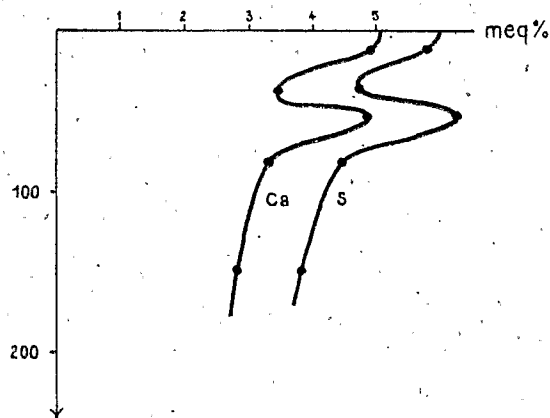
Sol brun I.R.H.O. 12



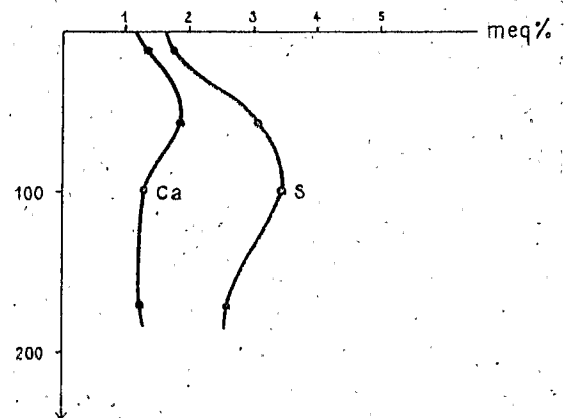
Sol brun Ha 45



Sol brun-rouge Tylé Boubacar



Sol brun-rouge. Louga
engorgement en profondeur



Sol brun-rouge Yaré Lao

carbonate de calcium y est bien cristallisé sous forme de fibres rayonnantes. La taille dépasse quelquefois 3 cm de diamètre. Les nodules sont individualisés au milieu d'une matière non calcaire.

Ces accumulations de calcaire proviennent généralement du lessivage des horizons de surface qui se trouvent partiellement décalcarifiés ou décalcifiés. C'est le cas courant des concrétions, des pseudo-mycelium et des accumulations diffuses. La formation des nodules est plus complexe. La circulation d'un niveau hydrostatique ou d'une nappe phréatique à travers des horizons contenant du calcium permet un enrichissement de ceux-ci. Il se produit des concentrations, en certains points privilégiés, suivies d'une déshydratation brutale en début de saison sèche, qui provoque la précipitation du carbonate.

TENEURS EN CO_3Ca % DANS QUELQUES SOLS SUBARIDES

Sols bruns sur marnes		Sols bruns d'entre-dunes (nodules)		Sols brun-rouge à nodules	
N° Echantillon	Teneur	N° Echantillon	Teneur	N° Echantillon	Teneur
Ha 311	1,5	Ha 331	—	Ha 351	—
312	5,4	332	—	352	—
313	8,0	333	2,1	353	—
314	16,4	334	6,4	354	—
315	29,4	335	0,8	355	1,2
		336	—	356	—

e) ETUDE DU COMPLEXE ABSORBANT.

Sols bruns

Le complexe absorbant des sols bruns sénégalais est bien pourvu en bases échangeables, et souvent saturé, du moins dans les sols typiques. En valeur absolue, S dépasse fréquemment 3 m. é. q. dans l'horizon de surface. Ce chiffre est fort, compte-tenu de la texture de ces sols, formés sur sables siliceux pauvres chimiquement. La capacité d'échange de ces sols est liée au taux d'argile, les teneurs en humus à forte capacité d'échange étant négligeables. Si on rapporte les quantités de bases échangeables à 100 % d'argile, on calcule que les valeurs obtenues varient dans les horizons de surface de 65 à 80 m. é. q. en moyenne. On peut donc admettre la présence d'argile du groupe de la montmorillonite. BOUYER, dans des travaux antérieurs, est arrivé à des conclusions identiques.

A titre de comparaison, pour des sols à texture semblable, mais évoluant en zone latéritique (région de Kindia), nous avons trouvé des valeurs de S variant de 0,2 à 0,4 m. é. q., indiquant la présence de kaolinite, présence vérifiée par des analyses thermiques différentielles. Les conclusions précisant la présence d'argile du groupe de la montmorillonite, dans les sols bruns sénégalais, se trouvent confirmées par la présence, toujours importante dans ces sols, de magnésium, élément qui joue un rôle essentiel dans la genèse de ces argiles.

Les variations de S à travers les différents horizons d'un même profil sont peu marquées. Il y a équilibre entre les mouvements verticaux des solutions percolant à travers ces sols, et les processus de remontée par évapo-transpiration. Les différences sont plus marquées dans les sols subissant des actions d'hydromorphie en profondeur. Ces phénomènes contribuent à une certaine diffusion latérale des bases solubles.

En règle générale, les valeurs de S sont toujours plus élevées dans le sol que dans la roche-mère, ce qui précise le rôle de la végétation dans la genèse de ces sols. Il y a remontée des cations par le canal des plantes qui les restituent et les accumulent en surface par leurs débris. Ce phénomène apparaît moins nettement dans les sols formés à partir de roches calcaires. Les fortes teneurs cachent partiellement ces remontées. Cependant S est fréquemment plus faible en A_1 que dans les horizons immédiatement inférieurs, ce qui montre un début de lessivage des bases sur 30 à 50 cm. Ces faits sont à mettre en parallèle avec l'accumulation de CO_3Ca en profondeur.

Remarques :

Il faut signaler un abaissement sensible de T dans les horizons inférieurs des sols bruns à tendance hydromorphe qui montrent des phénomènes d'individualisation du fer sous forme de taches. La capacité d'échange descend facilement au-dessous de 40 m. é. q. Deux hypothèses peuvent être avancées :

Il y a formation d'une certaine quantité d'argile à faible pouvoir d'échange, phénomènes favorisés en milieu acide et faiblement concentré.

Il se produit une adsorption des hydroxydes de fer sur les surfaces actives des argiles limitant sensiblement leur capacité d'échange.

Il est probable que ces deux processus interviennent plus ou moins, suivant les cas considérés. D'autre part, en milieu mal drainé, le complexe absorbant tient à se dessaturer, et cela, d'autant plus fréquemment que les phénomènes d'hydromorphie sont plus prononcés.

Sols bruns
TENEURS EN BASES ÉCHANGEABLES

No	En milliéquivalent pour 100 g de terre fine					En pourcentage				
	Ca	Mg	K	Na	S	Ca	Mg ¹	K	Na	
Ha	361	2,43	0,74	0,15	0,27	3,59	67,8	20,5	4,2	7,5
	362	3,42	1,00	0,08	0,23	4,73	72,6	21,2	1,7	4,5
	363	2,79	1,24	0,04	0,50	4,37	61,0	28,3	0,85	6,85
	364	2,31	1,00	0,04	0,45	3,79	61,0	26,4	1,2	11,4
IRHO	121	2,68	1,00	0,08	0,11	3,87	69,3	25,2	2,1	3,4
	122	3,57	1,00	0,11	0,13	4,81	74,3	20,8	2,3	2,6
	123	3,75	1,24	0,11	0,08	5,18	72,5	24,0	2,1	1,4
	124	1,60	0,60	0,06	0,08	2,24	71,3	22,3	2,7	3,7
IRHO	461	4,00	1,00	0,15	0,10	5,25	76,3	19,1	2,9	1,7
	462	6,14	0,60	0,12	0,08	6,95	88,5	8,8	1,9	0,8
	463	6,74	0,65	0,13	0,08	7,00	89,0	8,6	1,7	0,7
	464	7,72	0,14	0,11	0,10	8,67	89,0	8,7	1,3	1,1
Ha	451	3,35	1,24	0,25	0,11	4,95	67,8	25,0	5,0	2,2
	452	4,89	1,49	0,25	0,14	6,72	73,1	22,2	3,0	1,7
	453	5,56	1,40	0,21	0,19	7,36	75,5	19,1	2,9	2,5
	454	1,14	0,40	0,17	0,06	1,76	65,0	22,7	9,6	2,7
IRHO	111	1,43	0,60	0,11	0,13	2,27	63,0	26,5	4,85	5,65
	112	1,43	0,50	0,08	0,13	2,14	67,0	23,5	3,70	5,80
	113	1,23	0,65	0,08	0,29	2,25	54,8	28,3	3,55	12,85
	114	0,86	0,25	0,06	0,23	1,40	61,5	17,8	4,30	16,40
IRHO	501	1,61	0,60	0,33	0,08	2,62	61,5	23,0	12,60	2,9
	502	2,39	0,84	0,15	0,08	3,46	69,2	23,7	4,40	2,7
	503	2,04	0,60	0,06	0,06	2,76	74,0	22,6	2,20	1,2
	504	3,04	1,00	0,08	0,11	4,23	72,0	23,7	1,90	2,4
IRHO	491	1,61	0,40	0,11	0,04	2,16	74,6	18,6	5,1	1,7
	492	1,23	0,30	0,08	0,06	1,67	73,8	18,0	4,9	3,3
	493	1,43	0,20	0,13	0,06	1,82	78,5	11,7	7,1	2,7
	494	0,87	0,20	0,04	0,06	1,07	80,1	18,7	0,4	0,8
Ha	321	4,60	1,49	0,11	0,06	6,32	73,0	23,6	1,7	1,7
	322	5,72	1,99	0,04	0,06	7,81	73,0	25,5	0,5	1,0
	323	8,63	2,98	0,04	0,08	11,73	73,6	25,6	0,3	0,5
	324	4,03	0,50	0,04	0,08	4,65	86,7	10,8	0,9	1,6

Répartition des cations à l'intérieur du complexe absorbant.

L'étude des tableaux analytiques montre des proportions toujours très fortes de calcium et de magnésium. Les cations alcalino-terreux représentent en moyenne plus de 90 % de S. Il y a toujours plus de Ca. Le rapport Mg/Ca varie de 0,5 à 0,1, les valeurs les plus courantes allant de 0,4 à 0,28. On constate donc des teneurs importantes en magnésium, teneurs qui caractérisent d'une façon générale les sols du bassin sédimentaire sénégalais. Cette caractéristique s'accroît en milieu subaride.

Les teneurs en potassium sont faibles en valeurs absolues. En valeur relative, les pourcentages trouvés sont dans l'ensemble assez bons, surtout dans les horizons de surface. Ainsi se confirme l'action de la végétation dans les processus de remontée des bases, et particulièrement de K. Sans que l'on

puisse dégager de relation très nette, il semble que, dans les sols bruns typiques, la végétation tend à créer un seuil minimum en potasse, et cela quelle que soit la pauvreté de la roche-mère en cet élément.

L'action de la végétation se fait beaucoup moins sentir sur la répartition du sodium. Les valeurs trouvées sont variables, généralement plus fortes que celles du potassium. Le rapport K/Na est toujours plus élevé en surface qu'en profondeur, cela provenant plus d'un abaissement des teneurs en K que d'une augmentation de Na.

Sols brun-rouge.

Les sols brun-rouge possèdent un complexe absorbant moins riche en bases, et moins saturé, que celui des sols brun. Sauf dans le cas des sols colluviaux (entre-dunés par exemple) les teneurs en bases échangeables avoisinent 2 m. é. q. % dans l'horizon de surface, vers le bas.

Sols brun-rouge
TENEURS EN BASES ÉCHANGEABLES

N°	En milliéquivalent pour 100 g de terre fine					En pourcentage				
	Ca	Mg	K	Na	S	Ca	Mg	K	Na	
IRHO	81	1,14	0,40	0,21	0,23	1,98	57,5	20,2	10,7	11,6
	82	0,64	0,40	0,15	0,21	1,40	44,3	28,6	12,1	15,0
	83	0,50	0,40	0,17	0,31	1,38	36,2	29,0	12,4	22,4
	84									
Ha	371	1,52	0,50	0,06	0,08	2,16	70,5	23,2	2,8	4,5
	372	1,21	0,40	0,04	0,10	1,75	69,2	22,8	2,3	5,7
	373	1,28	0,50	0,04	0,27	2,09	61,1	24,0	1,8	13,1
	374	0,78	0,74	0,06	0,25	1,83	45,1	40,5	3,3	11,2
Ha	461	1,64	0,50	0,04	0,06	2,24	73,0	22,3	2,0	2,7
	462	1,28	0,50	0,04	0,06	1,88	68,2	26,6	2,0	3,2
	463	2,10	0,74	0,04	0,08	2,96	71,0	24,3	2,0	2,7
	464	1,91	1,00	0,04	0,10	2,95	61,4	33,9	1,3	3,4
Ha	301	1,28	0,74	0,04	0,06	2,12	60,3	34,0	1,9	3,8
	302									
	303									
	304									
	305	0,72	0,40	0,04	0,06	1,22	58,3	32,8	4,0	4,9
Ha	391	1,14	0,50	0,08	0,06	1,78	64,0	27,2	5,4	3,4
	392	1,81	1,24	0,06	0,08	3,19	36,8	38,8	1,9	2,5
	393	1,78	1,24	0,06	0,19	3,27	54,5	38,0	1,7	5,8
	394	1,52	0,74	0,04	0,36	2,66	57,0	27,8	1,7	13,5
Ha	341	4,89	0,40	0,15	0,06	5,50	88,8	7,3	2,7	1,2
	342	3,78	0,74	0,04	0,10	4,66	81,3	15,5	1,2	2,1
	343	4,78	1,24	0,04	0,08	6,14	78,0	20,2	0,5	1,3
	344	3,50	0,74	0,04	0,08	4,36	80,4	16,6	1,2	1,8
	345	2,60	0,74	0,04	0,10	3,48	75,0	20,7	1,5	2,9
Ha	381	2,79	1,19	0,30	0,11	4,69	59,5	31,7	6,5	2,3
	382	5,27	2,98	0,13	0,11	8,49	62,0	35,2	1,5	1,3
	383	8,91	4,47	0,04	0,29	13,71	65,2	32,5	0,2	2,1
	384	7,87	3,72	0,04	0,42	12,05	65,5	30,8	0,2	3,5
	385	9,85	4,71	0,11	0,68	15,35	63,8	30,7	1,1	4,4

L'abaissement de la capacité d'échange des argiles marque le passage vers les sols ferrugineux tropicaux.

D'une part, il y a apparition de kaonilite, et d'autre part la faible individualisation du fer, propre aux sols brun-rouge, n'est plus masquée par la matière organique humifiée, ce qui limite sensiblement le pouvoir d'échange des matériaux fins du sol.

Le calcium et le magnésium sont dominants, ce qui est normal. Ils représentent à eux seuls 80 à 90 % de S. Sauf dans le cas de sols brun-rouge plus ou moins concrétionnés, les pourcentages de

Ca diminuent régulièrement avec la profondeur, pendant que les pourcentages de Mg se relèvent sensiblement. Il se produit de la sorte une augmentation du rapport Mg/Ca qui de 0,10 à 0,40 en surface passe à 0,30 — 0,90 en profondeur.

CAPACITÉ D'ÉCHANGE, EN M. É. Q. % DU COMPLEXE ABSORBANT

Echant.	Méq. %	Echant.	Méq. %	Echant.	Méq. %	Echant.	Méq. %	Echant.	Méq. %	Echant.	Méq. %
IRHO 81	73	Ha 371	43	Ha 461	39	Ha 391	64	Ha 381	56	Ha 341	86
» 82	45	» 372	26	» 462	26	» 392	33	» 382	45	» 342	61
» 83	69	» 373	21	» 463	21	» 393	26	» 383	50	» 343	72
				» 464	22	» 394	27	» 384	44	» 344	66
								» 385	46	» 345	48

Les proportions des bases alcalines (K et Na) sont du même ordre de grandeur que dans les sols bruns. En valeur absolue, les teneurs en sodium sont plus fortes que les teneurs en potassium. De même que, pour les sols bruns, le rapport K/Na est plus élevé en surface qu'en profondeur. Là aussi, il semble que les apports de matière organique par la végétation tendent à rétablir un rapport K/Na favorable au développement des plantes. Il y a toujours enrichissement en potassium dans l'horizon de surface, et, peut-être est-ce là une conséquence des feux courants, qui enrichissent le milieu en cendres basiques. Le profil IRHO 8 est un cas aberrant. Il donne des pourcentages en K/Na élevés, provenant d'un apport d'engrais sur arachides.

L'enrichissement des horizons profonds montre le lessivage rapide des cations à travers ces sols.

II₂) Caractéristiques biologiques (Y. DOMMERGUES).

a) CYCLE DU CARBONE.

La grande richesse en germes cellulolytiques ainsi qu'un coefficient CO₂/C (rapport du CO₂ dégagé exprimé en mg de CO₂ pour 100 g de sol au taux de carbone exprimé en mg de C pour 100 g de sol) particulièrement élevé, indiquent une minéralisation très active de la matière organique, bien entendu lorsque l'humidité du sol est suffisante.

Il ressort des données analytiques que le sol brun-rouge a un coefficient de minéralisation (0,40) nettement supérieur à celui du sol brun (0,18). Bien qu'on ne dispose pas de données suffisamment nombreuses, ces deux chiffres sont assez différents l'un de l'autre pour qu'on puisse en conclure (avec R. MAIGNIEN (1)) que le sol brun-rouge est caractérisé par une minéralisation des substances hydrocarbonées plus active.

b) CYCLE DE L'AZOTE.

La fixation de l'azote par germes aérobies (*Azotobacter* ou *Beijerinckia*) est inexistante. On peut supposer qu'elle se fait par l'intermédiaire des *Clostridium*.

La nitrification de ces sols est excellente ; la supériorité du sol brun-rouge est encore ici évidente.

L'étude du coefficient de minéralisation de l'azote $\frac{N \text{ minéralisable} + N \text{ minéral}}{N \text{ total}}$ conduit au même résultat.

Dans les deux sols, le taux d'azote minéral est de l'ordre de 100 kg/ha.

III. RÉPARTITION DES SOLS SUBARIDES AU SÉNÉGAL

Les sols subarides se développent principalement au nord d'une ligne que l'on peut schématiser par la route Louga-Linguère-Matam. Cependant dans le détail la répartition est plus complexe.

a) Les sols bruns typiques sont peu représentés.

Il en existe à l'ouest et au sud de Mérinaghen, près du lac de Guiers. D'une façon générale, les sols bruns s'observent :

en zones planes à drainage déficient,
sur formations calcaires affleurantes.

Ces sols appartiennent aux sols bruns à marbrures, à taches ou à nodules calcaires. Au sud-ouest de Louga, il se développe quelques belles taches de sols bruns sur dépôts calcaires lacustres. On les observe également d'une façon sporadique le long de la route Boulel-Darah-Linguère.

Entre Louga et Ouarack, les formations marno-calcaires donnent de magnifiques sols bruns avec souvent des nodules calcaires en profondeur. Ces sols se développent largement au sud-ouest et à l'ouest du lac de Guiers.

Entre Louga et Guermalal s'observe le long de la route tout un périmètre de sols bruns à marbrures ou à taches. Ils sont abondants plus au sud vers Sagata, et sont fréquents également à l'ouest du lac de Guiers.

Il est possible de rattacher aux sols bruns à nodules et à concrétions, les sols se développant dans les régions méridionales du Djoloff et le nord Baol sur les formations lutéliennes. Très souvent, ces sols passent localement aux sols hydromorphes par engorgement. Quelques taches à l'ouest et au sud de Tivaouane peuvent être rattachées aux sols bruns à marbrures, en particulier vers Keur Samba Kane.

Les sols bruns sont rares dans les régions nord-est du Sénégal et au Fouta-Toro.

b) Les sols brun-rouge sont beaucoup plus fréquents.

A l'ouest et au sud du lac de Guiers et de la vallée du Ferlo, ces sols s'observent :

sur les formations sableuses récentes au nord du parallèle passant à Sakal,

sur les dépôts colluviaux d'entre-dunes à l'ouest de la voie ferrée Dakar-Saint-Louis, presque jusqu'à Kebemer au sud,

à l'est du lac de Guiers, les sols brun-rouge se développent sur toutes les formations bien drainées, aussi bien sur sables dunaires, au sud de Tyle-Boubacar, que sur grès argileux miopliocène.

La topographie a un rôle important sur la répartition de tous ces sols. Elle amène la formation d'une chaîne de sols (catena) caractérisée, qui se compose :

dans les parties hautes bien drainées, de sols brun-rouge ou de sols ferrugineux tropicaux,
en bas de pente moins drainé, de sols bruns,
en bas-fonds, de sols hydromorphes.

TROISIÈME PARTIE

CARACTÉRISATION PÉDOGÉNÉTIQUE ET CLASSIFICATION DES SOLS SUBARIDES SÉNÉGALAIS

A. PÉDOGÉNÈSE DES SOLS SUBARIDES

La caractéristique génétique essentielle des sols subarides est l'accumulation et la répartition de la matière organique à travers le profil. Cette matière organique est d'un type particulier qui définit le groupe de sols. Elle interfère sur les principaux constituants et règle la typologie.

a) Evolution de la matière organique.

En abordant ce problème, il est nécessaire de rappeler quelques données sur la biologie de l'humus (DUCHAUFOR, 1954).

On distingue deux formes fondamentales d'humus:

L'humus nourricier, constitué de la matière organique fraîche, peu décomposée, plus ou moins attaquable par les microorganismes, et qui se minéralise généralement rapidement.

L'humus durable, formé de complexes colloïdaux de néoformation, qui sont beaucoup plus résistants à l'action microbienne, leur minéralisation étant très lente.

Tout sol vierge comprend un mélange de ces deux corps fondamentaux, les débris peu décomposés étant dominants au voisinage de la surface, alors que les complexes humiques durables croissent en proportion avec la profondeur. Ces complexes sont de plusieurs types, qui dépendent essentiellement de la nature de la microflore, donc des conditions écologiques où ils se forment, par suite du type de sols.

Les acides humiques ont pour origine la matière organique apportée par les végétaux et les microorganismes du sol. En régions subarides, l'apport est essentiellement herbacé. Un rôle important doit être attribué aux racines. Les parties aériennes brûlant généralement à chaque saison sèche, cette source de matière organique est réduite.

En milieu tropical, les conditions d'accumulation de la matière organique sont peu nombreuses (MAIGNIEN, 1953). Les phénomènes de minéralisation sont toujours très intenses. Leur ralentissement résulte d'un déficit (sols subarides) ou d'un excès d'eau (sols hydromorphes), ou d'un abaissement de la température (sols montagnards). L'activité microbienne dans des milieux si différents est très dissemblable. Ces variations règlent l'origine des acides humiques.

En milieu microbien actif (aérobie, neutralité, richesse en azote, ...), les acides humiques proviennent de synthèses microbiennes à partir de la dégradation de la cellulose et des hémicelluloses. La lignine n'a qu'un rôle secondaire.

En milieu microbien inactif (anaérobiose, forte acidité, pauvreté en azote), les celluloses donnent des produits solubles et disparaissent. La synthèse biologique des acides humiques s'annule. La lignine se conserve et se transforme relativement peu en donnant des complexes résiduels.

On constate donc, que, malgré une morphologie assez semblable (accumulation de matière organique, couleur foncée, répartition sur tout le profil), les différences pédogénétiques entre les sols subarides et les sols hydromorphes sont importantes. Ce sont les conditions du milieu sol qui règlent la nature des complexes humiques.

Les sols subarides se caractérisent par un pH neutre ou légèrement basique, une richesse en azote relativement importante par rapport aux produits carbonés, un bon drainage, au contraire des sols hydromorphes, toujours acides, à rapport C/N élevé, complètement décalcarifiés. Or :

En milieu riche en calcium, il se forme des acides humiques gris, riches en azote, relativement peu solubles dans les solvants habituels, qui sont énergiquement flocculés en agrégats.

En milieu moyennement acide, il se forme des acides humiques bruns, pauvres en azote aminé et en produits quinoniques de synthèse. La lignine entrerait dans la composition de leur molécule. Ils sont liés d'une façon peu intime aux colloïdes des minéraux.

En milieu très acide, il se forme des complexes résiduels du type humo-ligneux, très pauvre en azote (C/N voisin de 20). Ces complexes ne se fixent pas sur les colloïdes minéraux et sont fortement dispersés (DUCHAUFOR, 1954).

En sols subarides, les complexes de synthèse dominant. Mais les conditions écologiques propres aux pays tropicaux (saison des pluies en période chaude) favorisent aussi la minéralisation des produits organiques. Il en résulte un équilibre lié au régime hydrique des sols, qui fait que les quantités de matière organique accumulées sont toujours faibles.

En régions plus humides (sols ferrugineux tropicaux), il y a tendance à la formation d'acides humiques bruns, moins intimement liés aux argiles qui se dispersent plus facilement. Ce sont les agents de lessivage.

En sols hydromorphes, il y a surtout formation de complexes résiduels humo-ligneux.

b) Individualisation du fer.

Bien que n'atteignant pas l'intensité observée en sols ferrugineux tropicaux, l'individualisation des sesquioxydes de fer est déjà sensible en sols subarides tropicaux. Elle contribue à leur donner la couleur brune ou rousse. Une faible quantité est suffisante pour colorer le profil. Le fer forme de minces pellicules autour des grains de quartz.

Plus de 50 % du fer total des sols subarides sénégalais se trouvent sous formes libres. Celles-ci migrent avec facilité, quand les conditions d'humidité le permettent. Le déplacement se fait par l'intermédiaire des solutions du sol. Comme le drainage est limité, on n'observe que des mouvements réduits. En sols bruns, il y a une légère remontée ; en sols brun-rouge, on constate un début de lessivage. Souvent, d'ailleurs, les mouvements de percolation et de remontée du fer s'annulent. Cependant, lorsque les pentes sont longues, il arrive qu'on observe des processus de lessivage oblique avec concentration dans les cuvettes. Dans quelques cas, cette action est suffisamment poussée pour amener, en bordure des sols hydromorphes centrés sur les mares d'hivernage, la formation de concrétions, et parfois même de cuirasses. Mais ces exemples sont exceptionnels et l'individualisation du fer n'intéresse généralement que la coloration des profils.

c) Lessivage des cations.

Les sols bruns sont moins lessivés en bases que les sols brun-rouge et ceux-ci que les sols bruns à tendance hydromorphe. On observe une faible remontée dans la zone d'épandage plus humide. Mais, le plus souvent, l'augmentation de S dans les horizons de surface semble liée aux apports organiques.

Le calcium a une grande importance, tant sur la typologie que sur l'évolution des sols subarides. Nombre d'entre eux possèdent, à plus ou moins grande profondeur, un horizon d'accumulation de carbonate de calcium, et cela, même lorsque le matériau originel est pauvre en cet élément. Le calcium peut provenir du lessivage des horizons de surface qui sont presque toujours décalcariés, même sur roches calcaires. Mais il semble plutôt que l'individualisation des carbonates soit liée à l'action de la végétation et à l'activité biologique de ces sols. Le calcium se concentrerait sous une forme bicarbonatée (hydrocarbonate, protobicarbonatée) et précipiterait, en saison sèche, sous forme de carbonate, à une profondeur qui serait fonction du drainage. Cette hypothèse permet d'expliquer les différences d'illuviation entre les sols bruns et les sols brun-rouge.

La profondeur de l'horizon d'accumulation du carbonate de calcium est un excellent critère de discrimination entre ces sols. En moyenne pour le groupe, l'illuviation se réalise entre 30 et 200 cm : 30 à 50 cm en sols bruns ; 150 à 200 cm en sols brun-rouge.

Les formes d'immobilisation sont variées et correspondent chacune à des processus pédogénétiques particuliers. En milieu poreux bien aéré, on observe une accumulation diffuse avec léger durcissement. Si la texture est plus argileuse, il y a formation de pseudo-mycélium. Mais le plus souvent, les concrétions ont la forme de poupées dont la taille n'excède pas 2-3 cm. Ces dernières s'édifient, de préférence, au contact du matériau originel, souvent calcaire. Un léger colmatage accuse ce phénomène.

L'individualisation de nodules (formes sphériques, 4 à 5 cm de diamètre, très indurées, géode centrale bien caractérisée) est constamment liée à des actions d'hydromorphie. AYMARD (1953), qui a constaté ces mêmes phénomènes, signale : « les sols bruns subarides présentent donc à cet égard une différence avec les sols hydromorphes qui leur succèdent sur les pentes, puisque chez ces derniers l'accumulation a lieu plutôt isolément sous forme de nodules ».

d) Hydromorphie en sols subarides.

Les phénomènes d'hydromorphie revêtent, dans la formation et l'évolution des sols subarides sénégalais, une importance particulière. Ils résultent de l'action plus ou moins prolongée et plus ou moins intense d'eau à travers les profils. Il peut paraître surprenant d'insister sur cette action de l'eau en régions subarides. Pourtant, sous ces climats, ces processus influent considérablement sur l'évolution des sols. Les précipitations ne sont pas suffisantes pour amener la création d'un véritable réseau hydrographique. L'eau s'accumule dans les dépressions sans parvenir à les remplir et à s'en

échapper. « Les régions subdésertiques sont très favorables à la formation de vastes marécages ». (RODIER, 1951). Il se forme des zones très humides en saison des pluies qui se déshydratent excessivement en saison sèche. C'est un type d'hydromorphie temporaire et partielle. Les processus qui lui sont liés amènent :

- l'accumulation de produits organiques résiduels (acidité organique),
- la formation d'argile à grand pouvoir de gonflement (la concentration en magnésium favorise la synthèse d'argiles montmorillonitiques) ;
- la mise en mouvement et la concentration d'oxydes de fer et de manganèse.

Les sols hydromorphes ainsi formés possèdent une morphologie de surface qui les rapproche des sols subarides, et il est parfois délicat de les en séparer, si on n'étudie pas leur genèse.

Les sols subarides sénégalais présentent aussi fréquemment à la base de leur profil des traces d'hydromorphie. Elles résultent d'un drainage déficient en profondeur. Ces actions se matérialisent par :

La formation de marbrures caractéristiques à travers les différents horizons où cette action se fait sentir. Ce sont des trainées et des taches, plus ou moins diffuses de couleur gris-verdâtre.

Un début d'immobilisation du fer, parfois du manganèse, en taches mal délimitées, de couleur ocre-rouille ou noire. L'immobilisation va parfois jusqu'à la formation de concrétions.

Une concentration plus intense de carbonate de calcium sous forme de nodules qui pénètrent souvent le matériau originel.

L'évolution de la structure qui devient massive, du type cubique en plaquettes, avec fréquemment dépôt d'une patine brillante hydrophobe sur les agrégats. Cette structure rappelle celle des « tirs ».

L'ensemble de ces actions d'hydromorphie, qui limitent la minéralisation de la matière organique, permet le développement de sols proches des sols bruns : type sols bruns hydromorphes de Bambey, « Dek » (BONFILS et FAURE, 1958), en régions plus méridionales (pluviométrie 650 mm).

Les critères de discrimination entre les sols bruns et les sols hydromorphes sont les suivants :

- couleur : brune et même marron en sols bruns, devient gris noirâtre en sols hydromorphes,
- structure de l'horizon de surface : grumeleux à feuilleté en sols bruns ; cubique à tendance tirsiforme en sols hydromorphes,
- dureté : les sols bruns sont toujours meubles, les sols hydromorphes durcissent fortement par dessiccation,
- acidité pH : voisine de la neutralité en sols bruns ; forte en sols hydromorphes.

Il faut faire une mention spéciale pour les sols à raies décrits par DUBOIS (1949). On observe souvent sur les profils des sols tropicaux très sableux, des raies subhorizontales, grises ou rouilles, dont l'épaisseur atteint parfois 1 cm. Ces raies sont légèrement durcies, et montrent fréquemment, à l'analyse, un enrichissement en fer. Dans les régions considérées, ces raies ont été rencontrées uniquement en sols bruns et brun-rouge légèrement colmatés en saison des pluies.

Plusieurs hypothèses ont été avancées. Je pense que ces raies sont la conséquence de phénomènes d'hydromorphie, qui concentrent des oxydes ferrugineux en certains niveaux privilégiés. Ce peut être la partie supérieure de niveaux hydrostatiques temporaires, dont la profondeur est fonction des précipitations, ou, plus certainement encore, la matérialisation d'une hétérogénéité dans la texture, comme l'a montré DUPUIS (1954) pour les sables de Fontainebleau. Une granulométrie plus grossière, en favorisant l'oxydation, provoque l'immobilisation des formes ferreuses pseudo-solubles du fer. Enfin, dans certains cas, il s'agit simplement de petits niveaux de sédimentation. Cette explication se trouve confirmée par la présence fréquente de produits grossiers (cailloux, gravillons, débris de poteries, etc...). En aucun cas, ces raies ne peuvent définir à elles seules un groupe de sols. Elles s'observent dans des types très différents qui vont des sols subarides aux sols faiblement ferrallitiques, en passant par les sols ferrugineux tropicaux.

e) Halomorphie en sols subarides.

Au Sénégal, il n'a pas été signalé, en sols subarides, de phénomènes d'halomorphie comme au Soudan ou en Mauritanie. Les deux sols salés connus sont ceux du pseudo-delta du Sénégal et de l'extrémité méridionale du lac de Guiers, près de Yang-Yang. Il s'agit de sols alluviaux, généralement peu évolués.

f) Pédogenèse. Typologie et répartition.

L'individualisation de deux horizons bien caractérisés chez les sols brun-rouge est la conséquence directe de l'évolution de la matière organique qui se minéralise plus rapidement que chez les sols bruns. Les horizons humifiés, moins épais, laissent apparaître la couleur due au fer. Les sols brun-rouge représentent donc un stade d'évolution vers les sols ferrugineux tropicaux. Ces différences dans les degrés d'évolution expliquent la position plus méridionale des sols brun-rouge par rapport aux sols bruns.

En AOF, la limite zonale entre ces deux groupes de sols correspond grossièrement à l'isohyète 350 mm. Théoriquement donc il ne devrait pas y avoir de véritables sols bruns au Sénégal. Mais, d'autres facteurs que le climat atmosphérique interviennent pour modifier cette répartition théorique, et si les sols brun-rouge ne se développent pas dans les régions ayant moins de 350 mm de précipitations, on peut cependant observer des sols bruns plus au sud.

Les conditions qui permettent l'extension des sols bruns dans les provinces plus humides, sont de plusieurs sortes. J'ai déjà signalé (MAIGNIEN, 1947) qu'il semble y avoir une relation assez nette entre l'existence de ces deux types de sol et la nature physique et chimique de la roche-mère, et en particulier dans une même région :

les sols brun-rouge ont une texture plus légère que les sols bruns,
les sols brun-rouge viennent généralement sur roches plus acides que les sols bruns.

Le problème serré de plus près montre que le calcium et le drainage sont les deux facteurs de la formation des sols bruns, en régions de sols brun-rouge. La présence d'une roche calcaire ou d'un drainage déficient favorise le développement des premiers (MAIGNIEN, 1954) et permet la mise en place de chaînes de sols caractérisés (cf. II^e partie, Chap. III). Ces facteurs contribuent à maintenir un pédoclimat favorable à l'accumulation de la matière organique humifiée, en ralentissant et orientant la minéralisation de celle-ci.

Une notion, sur laquelle il est bon d'insister dans cette étude, est le caractère de continuité des sols subarides. Au Sénégal, ces sols sont mieux définis dans l'est du pays que dans l'ouest.

A l'ouest, où les influences marines se font sentir, la typologie est moins caractérisée ; l'humidité atmosphérique favorise une évolution plus rapide de la matière organique, qui fait que ces sols ont tendance à passer rapidement vers les types ferrugineux tropicaux. D'autre part, les formations sédimentaires, sur lesquelles les sols se développent, sont d'origine plus récente qu'à l'est. Elles ont aussi un modelé moins bien stabilisé. Il en résulte que chaque année les quelques centimètres supérieurs des sols sont remaniés, ce qui tend à limiter l'accumulation de la matière organique. Les conséquences sont identiques lors de la mise en culture (minéralisation plus active).

On peut estimer à plusieurs millénaires, la période nécessaire à l'évolution climacique d'un sol subaride. Ce n'est donc que sur les vieilles plates-formes continentales, où les fluctuations climatiques ont été atténuées, que ces sols sont les plus typés. Dès que les conditions d'humidité augmentent l'évolution s'accélère. Les processus sont excessivement rapides en sols hydromorphes (RIQUIER, 1954).

B. POSITION DANS LA CLASSIFICATION MONDIALE DES SOLS

Les sols subarides sénégalais sont à classer dans la sous-classe des sols steppiques, qui se caractérisent par une répartition homogène de la matière organique à travers le profil. Cette matière organique provient de la décomposition des racines de plantes herbacées. Le rapport C/N est de l'ordre de 8 à 10. Les processus de carbonatation sont liés à l'activité végétale.

Ils se distinguent des autres sols steppiques par des teneurs en matière organique beaucoup plus faibles, qui découlent d'une minéralisation plus poussée, par des accumulations de carbonate de calcium réduites, parfois absentes, par une individualisation du fer et parfois un lessivage de celui-ci assez sensible. Les phénomènes d'argilisation ne sont pas apparents sauf, peut-être, en sols bruns. Les sols subarides sénégalais se situent donc à la limite des serozems et des sols steppiques.

Les pédologues russes (ROZANOV, 1956) ont été amenés, comme l'avaient déjà fait les chercheurs américains (KELLOG, 1938, 1943) à séparer le sous-ordre steppique en deux grands groupes :

le groupe de sols steppiques foncés qui se répartissent en bordure des régions septentrionales arides du globe : sols bruns et sols châtains.

les sols steppiques rouges, qui se développent dans les régions subtropicales :
 les sols brun-rouge et chatain-rouge (américain),
 les sols marron (russe).

Ces distinctions morphologiques sont la conséquence d'un rythme biologique différent.
 en région tempérée aride, le facteur ralentissant l'évolution de la matière organique est le
 froid,
 en région subtropicale, le facteur ralentissant est la sécheresse estivale.

Si l'on considère le rythme biologique des sols tropicaux (pluies réduites réparties en quelques mois de saison chaude), il semble qu'il soit nécessaire de créer un troisième groupe, morphologiquement identique aux précédents, mais qui s'en distingue par des processus plus typiquement tropicaux (minéralisation plus active de la matière organique, début de lessivage, individualisation du fer). On s'explique qu'à ces sols subarides fassent suite, sous des régimes plus humides, des sols ferrugineux tropicaux, alors qu'en pays tempérés se développent des chernozems ou des sols de prairies.

C) CLASSIFICATION DES SOLS SUBARIDES SÉNÉGALAIS

Le groupe des sols subarides tropicaux se divise en deux sous-groupes suivant la morphologie des profils, qui est liée à une évolution plus ou moins poussée de la matière organique :

sols bruns proprement dits,
 sols brun-rouge.

En AOF, les caractéristiques de ces sols sont les suivantes :

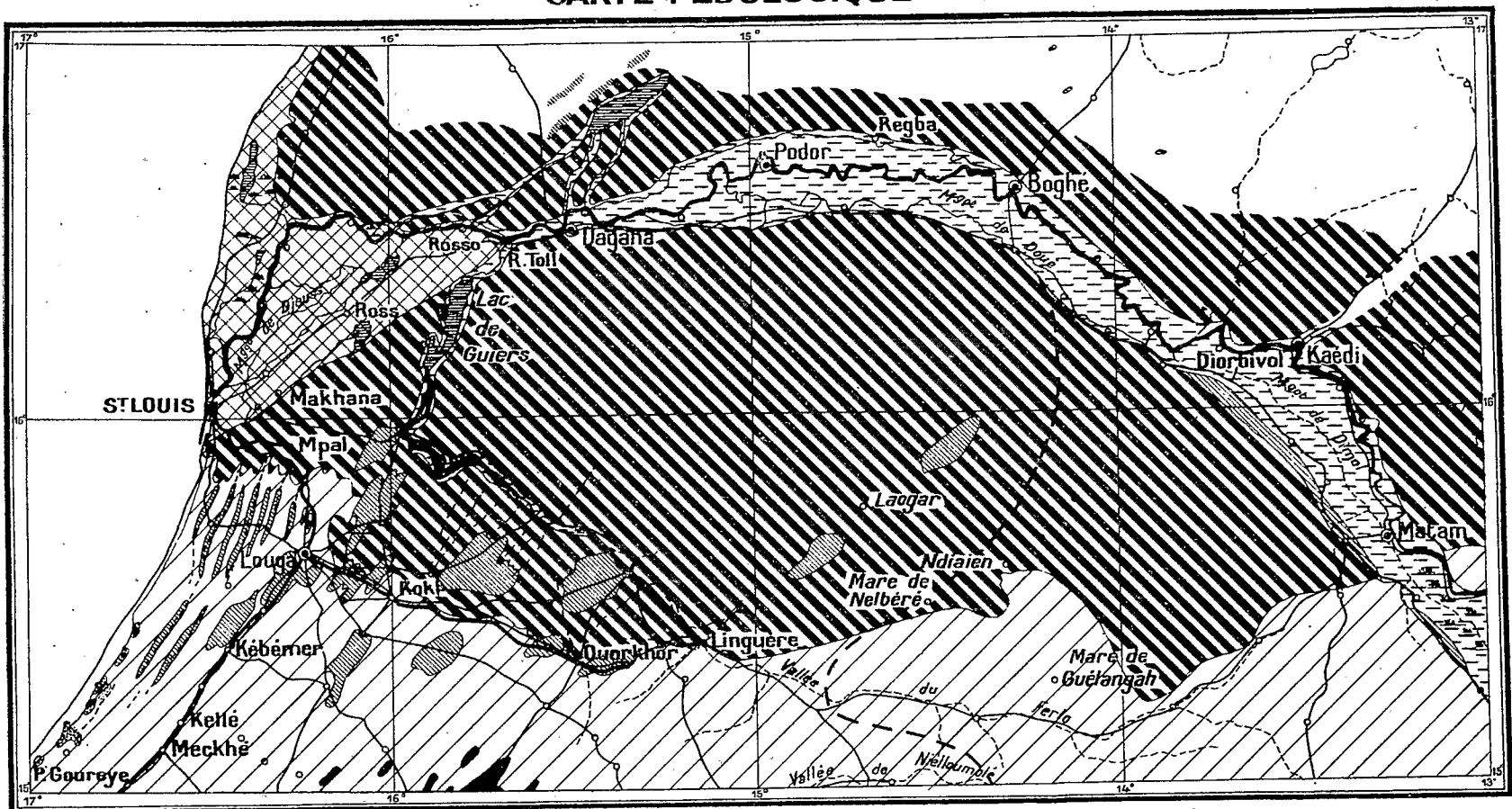
a) Sols bruns

épaisseur du profil faible (pour un sol tropical), 100 à 150 cm,
 coloration foncée des horizons, dans les teintes brunes ; cette coloration se prolonge jusqu'à la roche-mère,
 horizons de surface bien structurés avec un horizon superficiel feuilleté,
 en général, mais pas absolument, présence à faible profondeur de carbonate de calcium, souvent à partir de 30 cm,
 teneurs en matière organique totale faibles (environ 1 %) mais bonne répartition à travers les horizons,
 faible libération du fer, dont la couleur est masquée par la matière organique, parfois légères remontées,
 remontées partielles de bases,
 milieu généralement bien tamponné,
 acidité pH neutre à basique.

b) Sols brun-rouge.

Épaisseur plus grande du profil ; parfois plus de 200 cm,
 deux horizons nets :
 un horizon de surface humifère de 80 à 50 cm d'épaisseur de couleur gris-brun à brune,
 un horizon roux atteignant souvent 100 cm,
 structure des horizons supérieurs généralement mal développée et instable,
 à l'état naturel, structure légèrement feuilletée dans les 2 à 3 cm supérieurs,
 faible individualisation du fer sans lessivage par percolation, mais sensible au lessivage oblique,
 couleur rousse provoquée par le fer provenant, non d'une accumulation de celui-ci, mais de la disparition de la matière organique en profondeur,

CARTE PÉDOLOGIQUE



Sols	Sols bruns -	Sols ferrugineux tropicaux	Sols hydromorphes bruns -	Sols d'alluvions fluviales -
Subarides	Sols brun: -rouge -	Sols ferrugineux tropicaux peu lessivés -	Sols halomorphes -	Sols hydromorphes organiques (Niayes) -

bases partiellement lessivées,
milieu souvent mal tamponné,
acidité pH neutre à faiblement acide.

En s'appuyant sur les caractères morphologiques des profils liés aux différents modes d'action du calcium et du drainage, la classification suivante a été adoptée :

SOUS-CLASSE DES SOLS STEPPIQUES
GROUPE DES SOLS BRUNS SUBARIDES TROPICAUX

a) *Sous-groupe des sols bruns proprement dits :*

Sols bruns typiques.

Diffèrent de la définition générale par des teneurs en matière organique voisines de 1 %. La structure de l'horizon de surface est bien développée, grumeleuse, devenant feuilletée dans les premiers centimètres supérieurs. Ces sols sont généralement peu épais (moins de 100 cm). Présence de CO_3Ca en profondeur souvent à partir de 30-50 cm, sous une forme diffuse, tout au plus sous forme de pseudo-mycellium.

Sols bruns tirsifiés.

Sont très semblables aux précédents, mais la structure des horizons supérieurs est plus grossière avec une nette tendance à la structure cubique en plaquette, les gros agrégats sont recouverts d'une patine brillante caractéristique. Cette morphologie est corrélative d'un certain engorgement de surface pendant la saison des pluies. Elle montre le passage aux sols des cuvettes mal drainées sols hydromorphes à structure grossière.

Sols bruns à marbrures.

Sont des sols bruns généralement sableux, qui montrent des actions réductrices sur tout leur profil pendant la saison des pluies. Ces actions se matérialisent par des trainées plus ou moins diffuses de couleur grisâtre sur tout le profil. Ils sont généralement de couleur assez sombre. La structure est peu développée en surface.

Sols bruns à taches en profondeur.

Comportent des phénomènes d'hydromorphie suffisamment intenses en profondeur pour amener la formation de taches, parfois même de petites concrétions plus ou moins développées d'oxyde de fer ou de manganèse. La structure est moyennement développée en surface, du type nuciforme fine, avec parfois une très large tendance à la tirsification.

Sols bruns à nodules calcaires.

Comportent en profondeur un horizon riche en nodules très durs, bien individualisés. Indiquent une hydromorphie en milieu fortement calcaire. La morphologie des horizons de surface est très semblable à celle des sols bruns typiques.

b) *Sous-groupe des sols brun-rouge.*

Sols brun-rouge typiques.

Ce sont des sols très bien drainés, à structure généralement nuciforme, à tendance grumeleuse en surface. Ils montrent parfois la présence de carbonate de calcium sous forme plus ou moins diffuse vers 200 cm de profondeur.

Sols brun-rouge à concrétions.

Présentent un gravillonnement intense en profondeur. Cet horizon provient d'un enrichissement en hydroxydes par lessivage oblique en milieu particulièrement hydromorphe en profondeur. Ils font le passage aux sols hydromorphes. La structure de leur horizon de surface est parfois assez massive et grossière.

Sols brun-rouge à taches et traînées en profondeur.

Comportement des phénomènes d'hydromorphie à la base de leur profil se matérialisant par l'apparition de taches et traînées plus ou moins diffuses de couleur ocre-jaune à ocre-rouille. Les horizons de surface sont identiques au précédent.

Sols brun-rouge à nodules calcaires en profondeur.

Possèdent un horizon de nodules bien individualisés immédiatement au contact de la roche-mère calcaire. Les horizons de surface sont caractéristiques des sols brun-rouge.

Remarque.

On n'observe pas de sols brun-rouge avec phénomènes d'engorgement en surface. Dans ce cas, il se forme des sols du type brun à marbrures.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS. — 1) *Les sols climaxiques des régions septentrionales du Sénégal appartiennent au groupe des sols brun-rouge subarides.*

2) *Les sols bruns subarides sont moins fréquents. Ils s'observent sur des formations calcaires ou dans les zones à drainage déficient, et, dans ce cas, font le passage aux sols hydromorphes.*

3) *La pédogénèse des sols subarides tropicaux est étroitement liée à l'évolution de la matière organique d'origine herbacée. Il y a formation et accumulation sur plus de 50 cm de produits humiques de synthèse. Les sols brun-rouge se distinguent des sols bruns par une minéralisation plus active de la matière organique.*

4) *La morphologie de ces sols découle de leur pédogénèse :*

les sols bruns ont un profil homogène, de faible épaisseur, de couleur foncée, bien humifié, sans horizons nettement différenciés. On observe fréquemment à la base du profil des accumulations de carbonate de calcium.

Les sols brun-rouge montrent le long de leur profil deux horizons différenciés : un horizon humifère de surface de couleur sombre ayant au moins 50 cm d'épaisseur ; un horizon profond roux pouvant atteindre 150 cm de profondeur. L'accumulation de CO_3Ca est plus faible et moins constante.

5) *Les sols subarides tropicaux se distinguent des sols steppiques par des teneurs en matière organique plus faibles avoisinant 1 %. Ceci est une conséquence de l'évolution de la matière organique qui se produit pendant la saison chaude et humide, ce qui favorise la minéralisation, et un début de lessivage.*

Du point de vue agronomique, ces sols sont typiquement à vocation pastorale. L'amélioration des peuplements herbacés et leur exploitation sont dans la ligne évolutive de ces sols. Il n'y a aucun danger de dégradation à craindre, si on abolit les méthodes anarchiques d'utilisation : surpécoration, feux courants, cultures sèches annuelles extensives.

*L'intérêt des feux courants dans l'économie pastorale des pays sahéliens pouvait en partie se discuter lorsque les points d'eau étaient rares. Ils permettaient un développement précoce des jeunes pousses de Graminées pérennes, à la fin de la saison sèche, en période de soudure. Avec la multiplication des forages profonds, ces méthodes sont à proscrire impérativement. L'analyse des fourrages recueillis dans ces régions (ADAM S. G., 1957. **Contribution à l'étude floristique des pâturages du Sénégal.** Agro. Trop., vol. XII, 67-113) montre qu'ils possèdent une valeur fourragère de bonne à moyenne. Le problème essentiel est celui de l'alimentation en eau.*

Il apparaît donc souhaitable de faire un effort vers l'étude des méthodes de fauchage soit en vert, soit en sec, avec conservation des produits sous forme d'ensilage et de foin. De nombreuses méthodes sont au point qui ne demandent qu'à être vulgarisées. Elles devraient permettre une meilleure utilisation des régions les plus riches transformées en grenier à foin, les régions les plus pauvres étant réservées à la vaine pâture.

La stabulation du bétail en des points bien choisis peut permettre une amélioration des cultures annuelles indispensables, mais dont les surfaces doivent être limitées. Ces cultures favorisent la minéralisation des produits organiques, sans que ces pertes soient compensées par des apports extérieurs, d'où un déséquilibre qui provoque la dégradation de ces sols. C'est donc toute une politique agro-pastorale à développer, en mettant l'accent sur l'exploitation du troupeau actuellement mal utilisé.

SUMMARY AND CONCLUSIONS. — 1) *The climaxial soils of the Northern regions of Senegal belong to the group of subarid red-brown soils.*

2) *The subarid red-brown soils are less frequent. They can be observed on chalky formations or in badly drained areas, and in the latter case, they come before hydromorphic soils.*

3) *Pedogenesis of tropical subarid soils is closely linked with the evolution of the organic matter of an herbaceous origin. Formation and accumulation occur on more than 50 cm of synthetic humic produces. Red-brown soils can be differentiated from brown soils by a more active mineralisation of the organic matter.*

4) *The morphology of these soils follows from their pedogenesis :*

brown soils have a homogenous profile, not very thick, dark in colour, well humified, without clearly differentiated horizons. Accumulations of calcium carbonate can often be observed at the base of the profile.

Red-brown soils present two differentiated horizons all along their profile: a humiferous surface horizon, dark in colour, at least 50 cm thick; a deep red horizon that can be as much as 150 cm thick. CO_3Ca accumulation is lower and less constant.

5) *Tropical subarid soils can be differentiated from steppic soils by lower organic matter values, around 1%. This is a consequence of the evolution of organic matter occurring during the warm and wet season, which makes for mineralisation and an outset of leaching. From the agronomic standpoint these soils are typically dedicated to pastures. Improvement of herbaceous stands and their exploitation are in the evolution line of these soils. There is no wearing to be dreaded if anarchic methods of utilization are abolished: too much cattle breeding, running fires, extensive dry annual crops.*

The interest of running fires in the pastoral economy of sahelian countries, could be partly discussed when water-places were rare. They allowed an early development of young shoots of perennial gramineae at the end of the dry season, for in-between periods. With the multiplication of deep boring, these methods should be imperatively done away with. The analysis of fodder gathered in these regions (ADAM S. G. 1957. Contribution à l'étude floristique des pâturages du Sénégal. Agro. Trop., vol. XII, 67-113) shows that they have a fodder value oscillating between good and average. The essential problem is water supplies.

It seems desirable to make an effort and study the reaping methods of green or dry fodder, with storage of the produces in the form of silo-crop and hay. Numerous methods have been perfected and ask for extension. They should allow a better utilization of the richer regions transformed into hay-stores, the poorer regions being kept as pasture-lands.

Stalling cattle in choosen places may allow an improvement of essential annual crops, but their surface of cultivation should be limited. These cultures favour mineralization of organic matters, without these losses being made up for by exterior supplies; thence a lack of balance which causes the wearing of these soils. The whole of an agro-pastoral policy is to be developped, the stress being laid on exploitation of cattle, which is not well utilized at present.

RESUMEN Y CONCLUSIONES. — 1) *Los suelos climáxicos de las regiones septentrionales de Senegal pertenecen al grupo de los suelos pardo-rojo subáridos.*

2) *Los suelos pardos subáridos son menos frecuentes. Obsérvanse sobre formaciones calcáreas o en las zonas de drenaje insuficiente, y, en este caso, hacen el paso a los suelos hidrómorfos.*

3) *La pedogénesis de los suelos subáridos tropicales tiene una relación estrecha con la evolución de la materia orgánica de origen herbáceo. Hay formación y acumulación en más de 50 cm de productos húmicos de síntesis. Distínguense los suelos pardo-rojos de los suelos pardos por una mineralización más activa de la materia orgánica.*

4) *Dedúcese la morfología de estos suelos de su pedogénesis: los suelos pardos tienen un perfil homogéneo, poco espeso, de color oscuro, bien humificado, sin horizontes claramente diferenciados. Obsérvanse frecuentemente en la base del perfil acumulaciones de carbonato de calcio. Los suelos pardo-rojos muestran a lo largo de su perfil dos horizontes diferenciados: un horizonte humífero de superficie de color oscuro cuyo espesor mide por lo menos 50 cm; un horizonte profundo y rojizo que puede alcanzar unos 150 cm de profundidad. La acumulación de CO_3Ca es menos importante y menos constante.*

5) *Los suelos subáridos tropicales se distinguen de los suelos estépicos por su contenido de materia orgánica más pequeño (más o menos el 1%). Esto es una consecuencia de la evolución de la materia*

orgánica que se verifica durante la estación húmeda de estío, favoreciendo la mineralización y un principio de lixiviación.

Desde el punto de vista agronómico, estos suelos tienen una típica vocación pastoral. La mayoría de las poblaciones herbáceas y su explotación se hallan en el plano evolutivo de estos suelos. No hay de temer ningún peligro de degradación si se proscriben los métodos anárquicos de utilización : apacientamiento excesivo, fuegos corrientes, cultivos secos anuales extensivos.

El interés de los fuegos corrientes en la economía pastoral de las regiones del Sahel podía discutirse en parte cuando los puntos de agua eran escasos. Permitían un desarrollo precoz de los jóvenes brotes de las Gramíneas perennes cuando acababa la estación seca, en período de escasez de alimentos. Con la multiplicación de las perforaciones de pozos, estos métodos se proscriben imperativamente. El análisis de los forrajes de estas regiones (ADAM S. G. 1957. *Contribution à l'étude floristique des pâturages du Sénégal*. *Agro. Trop.*, vol. XII, 67-113) muestra que tienen un valor forrajero que se sitúa entre bueno y medio. El problema esencial es el del abastecimiento de agua.

Según parece, hay de esforzarse pues por el estudio de métodos de siega de los forrajes verdes o secos y la conservación de los productos en silos o secados (heno). Estos métodos debían permitir una mejor utilización de las regiones más ricas que producirían el heno mientras en las más pobres pastaría el ganado.

La estabulación del ganado en puntos seleccionados puede permitir una mayoría de los cultivos anuales indispensables cuya extensión debe, sin embargo, limitarse. Estos cultivos favorecen la mineralización de los productos orgánicos, sin que las pérdidas sean compensadas con aportes exteriores ; hay un desequilibrio que provoca la degradación de estos suelos. Es preciso pues desarrollar toda una política agro-pastoral y modernizar los métodos de explotación del ganado.

BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT (G.), DUBOIS (J.), MAIGNIEN (R.), 1947. — Les sols à arachides au Sénégal, ORSTOM, n° 28.
- AUBERT (G.), MAIGNIEN (R.), 1949. — Les sols du Sénégal au nord de la Gambie Britannique, C. R. Conf. Pédo. Médit., Alger, Montpellier.
- AUBERT (G.), MAIGNIEN (R.), 1949. — L'érosion éolienne dans le nord du Sénégal et du Soudan. *Bull. Agri. Congo Belge*, XL, pp. 247-51.
- AUBERT (G.), 1949. — Les sols de l'AOF, *Encycl. Marit. Col.*, Vol. AOF.
- AUBERT (G.), 1949. — Observations sur les sols du Ferlo et de la vallée du Sénégal.
- AUBREVILLE (A.), 1949. — Climats, Forêts et Désertification de l'Afrique Tropicale. Soc. Edit. Géo. Marit. Colo.
- BETRÉMIEUX (R.), 1951. — Etude expérimentale de l'évolution du Fer et du Manganèse dans les sols. *Ann. Agro.*, n° 3, pp. 193-295.
- BOUYER (S.), 1949. — Contribution à l'étude agrologique des sols du Sénégal. *Bull. Agri. Congo Belge*, n° 101, pp. 867-1020.
- DUBOIS (J.), 1949. — Esquisse des différents types de sols de la moitié Sud du Sénégal.
- DUBOIS (J.), TRICART (J.), 1954. — Esquisse de stratigraphie du Sénégal et de la Mauritanie du Sud. *C. R. Ac. Sc.*, CGXXXVI. As-2181.
- DUCHAUFOUR (Ph.), 1954. — Connaissances actuelles sur l'Humus. *Bull. Analytique*, ORSTOM.
- DUPUIS (J.), 1954. — A propos du sol à bandes horizontales multiples d'Elancourt. *Bull. AFES*, n° 51.
- FAURE (J.), 1954. — Etude de quelques sols à engorgement temporaire de la Région de Bargny (Sénégal). II^e Conf. Inter-africaine des Sols, Léo., n° 15-1-275.
- FAURE (J.), 1955. — Evolution du modelé dunaire dans la région de Louga. *Sénégal. CRA Bambey*.
- KELLOG (C. E.) (1943). — The Soils that support us. New-York.
- MAIGNIEN (R.), 1946. — Sols du type steppique humifère (Sénégal), ORSTOM 24.
- MAIGNIEN (R.), 1947. — Essai de classification des sols du Sénégal, ORSTOM, n° 25.
- MAIGNIEN (R.), 1949. — Morphologie et Extension des sols bruns et brun-rouge au Sénégal, Soudan et Mauritanie. *Com. Bur. Soil Sc., Tech. Com.*, 46.
- MAIGNIEN (R.), 1949. — La matière organique et l'eau dans les sols des régions nord-ouest du Sénégal. *Bull. Agro. Congo Belge*, XL, pp. 247, 51.
- MAIGNIEN (R.), 1953. — Etudes Pédologiques en Guinée Française. *Ann. I. F. A. C.*, n° 5.
- MAIGNIEN (R.), 1954. — Différents processus de cuirassement en AOF. II^e Conf. Inter-africaine des Sols, Léo., n° 116.
- MAIGNIEN (R.), 1954. — Les sols subarides en AOF, *Cong. Int. Sc. Sol*, Léo., V3.
- MAIGNIEN (R.), 1955. — Les sols de la Station de l'Elevage de DARA, Sénégal. ORSTOM.
- MAIGNIEN (R.), 1956. — Classification des sols Subarides au Sénégal. 6^e Congrès Inter. des Sols.
- MAYMARD (J.), 1953. — V 77. Les sols du pseudo-delta du Sénégal. ORSTOM, n° 1108.
- NORTHCOTE (K. H.). — The Solanized brow (Mallee) soil group of S. E. Australia. *C. R. 6^e Congrès Intern. Sc. Sols*, Paris, 1956.
- Notices explicatives sur les feuilles Dakar-Ouest et Est, Service des Mines AOF.
- RIQUIER (J.), 1956. — Les sols sur alluvions récentes et anciennes du lac Alaotra Madagascar. *C. R. 5^e Cong. Inter. Sc. Sols*, V, 551.
- ROZANOV (A. N.) (1956). — Les sols gris-marron comme type de sol particulier. *C. R. VI Cong. Inter. Sc. Sol*, Paris.
- SHANTZ (H. L.), MARBUT (C. F.), 1923. — The vegetation and soil of Africa. *Amer. Geog. Soc.*, N. Y.
- TROCHAIN (J.), 1941. — Contribution à l'étude de la végétation du Sénégal. *Ann. I. F. A. N.*, n° 2.

Pédo

L'AGRONOMIE TROPICALE

Extrait du n° 5
Septembre-Octobre 1959

LES SOLS SUBARIDES AU SÉNÉGAL

par

R. MAIGNIEN

Docteur ès Sciences, Directeur de Recherches à l'ORSTOM.

Op 1

B 11118