

Pédo

- REUNION ANNUELLE DES PEDOLOGUES ORSTOM -

Bondy - 6 et 7 Octobre 1967

LES FACTEURS DE FORMATION
DES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX.

P. SEGALEN

O. R. S. T. O. M.
Collection de Référence

B 12 120

18 Mars 1968

n° 12120, 2x1

INTRODUCTION

Etudiés et décrits pour la première fois par G. AUBERT en 1945-46, à l'occasion de l'arrivée sur le terrain, en Afrique occidentale, des premiers pédologues ORSTOM, les sols ferrugineux tropicaux sont reconnus également par la suite dans l'Ouest de Madagascar. Les premières définitions de ces sols ne sont pas connues. Mais à partir de 1960, des textes imprimés de divers chercheurs de l'ORSTOM : BOCQUIER et CLAISSE, FAUCK, MAIGNIEN, traitent de différents aspects de ces sols ; G. AUBERT en donne des définitions au cours d'exposés de la classification orstomienne des sols. Une définition assez approfondie est donnée par le groupe de travail du Service Pédologique Interafricain (S.P.I.)⁽¹⁾ en vue de la préparation de la carte des sols d'Afrique. Dans la littérature étrangère BOTELHO DA COSTA (1959), VAN DER MERWE (1940), par exemple, décrivent des sols très proches sinon identiques aux sols ferrugineux tropicaux.

Ces sols appartiennent à une zone climatique et par conséquent de végétation qui correspond en gros à la zone tropicale : alternance saisonnière marquée, avec une saison sèche relativement longue, des pluies concentrées. Cette zone climatique s'oppose à la zone équatoriale où la saison des pluies est très longue, la pluviométrie plus élevée et généralement mieux répartie. Dans ce cas, les sols sont ferrallitiques, très profonds, souvent très fortement colorés. Leurs caractéristiques ont été détaillées lors de précédentes réunions. Les sols ferrugineux tropicaux sont donc, pour des raisons évidentes, beaucoup moins épais (1 à 3 mètres) et une de leurs caractéristiques essentielles résulte du fait qu'il y a du fer individualisé (ce mot sera sans doute à expliciter).

En 1961, MAIGNIEN publie dans "Sols Africains" une étude sur la passage des sols ferrugineux tropicaux aux sols ferrallitiques dans le Sud-Ouest du Sénégal. Les premiers se définissent "par une tendance prononcée à l'individualisation du fer et du manganèse;

(1) Cette définition, mise au point par un groupe de pédologues travaillant en Afrique, sera reproduite dans la notice de la carte des sols d'Afrique de DHOORE.

les oxydes individualisés se trouvent sous des formes peu liées et montrent une capacité marquée à se redistribuer à l'intérieur des profils". Pour le reste, l'auteur se réfère à la définition du S.P.I.

En 1964, MAIGNIEN insiste de nouveau sur les propriétés "des sesquioxydes de fer parfaitement libres et extrêmement labiles, caractéristiques qui influent sur la morphologie des profils". Cet auteur retient donc comme une des propriétés essentielles de ces sols le fait que le fer apparaît doué d'une certaine mobilité.

Une autre caractéristique fondamentale est l'existence de possibilité de mouvements de l'argile. La définition S.P.I. parlait de sols "à horizon A2 et horizon B textural". MAIGNIEN, en 1964, se réfère à "une texture fréquemment sableuse en surface, avec tendance au lessivage de l'argile qui tend à s'accumuler en profondeur pour former un horizon colmaté". Certes, il existe bien d'autres caractéristiques, mais avec ces quelques mots : climat et végétation tropicales, mouvement du fer et de l'argile, on peut situer très rapidement un sol ferrugineux tropical.

Du moins en Afrique Centrale et Occidentale, où tous les pédologues de l'ORSTOM reconnaissent les sols sur ces caractéristiques. Cependant, dans d'autres pays de la zone tropicale, des pédologues croyaient connaître des sols ferrugineux tropicaux à vrai dire morphologiquement assez différents des précédents. C'est pour eux que la définition du S.P.I. parlait de "sols à profil ABC dont certains ont un horizon A2 ..." et "on observe fréquemment une large individualisation des oxydes de fer libre ...".

Ces pédologues définissaient "leurs" sols ferrugineux tropicaux sur les autres caractéristiques (rapport silice/alumine, minéraux argileux, taux de saturation, épaisseur des profils, etc...).

Par conséquent, il semblait là se présenter un problème difficile à résoudre. Pour les uns, les sols présentés comme ferrugineux tropicaux ne sont que des sols hydromorphes ou tout au moins très proches de ceux-ci. Pour les autres, inversement, il s'agit de sols ferrallitiques ou de sols à rapprocher des rouges méditerranéens.

Il y a donc dans la zone tropicale des orientations différentes de la pédogenèse. Dans certains cas il y a mobilisation du fer et de l'argile dans d'autres non. En examinant successivement les conditions de formation de ces sols, on essaiera de voir dans quelle mesure chacun d'eux oriente de manière particulière la pédogenèse

Pour éviter toute ambiguïté, les sols ferrugineux tropicaux dont il s'agit ici sont ceux qui correspondent aux définitions de MAIGNIEN et s'appliquent à l'Afrique Occidentale et Centrale.

I - Climat.

Tous les auteurs sont d'accord pour dire que les sols ferrugineux tropicaux prennent naissance dans une zone climatique correspondant à une pluviométrie de 500 à 1200 mm environ. La distribution de la pluie est telle que l'on se trouve dans le type de climat soudanien, (six mois humides, six mois secs), et à la rigueur soudano-sahélien, (quatre mois humides, huit mois secs). Une caractéristique essentielle est l'alternance saisonnière marquée et la violence des précipitations pendant la saison des pluies.

Il faut signaler qu'un tiers de Madagascar (côte Ouest), les régions à climat équivalent du Mexique méridional ne voient pas se développer de sols ferrugineux tropicaux avec un horizon lessivé, des mouvements de fer. Toutes conditions étant égales par ailleurs (pente, roches-mères).

Par conséquent, le climat ne suffit pas pour faire un sol ferrugineux tropical.

Par ailleurs, en Afrique Occidentale, on constate la succession suivante :

- près du golfe de Guinée et à quelque distance de celui-ci, les sols ne sont pas lessivés, les pluviométries sont cependant beaucoup plus fortes que celles correspondant aux sols ferrugineux tropicaux ;
- on passe aux sols ferrugineux tropicaux lessivés vers 800-1200 mm ;
- puis aux sols ferrugineux tropicaux non lessivés vers 500-800 mm.

Ainsi donc un lessivage apparaît dans cette bande de 800-1200 mm de pluie.

Des causes climatiques ne peuvent être retenues pour expliquer seules ce lessivage. Sous des climats beaucoup plus pluvieux, il n'a pas lieu ; dans des zones géographiques considérables, sous le même climat que les sols ferrugineux tropicaux d'Afrique, il n'y a pas non plus de lessivage. On peut dire à peu près la même chose pour ce qui est du fer.

II - Végétation.

Généralement, en Afrique Occidentale et Centrale, lorsque l'on passe de la forêt dense ombrophile des régions centrales ou côtières vers le Nord, on passe à une zone de savane correspondant à la zone climatique précédemment évoquée. Il y a donc semble-t-il, coïncidence entre la zone des forêts et les sols ferrallitiques et la savane et les sols ferrugineux tropicaux. On peut penser que la matière organique de la savane a quelque chose à voir avec la migration d'éléments complexables comme le fer, et de l'argile.

Je pense, pour ma part, que la savane est essentiellement une formation secondaire qui s'installe au détriment de peuplements arborés d'un type particulier et peu aptes à résister aux mauvais traitements auxquels ils sont soumis. L'essentiel de la zone inter-tropicale est couvert par une végétation arborée fermée ou à peu près fermée, dont les caractéristiques précises dépendent du climat, du sol et son drainage, etc...

A mon avis, les savanes dites anthropiques, post-forestières, guinéennes ou soudanaises ont toutes la même origine. Elles résultent d'actions humaines, feu et hache, répétées non pas depuis des millénaires mais seulement des siècles. Le remplacement de la forêt par la savane s'est effectué facilement dans les zones à longue saison sèche où les feux de lisière répétés finissent par avoir raison des massifs forestiers. Aussi lorsqu'on ne voit pas ces massifs, on est naturellement tenté de penser qu'ils n'ont jamais existé et que les choses ont toujours été ainsi qu'on les observe actuellement.

Ceci est vrai en Afrique, à Madagascar, au Mexique et sans doute ailleurs, partout où il existe des hommes qui pensent que la zone du climat soudanien convient bien aux pâturages extensifs ou à la chasse et à certaines cultures itinérantes. Ces idées ont été expo-

sées par des botanistes éminents comme PERRIER DE LA BATHIE (1921), HUMBERT (1927), LETOUZEY (1958) qui ont montré que seuls résistaient aux conditions de la savane les arbres dotés d'une anatomie et physiologie très spéciales : écorce très épaisse, reproduction par drageons etc...

La fin de la pesée de l'homme sur une savane se traduit par la réoccupation du terrain par la forêt. Celle-ci - forêt tropophile ou décidue - existe sous climat soudanien, mais il faut la chercher plus souvent loin des pistes pour la trouver.

Par conséquent, je ne pense pas que la genèse des sols ferrugineux tropicaux soit à relier à la savane mais plutôt à la végétation forestière décidue qui l'a précédée.

D'ailleurs il existe également des savanes en zone ferrallitique et on n'en tire pas argument en faveur de la genèse de ces sols. Je ne pense pas que, sous les savanes, s'individualise aucun type particulier de sol. Cette savane s'installe sur un sol déjà existant.

On a dit souvent que le passage de la forêt à la savane s'accompagne d'un changement de l'horizon humifère, qui devient plus épais (MAIGNIEN). Je pense que c'est tout à fait exact ; mais je pense aussi qu'on ne sait pas encore exactement pourquoi (décomposition des racines des herbes, remaniements de surface par des vers ou animaux fouisseurs).

Ici encore, il existe d'immenses étendues où l'herbe est très abondante mais où l'horizon humifère n'est pas particulièrement développé. On a voulu voir cette matière organique, "favoriser la mobilisation des sesquioxides de fer ainsi que leur concrétionnement" "l'évolution de la matière organique sous savane accuse les processus de lessivage qui sont beaucoup plus actifs que sous forêt". On peut indiquer des étendues de savane considérables qui n'ont pas ces effets (Ouest de Madagascar par exemple). Le problème relation migration de substances/matière organique est encore peu étudié. En tout cas, les résultats obtenus par les premières études (DUCHAUFOR et DOMMERGUES, Ch. THOMANN) montrent que l'acide humique domine sur l'acide fulvique dans les zones semi-arides, équivaut à peu près à l'acide fulvique dans la zone tropicale et que, dans la zone équatoriale, l'acide fulvique l'emporte sur l'acide humique. On ne voit pas pourquoi les pertes de fer et argile seraient plus importantes sur la base du rapport acide humique/acide fulvique, voisin de 1, en zone tropicale.

Par conséquent, il n'y a pas de relation évidente entre un type de végétation et les sols ferrugineux tropicaux. Tout au plus peut-on dire : "actuellement en Afrique Occidentale et Centrale, les sols ferrugineux tropicaux supportent la savane". Mais on ne peut pas affirmer que cette formation végétale doit correspondre en Afrique ou ailleurs à un type de sol déterminé. Par ailleurs, on connaît assez peu les relations entre la matière organique, l'argile et le fer. Il apparaît encore prématuré d'affirmer quoi que ce soit dans ce domaine.

III - Les Roches-Mères.

Y a-t-il une ou des roches-mères favorables au développement des sols ferrugineux tropicaux?

La zone africaine qui nous intéresse est caractérisée essentiellement par :

- a) des matériaux dunaires sableux meubles ;
- b) des matériaux de granulométrie variée tels que sables, sables argileux, grès rapportés au "continental terminal" ;
- c) des sédiments variés datés du primaire au tertiaire : grès du Mali, du Sénégal oriental et de Guinée, du Cameroun, etc... D'autres roches sédimentaires ~~existent~~ mais sont assez rares ;
- d) des roches métamorphiques ou plutoniques telles que gneiss et granites.

En aucun cas des roches basiques : calcaires, basaltes, etc... ne sont associées à des sols ferrugineux tropicaux. Enfin, à peu près partout existent des cuirasses qui, elles, sont dans la zone considérée en relation avec des sols ferrugineux tropicaux.

Par conséquent, le sol ferrugineux tropical est associé étroitement à des roches-mères riches en sable ou susceptibles d'en fournir, comme les granites et les gneiss. Des plateaux cuirassés ou non dominent souvent ces sols ferrugineux. Dès qu'une roche est calcaïque, on assiste à la formation de matériaux vertiques.

Par ailleurs, à Madagascar, ces roches acides, sableuses, sablo-argileuses existent sous climat tropical. Elles ne correspondent pas aux sols envisagés ; au Mexique

non plus dans la zone de climat et de végétation voulue.

Par conséquent, en Afrique, les seules roches associées à des sols ferrugineux tropicaux sont celles qui sont susceptibles de fournir des matériaux sableux. Ce n'est pas le cas pour les roches basiques. Ailleurs, même les roches riches en sables ne portent pas de sols ferrugineux tropicaux.

IV - Le relief.

Bien plus que tous les facteurs précédents, la topographie a une importance majeure dans la genèse des sols ferrugineux tropicaux et leur évolution.

D'une manière générale, les sols ferrugineux tropicaux sont en relation avec un modelé très particulier. Il s'agit de zones relativement planes à pente très douce associées à des reliefs le plus souvent tabulaires cuirassés ou non, ou bien à des affleurements granitiques isolés ou en massifs.



Ce type de relief est bien connu des géomorphologues (KING, 1962 ; RUHE, 1956 ; TRICART et CAILLEUX, 1965, etc...). Ils l'associent à un climat de type tropical sec qui est précisément celui réputé favorable aux sols ferrugineux tropicaux. Ce relief évolue lorsqu'un abaissement du niveau de base soumet la surface S1 à l'attaque du réseau hydrographique qui s'établit dans le nouveau plan S2 et progresse aux dépens de S1 par érosion au niveau de ce qu'on peut appeler le "versant d'attaque" VA. Celui-ci recule parallèlement à lui-même, en laissant en aval une surface plane d'étendue variable, de pente faible (quelques pour cent).

Cette évolution du paysage est propre aux pays ayant été marqués depuis fort longtemps par des aplanissements d'érosion (et c'est le cas pour l'Afrique à l'exception

des Atlas) ; elle est propre également aux climats tropicaux à alternance saisonnière marquée où se produit simultanément érosion et altération (ce n'est pas le cas dans les régions humides où les hydrolyses sont très puissantes et l'érosion de surface modérée).

Cette évolution du paysage s'accompagne d'un remaniement en surface des matériaux quasi sur place. La présence d'une végétation arborée suffisamment dense est indispensable pour bloquer la majeure partie des produits remaniés. En cas de dénudation des glacis, ces produits fins doivent pouvoir traverser la surface plane sans obstacle et être évacués totalement (KING, 1962).

C'est évidemment sur ce glacis que les sols ferrugineux tropicaux se développent. Une séquence a été d'ailleurs décrite par BOCQUIER et CLAISSE (1964). Mais de ce qui vient d'être dit, on peut faire les constatations suivantes en ce qui concerne la morphologie des sols qu'on peut observer sur ce glacis.

- a) Le remaniement des sols s'opère dès le versant d'attaque et à la partie supérieure du glacis. Il provoque la mise en place d'une stone-line s'il existe des matériaux inaltérables tels que quartz en filons ou cuirasse. Ces matériaux s'enterrent sous d'autres plus fins provenant de l'attaque de S1. Cette stone-line peut très bien ne pas exister, il y aura alors une très nette différence de granulométrie entre la partie supérieure généralement plus sableuse et allochtone et la partie inférieure autochtone où se poursuivent les processus d'altération.
- b) La partie inférieure du glacis dont on a vu que la pente était très faible correspond au niveau de base. C'est l'endroit où le drainage sera le moins bon et à partir duquel la nappe remontera vite et loin dès la saison des pluies. Les pluies qui tombent en force verront donc leur évacuation vers la profondeur ralentie et contrariée tandis qu'au contraire l'évacuation oblique sera la seule possible, favorisée par ailleurs par la différence de granulométrie entre la surface et la partie inférieure du profil. Les marques de l'hydromorphie seront alors bien évidemment renforcées.

C'est donc l'évolution du relief qui commande, sous un climat tropical, la mise en place des matériaux du sol par une combinaison d'altération et d'érosion avec remaniement des parties supérieures des profils. Ceci résulte à la fois d'une hydromor-

phie de profondeur qui peut gagner l'ensemble des profils et d'une élimination essentiellement oblique de parties fines de la couche supérieure du sol.

Il en résulte que certains caractères comme le mouvement du fer apparaît comme une conséquence de cette situation.

En effet, le mauvais drainage temporaire détermine les conditions d'anaérobiose susceptible d'influencer la matière organique et de faire monter le rapport carbone/azote, d'induire la réduction de Fe^{3+} en Fe^{2+} et de provoquer sa mise en mouvement oblique et sa réprécipitation un peu plus loin. D'où la formation bien connue et décrite par MAIGNIEN des cuirasses associées aux sols ferrugineux tropicaux.

Enfin, si on a affaire à une roche basique (calcique), on n'aura pas de sol ferrugineux tropical mais une partie inférieure verticale avec couverture très sableuse (Dahomey sur granite à amphibole). Si on a affaire à une roche sans quartz (roche basique à Maroua, Cameroun, amphibolite en R.C.A.), on aboutit à un vertisol et non à un sol ferrugineux tropical.

Enfin, si on se place ailleurs que sur un glacis, il n'y a pas de sol ferrugineux tropical mais un sol rouge (qui, je le signale, répond bien à la définition des sols ferrugineux tropicaux de 1961, mais non à celle de 1964). C'est le cas à Maroua, et dans différents points du massif Mandara où un drainage efficace laisse derrière lui uniquement des sols rouges.

C'est le cas également au Mexique méridional où sous 800 mm de pluie, en zone à relief montagneux, il n'y a que des sols rouges. A Madagascar, la nappe est trop basse pour que l'hydromorphie intervienne et les sols restent rouges.

CONCLUSIONS

Des sols ferrugineux tropicaux (définition MAIGNIEN 1964) on peut donc dire 1
- qu'ils correspondent bien au climat tropical à saisons contrastées, mais que ce climat

ne peut suffir à les expliquer puisque dans bien des zones du monde concernées par ce type de climat, ils ne sont pas connus ;

- qu'ils supportent actuellement la savane mais que celle-ci ne saurait être considérée comme ayant une responsabilité quelconque dans la genèse des caractéristiques majeures de ces sols ; tout au plus limite-t-elle actuellement les dégâts de l'érosion superficielle ;
- qu'ils dérivent de matériaux riches en quartz : sables, sables argileux, grès, granites, gneiss, mais non de roches basiques ou de calcaires.

La cause essentielle de leur genèse apparaît être d'ordre topographique. Leur position sur les glacis m'apparaît indispensable. La genèse du glacis lui-même entraîne une différence considérable entre les parties supérieure et inférieure du profil qui n'a pu qu'accentuer l'élimination de l'argile de la partie supérieure. Il s'agit donc beaucoup plus d'un appauvrissement que d'un lessivage proprement dit. Cette différence granulométrique avait d'ailleurs troublé beaucoup d'observateurs à la recherche des ventres et des enrobements argileux qu'ils ne pouvaient que bien rarement mettre en évidence.

Ensuite, l'hydromorphie, qui ne peut être absente de sols ferrugineux tropicaux est bien suffisante pour expliquer le comportement du fer qui obéit ici comme ailleurs aux propriétés habituelles des ions ferreux et ferriques. Les constituants ferrugineux des sols et leur comportement sont bien les mêmes que dans tous les sols des régions inter-tropicales et méditerranéennes. Il est donc inutile d'imaginer que le fer possède, pour ces sols là des propriétés, des liaisons avec des éléments qu'il ne possède pas ailleurs. Le drainage est bien le grand responsable du comportement du fer. Partout où il sera bon, les couleurs rouges et unies du sol seront la règle.

Enfin, pour dire un mot de l'emplacement géographique des sols ferrugineux tropicaux, il faut rappeler qu'ils se trouvent toujours en contrebas de quelque chose (mass de roche, cuirasse, corniche de plateau). Il est donc difficile de voir de terme de passage entre par exemple le sol ferrallitique et le sol ferrugineux, le passage est brusque et est souligné par une corniche de quelques décimètres, de quelques mètres ou de quelques centaines de mètres. C'est ce qui se passe en R.C.A., au Cameroun, au Dahomey, en Côte d'Ivoire et même au Sénégal.

La mise en place de sols ferrugineux tropicaux à partir de matériaux variés (anciennes surfaces cuirassées ou ferrallitisées, masses de granites, etc...) fait que l'éventail des constituants minéraux peut être très largement ouvert et qu'il est souvent très difficile de caractériser les sols ferrugineux tropicaux sur un rapport silice/alumine ou le type de minéraux argileux.

Par conséquent, si la notion de sol intrazonal avait encore cours dans la pédologie française (un sol intrazonal est défini par BALDWIN, KELLOGG, et THORP, 1948, comme ayant des caractéristiques qui reflètent l'influence dominante de quelque facteur local de relief, de roche-mère, ou d'âge plus que celle du climat ou de la végétation), je conclurai que les sols ferrugineux tropicaux sont des sols intrazonaux tandis que les sols ferrallitiques, les sols rouges tropicaux, les sols rouges méditerranéens sont des sols zonaux.

BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT (G.) - 1965 - Classification des sols. Cah. ORSTOM sér. Pédol. III, 3, 269-288.
- AUBERT (G.), BOULAINÉ (J.) - 1967 - La pédologie. PUF "Que sais-je ?". N° 352, 128 p.
- BALDWIN (M.), KELLOGG (. E.), THORP (J.) - 1948 - Soil classification. In "Soils and Men" U.S.D.A. Yearbook. 979-1001.
- BOCQUIER (G.), CLAISSE (G.) - 1963 - Reconnaissance pédologique dans les vallées de la Gambie et de la Kouloutou (Rép. du Sénégal). Cah. ORSTOM sér. Pédol. 4, 5-32.
- BOTELHO DA COSTA (J.V.) - 1959 - Ferrallitic, tropical fersiallitic and tropical semi-arid soils. 3^o Conf. interafr. sols 1, 317-319.
- DABIN (B.), FAUCK (R.), PIAS (J.) - 1967 - Les sols de l'aire de l'étude in Une étude d'agroclimatologie de l'Afrique sèche au Sud du Sahara en Afrique occidentale, FAO Rome, 325 p.
- DHOORE (J.L.) - 1964 - La carte des sols d'Afrique au 1/5.000.000 mémoire explicatif. CCTA, Pub. n° 93, Lagos (Nigéria), 210 p + 7 cartes.
- DUCHAUFOUR (Ph.), DOMMERGUES (Y.) - 1963 - Etude des composés humiques de quelques sols tropicaux et subtropicaux, Sols Afric. VIII, 1, 5-24.
- FAUCK (R.) - 1963 - Le sous-groupe des sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions. Sols Afric. VIII, 3, 383-406.
- HUMBERT (H.) - 1927 - Principaux aspects de la végétation à Madagascar. Mém. Acad. Malg. 5, 79 p. XLI pl.
- KALOGA (A.) - 1965 - Sols et pédogenèse dans les bassins versants des Volta Blanche et Rouge. Rapport ORSTOM, 364 p.

- KING (L.C.) - 1962 - The morphology of the earth. Oliver and Boyd. Edinburgh London, 699 p.
- LETOUZEY (R.) - 1958 - Phytogéographie camerounaise. Atlas du Cameroun. Yaoundé, 5 p.
1 carte au 1/2.000.000.
- MAIGNIEN (R.) - 1958 - Le cuirassement des sols en Guinée. Mém. Serv. Carte Géol. Als. Lorr. n° 16, 239 p.
- MAIGNIEN (R.) - 1961 - Le passage des sols ferrugineux tropicaux aux sols ferrallitiques dans les régions Sud-Ouest du Sénégal. Sols Afric. 6, 2-3, 113-228.
- MAIGNIEN (R.) - 1966 - Compte Rendu de Recherches sur les latérites. UNESCO Place Fontenoy Paris, 155 p.
- MURDOCH (G.) - 1964 - Soil survey and soil classification in Swaziland 1955-1963. African Soils X, 1, 117-123.
- PERRIER DE LA BATHIE (H.) 1921 - La végétation malgache. Challamel, Paris.
- RUHE (R.V.) - 1959 - Stone lines in soils. Soil Sci. 87, 4, 223-231.
- THOMANN (Ch.) - 1964 - Les différentes fractions humiques de quelques sols tropicaux de l'Ouest Africain. Cah. ORSTOM sér. Pédol. II, 3, 43-79.
- TOMLINSON (P.R.) - 1964 - Classification of northern Nigeria soils in terms of the legend of the soils map of Africa. 4th approximation. African Soils X, 1, 75-84.
- TRICART (J.), CAILLEUX (A.) - 1965 - Traité de géomorphologie V. Le modelé des régions chaudes, forêts et savanes. SEDES, Paris, 322 p.
- VAN DER MERWE (C.R.) - 1940 - Soil groups and subgroups of South Africa. Union South Afr. Dept Agric. Forest. Bull. 231, 316 p.