

TABIEAU II

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
n heures et dixièmes	243,2	267,1	297	225	248	257,3	241,7	156,3	221,2	245,8	277,1	187,8
n heures et dixièmes	351	327	373	374	397	390	400	391	367	375	344	349
n	0,69	0,82	0,80	0,60	0,62	0,66	0,60	0,48	0,60	0,65	0,81	0,54
t en °C	24,6	27,2	28,9	29,2	31,2	30,6	29,7	28,1	29,3	29,3	27,9	25,7
h <sub>r</sub> %	35,8	32	31	23,3	33	46	62,3	73,9	71,9	60,6	43,5	37
U <sub>2</sub> m/s	2	2,4	3,1	3,9	2,4	3,1	2,2	3,9	1,6	2	1,9	1,7
I cal/cm <sup>2</sup> /jour	718	795	878	927	939	936	934	928	895	821	736	695
h <sub>r</sub> cal/cm <sup>2</sup> /jour	389	483	525	449	475	489	452	368	434	421	447	317
U <sub>2</sub> cal/cm <sup>2</sup> /jour	403	491	534	493	508	516	497	449	476	452	447	356

Comparaison du rayonnement global calculé avec les coefficients de Tunis et de Bamby

Quelques données et composantes mensuelles de l'indice de PAR-MH

Richard Toll 1969

- n : durée d'insolation réelle
- N : durée d'insolation potentielle
- t : température moyenne
- h<sub>r</sub> : humidité relative moyenne
- U<sub>2</sub> : vitesse du vent moyenne
- I : rayonnement à la limite de l'atmosphère.

LES SOLS DES REGIONS SEMI-ARIDES AU SUD DU SAHARA ET LEURS PROPRIETES PHYSIQUES. RESERVES D'EAU DU SOL, ECOULEMENT ET EROSION

Par R. Fauck

Les types de sol

Le climat représente un des facteurs principaux de la pédogenèse. Dans les régions subarides où ses caractéristiques sont extrêmes, la différenciation des profils de sols est théoriquement freinée par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations, ce qui limite les altérations physico-chimiques et les déplacements de substances à l'intérieur des profils.

Cependant, dans les régions situées au sud du Sahara, caractérisées par l'homogénéité relative des conditions climatiques, on peut observer une grande variabilité des types de sols, bien qu'ils aient certains caractères communs comme la matière organique. Cette variabilité s'explique surtout par la diversité d'un autre facteur de la pédogenèse, les roches-mères et les matériaux originels (1), dont les caractères n'ont pas été oblitérés par la pédogenèse, comme c'est le cas dans les régions équatoriales. Dans ce cadre, le facteur topographie a également une grande importance.

En se référant à la classification française des sols de G. AUBERT (2), les unités de sols les plus représentées sur le plan géographique au sud du Sahara, sont les suivantes :

- Sols Minéraux bruts, lithosols et regosols.  
Les profils sont à peine différenciés, squelettiques.
- Sols Peu Evolués.  
Les Sols Peu Evolués peuvent être épais ou profonds, mais ils ont toujours une faible différenciation morphologique.
- Sols calcomagésimorphes. Les profils marqués par la présence du calcaire et des encroûtements sont rares au sud du Sahara.
- Les sols isohumiques subarides (3).  
Leur morphologie reflète une accumulation de produits humiques et leur complexe absorbant est généralement saturé par du calcium. Les sols bruns ont un profil homogène, de faible épaisseur, de texture généralement assez argileuse. Les sols brun-rouge ont un horizon humifère épais de 50 centimètres, brun, assez bien structuré, reposant sur un horizon rouge, de texture plus sableuse que les sols précédents.
- Les Sols Ferrugineux tropicaux (4).  
Il s'agit de sols dont le profil est bien typé. Les sols Ferrugineux peu lessivés sont développés sur des matériaux originels sableux, les teneurs en argile plus limot étant souvent inférieures à 10 %. Les sols du groupe Ferrugineux tropicaux lessivés présentent la succession suivante d'horizons :
  - 1 horizon humifère, de structure massive assez compacte
  - 1 horizon décoloré à structure poreuse peu cimentée
  - 1 horizon plus riche en argile, coloré par des sesquioxides de fer, à structure fragmentaire.
  - 1 horizon plus argileux, selon les cas enrichi ou non en taches, en concrétions ou marqué par du pseudo-gley.

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

N° : 14 572

Cpte : B

- Les Vertisols.

La morphologie des Vertisols est conditionnée par la présence d'argiles gonflantes qui se traduit par des traits morphologiques particuliers, 2 faces lissées plus ou moins striées, en particulier; Deux catégories de vertisols sont séparées selon le mode de drainage externe des profils de surface qui induit ou non la présence de caractères hydromorphes.

- Les Sols Hydromorphes.

La morphologie des profils des sols hydromorphes reflète la présence d'excès d'eau plus ou moins temporaire. Dans les régions subarides, ces sols sont relativement bien représentés malgré l'aridité du climat, mais il est évident que leur localisation est toujours rapport avec des zones topographiques particulières. Les caractères des sols hydromorphes dépendent de la présence relative du pseudo-gley ou du gley en surface ou (et) en profondeur, également de la présence éventuelle de nodules calcaires.

- Les Sols Halomorphes (5).

Leur pédogenèse est conditionnée par la présence, soit de sels solubles, soit de cations dispersants dans le complexe absorbant. Les sels solubles sont le plus souvent des chlorures ou des sulfates de sodium, des sulfates de magnésium (sels neutres), des carbonates et des bicarbonates de sodium (sels alcalins). Aux actions des sels s'ajoutent souvent des effets divers dus à l'hydromorphie, l'ensemble donnant aux profils une morphologie et des caractéristiques physico-chimiques bien particulières.

Les différents types de sols qui précèdent ont une répartition géographique en rapport avec les variations du climat, des roches-mères et de la topographie. En effet, dans les régions les plus arides se trouvent les sols les moins épais et les moins différenciés (squelettiques, Peu Evolués) alors que dans les régions plus humides se répartissent les divers types de sols Ferrugineux tropicaux lessivés.

Sur les ergs sableux, les types de sols varient des Peu Evolués aux Ferrugineux tropicaux lessivés selon l'âge de la mise en place de ces ergs au quaternaire (6). Sur les matériaux originels provenant de schistes, les profils se classent généralement dans les sols Bruns subarides, les Vertisols ou les sols Hydromorphes.

Dans les zones dépressionnaires, sur les terrasses alluviales, dans les interdunes, les profils ont des caractères hydromorphes plus ou moins nets. Dans certaines régions deltaïques en rapport avec la marée océanique, ou en rapport avec la présence d'alluvions anciennes salées lors de transgressions quaternaires, ainsi que tout autour de certains lacs intérieurs, les sols halomorphes offrent une large diversité de profils. Ainsi aux abords du Lac Tchad la nappe phréatique qui se déverse laisse une frange évaporatoire, riche en carbonates sodiques, ce qui se traduit par le dépôt de natron (5).

Les origines et le devenir de l'eau des sols

Les données permettant d'établir des bilans d'eau dans les sols sont peu nombreuses dans les régions subarides. En réalité, les réserves d'eau des sols n'ont été que rarement mesurées et les écoulements superficiels plus appréciés qualitativement que quantitativement. Certaines évaluations ont été faites en Mauritanie et au Niger (7 et 8) et il faut préciser que les hydrologues de l'ORSTOM ont étudié les écoulements de plusieurs bassins versants spécialement aménagés, dans lesquels ils ont pu calculer des écoulements hypodermiques.

L'origine de l'eau dans les sols réside le plus souvent dans la pluviométrie. Si cette dernière est peu élevée dans la région considérée, l'irrégularité des pluies et surtout l'irrégularité de l'intensité des chutes a une grande importance. C'est ainsi que l'arrivée de tornades brusques se traduit par un écoulement important, la perméabilité des sols étant insuffisante pour permettre la pénétration de la totalité des eaux. Mais de grandes différences existent suivant les sols. Les sols squelettiques, de faible profondeur, installés par exemple sur des grès, ou sur des cuirasses ferrugineuses, suscitent des écoulements instantanés, le ruissellement représentant alors la plus grande partie de l'eau de pluie.

Les sols sableux sur dunes ou ergs ont des perméabilités élevées (9), souvent de 4 à 7 cm/heure, si bien que les ruissellements sont très localisés. Les Vertisols permettent une certaine rétention d'eau, en particulier dans les fentes, puis ils se gonflent, se colmatent, et deviennent temporairement imperméables. Les autres sols ont des perméabilités variables selon leur texture, et l'écoulement superficiel est alors conditionné par la position topographique, et par la pente du modelé.

L'écoulement des eaux en surface dépend donc étroitement des caractéristiques des sols, en particulier perméabilité et évolution de cette dernière dans le temps, ce qui a conduit BOULET à distinguer des surfaces de ruissellement et des surfaces d'épandage (10).

Dans les premières, les sols reçoivent donc une alimentation déficitaire en eau par rapport aux apports par la pluviométrie, dans les autres, au contraire, une alimentation complémentaire en eau peut permettre à la pédogenèse de se développer dans des conditions comparables à celles de régions plus humides climatiquement. C'est le cas de nombreux sols hydromorphes et c'est ce qui justifie en partie la diversité des sols par rapport à la monotonie du climat mentionnée au début de ce texte.

Les écoulements superficiels dont il vient d'être question expliquent que des phénomènes d'érosion puissent parfois être observés. Les exemples les plus spectaculaires concernent des sols squelettiques sur des schistes (badlands), ou sur des matériaux argileux d'origine colluvionnaire.

Mais la pluviométrie n'est pas la seule source d'eau dans les sols. Dans certaines zones privilégiées les nappes constituent des réserves à profondeur parfois très faible dans les sols. Malheureusement, dans beaucoup de cas, ces nappes apportent également des cations et des anions dont la présence bouleverse les termes de la pédogenèse (11).

Les bilans d'eau dans les sols

La Classification Française des sols tient compte de nombreux caractères morphologiques et analytiques. En se basant sur les seuls caractères hydriques des sols des régions subarides, on peut regrouper tous ces derniers en quelques catégories caractérisées par le même comportement vis-à-vis de l'eau.

a) Les sols sableux profonds.

Il s'agit de sols différenciés sur des dunes, des ergs, des colluvions sableuses, et classés en Peu Evolués; en sols subarides bruns rouges, en Ferrugineux tropicaux etc.. L'humidité aux points de flétrissement de ces sols est très faible, mais leur capacité de rétention est également peu élevée (12). Dans ces conditions, les teneurs en eau utile, différence entre les deux, sont faibles à moyennes, de 1'ordre de 2 à 3 % souvent.

Par contre, la profondeur des nappes permet la constitution d'une réserve totale en eau intéressante. Cette réserve dépend cependant de la position du sol par rapport à la topographie. Par exemple (7) après une pluie, les sommets de dune ne sont mouillés que sur 12 centimètres de profondeur, les secteurs sur la pente ne le sont que sur 8 centimètres, tandis que les interdunes sont mouillés sur près de 120 cm. Si l'écoulement superficiel a été apparemment faible, il existe donc un écoulement latéral, à faible profondeur, qui provoque une répartition variée de l'eau dans l'ensemble de la toposéquence. Par la suite les sommets de dune (13) sont très vite desséchés car la végétation y est relativement dense en saison des pluies, et l'aridité en saison sèche provoque une évapotranspiration élevée. Si le drainage à partir duquel il y a possibilité d'infiltration d'eau vers les nappes est de l'ordre de 400 mm d'après certains auteurs, il est évident que ce drainage peut se réaliser dans certaines conditions topographiques particulières, alors qu'il ne se réalise peut-être pas dans certaines régions plus humides que celle retenue dans cette étude.

En définitive, les sols sableux profonds sont caractérisés par une réserve en eau utilisable parfois importante dans certaines positions topographiques, mais également par une dessiccation rapide. S'ils ne sont guère érodés par le ruissellement, par contre leur état poussé de dessèchement favorise l'érosion éolienne et la remise en marche des dunes les plus récentes quand la couverture végétale est dégradée.

#### b) Les sols argileux

Classés en sols Peu Evolués, en Sols hydromorphes, en sols bruns subarides ou en Vertisols selon le type de différenciation des profils, les sols dont les teneurs en argile sont supérieures à 30 % ont des capacités de rétention relativement élevées, mais des teneurs en eau utile généralement faibles. La végétation a des difficultés pour s'installer, le pF 4,2, c'est-à-dire le point de flétrissement pouvant représenter 25 % de l'eau du sol dans des sols à haute teneur en argile illitique et montmorillonitique (10). De plus le débit de dessèchement s'arrête quand il y a apparition d'une croûte desséchée superficielle où les lois de la diffusion capillaire ne jouent plus (14). Par la suite des fentes de retrait apparaissent en saison sèche. Au moment des pluies, elles se fermeront et le sol se gonflera en surface. Il en résultera une imperméabilisation et le déclenchement de ruissellements de courte durée, mais intenses et très érodants. Ce phénomène de dessèchement superficiel affecte également des sols dont la richesse en argile est modérée en surface, mais croît en profondeur, comme la plupart des sols Ferrugineux tropicaux. Ces sols assez épais ont une différenciation en horizons qui devrait favoriser la pénétration de l'eau puis son stockage. Malheureusement, les caractères structuraux des horizons supérieurs sont mauvais, la porosité diminue rapidement par dégradation des unités structurales et l'ensemble se comporte comme des horizons argileux.

#### c) Les sols halomorphes

Les sols halomorphes les plus caractéristiques contiennent des teneurs moyennes ou élevées en éléments granulométriques argileux. Leur réserve hydrique dépend généralement de la présence de nappes, mais de toute façon leur eau utile est très faible, la présence de sels à forte pression osmotique exagérant les caractères de sécheresse apparente des profils.

#### d) Les sols squelettiques

Il s'agit de sols très peu épais, à faible réserve d'eau, sur lesquels peuvent se réaliser des écoulements instantanés surtout lorsqu'il s'agit de glacis à pentes le plus souvent faibles, mais de grandes longueurs (15 et 16).

#### e) Les sols complexes

Un exemple de sols complexes a été décrit dans le Nord du Niger par BOULET (10).

Les sols à caractères vertiques développés sur des alluvions argileuses ont été recouverts par un voile sableux d'origine éolienne. Le sable a comblé intégralement les fentes de retrait, souvent très profondes. Lors des rares précipitations de la région, l'eau pénètre très facilement dans le sable et vient se piéger dans les drains sableux coincés au milieu des argiles dont la richesse chimique est élevée.

Des plantes à pâturages pour chameaux, les Schouwia, se développent dans ces drains sableux où ils trouvent des réserves hydriques accumulées et des éléments nutritifs abondants. Malgré l'aridité du climat, il en résulte une végétation dense et vivace dont l'aspect tranche nettement avec l'état dénudé des autres paysages. Plus au sud, dans des régions plus humides, les recouvrements sableux disparaissent, et les sols vertiques sont le plus souvent sans couverture végétale.

#### CONCLUSION

AUDRY et ROSETTI (7) ont comparé un sol sableux et un sol argileux. Les capacités de rétention respectives sont de 5 % et 18 % d'eau, les porosités de 40 et 30 %. Les capacités de rétention par mètre de sols représentent respectivement l'équivalent de 80 mm de pluie et 325 mm.

Dans ces conditions, une pluie de 40 mm qui pénétrerait complètement dans les deux sols amènerait ces derniers à la capacité de rétention sur une profondeur de 50 cms pour le profil sableux et de 12 cms sur le profil argileux.

Cet exemple montre que dans les régions subarides où les sources d'alimentation en eau sont limitées, les sols sableux offrent des avantages importants. D'une part, ils captent les eaux de pluie et de ruissellement, d'autre part, les plantes y trouvent un support où l'eau se trouve à un état relativement disponible. Par contre les sols argileux, souvent très riches chimiquement, ont des aptitudes d'utilisation intensive réelles quand il est possible d'y effectuer des irrigations importantes. Les sols des régions semi-arides au sud du Sahara ont donc des comportements très différents dans le domaine de la dynamique de l'eau, cette dynamique étant conditionnée par la morphologie du profil (profondeur, teneur en argile, structure, porosité), et par la position du sol dans le modèle géographique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

(1). FAO - UNESCO - 1967 - International source-book on irrigation and drainage of arid lands in relation to salinity and alkalinity. Draft edition.

(2). AUBERT G. - 1965 - La classification des sols. Tableaux des classes, sous-classes, groupes et sous-groupes de sols utilisés par la section de Pédologie de l'ORSTOM. Cahiers de Pédologie de l'ORSTOM, Vol. III. Fas. 3.

(3). MAIGNIEN R. - 1959 - Les sols subarides au Sénégal. L'Agro. Trop. - t. XIV - n° 5 - 1959 - pp. 535-571.

(4). CHARREAU Cl., FAUCK R. - 1965 - Les sols du Sénégal. In : Etudes Sénégalaises - n° 9 - Connaissance du Sénégal - fasc. 3 - 1965 - pp. 111-130., 1 carte, pl., photos, bibl., pp. 133-154.

(5). BOCQUIER G., GAVAUD M. - 1964 - Etude pédologique du Niger Oriental. ORSTOM - Centre de Dakar-Hann - 3 fasc., 347 p., ronéo, 39 tabl., 27 pl., annexe : 130 fiches analytiques - 1 carte au 1/500.000° h.t. Ministère de l'Economie Rurale, Service du Génie Rural - République du Niger.

(6). BOULET R. - 1967 - Nouveaux arguments en faveur de l'existence de deux ergs rubéfiés d'âges différents dans la zone sahélienne de l'Afrique Occidentale. (Haute-Volta). 1967 - Actes 6ème Congrès Panaf. de Préhistoire et de l'Etude du Quaternaire. ORSTOM - Centre de Dakar-Hann, 4 p. ronéo., 2 pl.

(7). AUDRY P., ROSSETTI (Ch.) - 1961 - Observations sur les sols et la végétation en Mauritanie du S.E. ; et sur la bordure adjacente du Mali (1959-1961). FAO/Rome - U N S F - 1 vol. 267 p., 39 fig., tabl., 5 pl., photos, 1 carte, bibl. 71 réf.

(8). BOULET R. - 1964 - Etude pédologique du Niger Central. ORSTOM, Centre de Dakar-Hann - Déc. 1964 - 211 p. ronéo, 17 pl., 17 tabl., 1 carte au 1/500 000° h.t. Ministère de l'Economie Rurale, Service du Génie Rural - République du Niger.

(9). CHARREAU Cl. - 1961 - Dynamique de l'eau dans deux sols du Sénégal. Ronéo IRAT CRA Bambey. 43 p., 35 graph., 36 tabl., 17 réf.

(10). BOULET R. - 1966 - Observations pédologiques dans le Tamesna Oriental. Relations sol-végétation. ORSTOM - Centre de Dakar-Hann - juillet 1966. 67 p. ronéo, 25 pl., bibl., 39 réf.

(11). MAYMARD J.M. - 1960 - Rapport sur les études pédologiques dans la vallée alluviale du Sénégal. M.A.S. - St Louis - Bull. 122 - 1960, ronéo.

(12). GAVAUD M. - 1967 - Interprétation chronologique des systèmes de sols des dunes fixées du Niger Méridional. Communication VI° Congr. Panafr. Préhist. et Et. Quatern. Dakar. ORSTOM, Centre de Dakar-Hann, 1967, 17 p. ronéo, bibl. 27 réf.

(13). AUDRY P. - 1961 - Etude pédologique du cercle de Guidimaka (R.I.M.). ORSTOM - Centre de Dakar-Hann, juin 1961, 3 vol. ronéo, 1 carte en couleur au 1/200 000°. I - Etude du milieu naturel et étude pédologique. II - Etude agronomique et annexes : pp. 175 - 248. III - Résultats analytiques - 72 p.

(14). HALLAIRE M. - 1953 - Diffusion capillaire de l'eau dans le sol et répartition de l'eau en profondeur sous sols nus et cultivés. Ann. Agron. Paris. Vol. 4. N° 2. p. 143-244.

(15). GAVAUD M. - 1968 - Les sols bien drainés sur matériaux sableux du Niger. Essai de systématique régionale. In : Cah. ORSTOM - série Pédo. Vol. VI, n°s 3-4, 1968, pp. 277-307., fig., tabl., bibl., 14 réf.

(16). GAVAUD M. - 1966 - Etude pédologique du Niger Occidental. Rapport général. ORSTOM - Centre de Dakar-Hann, mars 1966, 513 p. multigraph. 82 fig., 42 pl., 1 carte au 1/500 000° h.t. Ministère de l'Economie Rurale, Service du Génie Rural - République du Niger.

BOULET R. - 1968 - Etude pédologique de la Haute-Volta. Région Centre-Nord. Mars 1968. ORSTOM-Centre de Dakar-Hann, 349 p. ronéo., 1 carte au 1/500 000°.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION

# AGROCLIMATOLOGY IN THE SEMI-ARID AREAS SOUTH OF THE SAHARA

Proceedings of the Regional Technical Conference,  
Dakar, 8-20 February 1971

FAO/Unesco/WMO INTERAGENCY PROJECT ON AGROCLIMATOLOGY



WMO - No. 340

Secretariat of the World Meteorological Organization - Geneva - Switzerland

1973

165

B 14571 - 514575