

## Conclusions de la troisième partie

# Relations sols-reliefs-variations paléoclimatiques en Afrique centrale

D. SCHWARTZ <sup>1</sup>

*Les articles présentés ici, auxquels nous adjoignons quelques textes des quatrième et cinquième parties de cet ouvrage (Preuss p. 260 ; Tamura p. 298 ; Lanfranchi et Schwartz, p. 248 ; Schwartz et al., p. 283 ; Schwartz et al., p. 314 ; Locko p. 393) ; permettent d'aborder, de manière bien fragmentaire il est vrai, les conséquences des variations climatiques sur l'évolution des sols et des reliefs en milieu équatorial. Nous en reprendrons ici quelques aspects, abordés du point de vue du pédologue.*

L'évolution des sols ferrallitiques\*, qui caractérisent cette région bioclimatique, procède de la longue durée. Quelques chiffres permettent de préciser ce point. La vitesse d'altération des roches a été estimée selon diverses méthodes entre  $10^{-3}$  et  $7.10^{-3}$  cm/an (Corbel, 1951 ; Sieffermann, 1969 ; Gac et Pinta, 1973 ; Boulad et al., 1977). L'âge d'un ensemble altérite\*-sol épais de 20 m, épaisseur courante, est ainsi évalué entre 300000 et 2000000 années. Il s'agit toutefois d'âges très approximatifs, en ce sens qu'en conditions initiales, lorsque la roche est à proximité de la surface du sol, cette vitesse est sans doute plus élevée, mais qu'à l'inverse, l'érosion de surface, voire les phénomènes d'hydrolyse aboutissent à une ablation difficile à évaluer : ces âges sont donc plutôt des limites inférieures de la durée d'évolution réelle des sols. D'autres évaluations concernent la vitesse de ferrallitisation. Leneuf (1959) estime cette vitesse à  $5.10^{-3}$  cm/an, ce qui revient également à calculer des âges de plusieurs centaines de milliers d'années pour les sols (Leneuf et Aubert, 1960 ; Owens et Watson, 1979 ; cités in Duchaufour, 1983). Pour leur part Bourgeat et Ratsimbafy (1975), ainsi que Troy (1979) estiment que 100000 ans est l'intervalle de temps minimum pour obtenir une ferrallitisation complète ; en dessous de cette durée, il subsiste dans les profils des minéraux altérables, ce que Lanfranchi et Schwartz (p. 248) ont également noté. Enfin, si la formation des cuirasses\* de nappe, qui résultent du durcissement de plinthites\*, peut être assez rapide (Van Wanbecke, 1973 ; Duchaufour, 1983) celle des grandes cuirasses de plateaux nous fait passer à une échelle de temps qui dépasse le Quaternaire, puis se chiffrant en

millions d'années, comme le rappellent Bocquier et al. (1984), et, dans cet ouvrage, Martin et Volkoff (p. 129).

Si l'on ajoute à l'énoncé de ces chiffres le fait que le climat de la zone équatoriale est relativement constant, avec ses températures et durées du jour peu variables, et ses pluies assez bien réparties tout au long de l'année, on comprend l'opinion longtemps ancrée dans l'esprit de maints pédologues, que la formation des sols ferrallitiques s'est faite sans grands changements, de manière continue, depuis des laps de temps immémoriaux.

Pour leur part, géomorphologues et géologues ont tenu des raisonnements différents. Ils ont très rapidement reconnu en Afrique centrale des terrasses alluviales (Asselberghs, 1919 ; Lebedeff, 1932 ; Lepersonne, 1937...) que la découverte d'outillage préhistorique permettait d'attribuer au Quaternaire. L'existence de ces terrasses nécessite qu'aient eu lieu des alternances de périodes où des cours d'eau à faible compétence déposent leurs alluvions, puis d'épisodes où leur débit plus important permet à ces mêmes cours d'eau d'inciser leur lit. On en déduit bien évidemment que ces phénomènes ont les variations climatiques pour cause. Des travaux ultérieurs, menés essentiellement dans l'ancien Congo belge ont permis de tracer un cadre chronologique de ces variations (De Ploey, 1963, 1964, 1965, 1966 ; De Ploey et Van Moorsel, 1966 ; Mortelmans et Monteyne, 1962), cadre sans cesse affiné depuis (voir les 2<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> parties de cet ouvrage). Sans doute (trop) imprégnés par la théorie de la bio-rhexistase (Erhart, 1955, 1967), une partie des géomorphologues ont alors opposé des phases climatiques humides, à forte altération ferrallitique, à des phases sèches pendant lesquelles l'érosion prédomine et la pédogenèse est stoppée. Cette attitude est opposée à celle précédemment exposée.

Ces deux attitudes, extrêmes, ne peuvent guère être retenues. En ce qui concerne la première, on notera, par exemple, que le Congo a connu au cours des 70 ou 80

<sup>1</sup> Pédologue ; ORSTOM, B.P. 1286, Pointe Noire, Congo.

demiers millénaires 4 périodes climatiques alternativement sèches et humides. Des sols dont la durée d'évolution est un multiple de 100 millénaires ont ainsi connu au moins 5 périodes climatiques suffisamment contrastées pour les avoir marqués de leur empreinte (cf. infra). Pour ce qui est de la deuxième, l'arrêt de la pédogenèse eut nécessité un climat à la limite du désertique, ce qui n'a pas été le cas. A l'instar de Duchaufour (1983), il est plus raisonnable de considérer que la "ferrallitisation est un processus [plus ou moins] continu, parfois ralenti, parfois accéléré". C'est également l'avis de Martin et Volkoff (p.129 de cet ouvrage). Duchaufour (in litteris) reconnaît d'ailleurs que ce terme de "continu" est excessif, et qu'il vaudrait mieux dire "qu'il n'y a pas d'opposition entre les phases anciennes de la pédogenèse et les phases récentes, contrairement aux sols des régions tempérées".

Parmi les pédologues, l'action des variations paléoclimatiques sur l'altération et la pédogenèse ferrallitiques n'a guère été envisagée en Afrique Centrale que par Heinzelin (1952, 1954), Spurr (1954) dont l'étude porte cependant essentiellement sur le Tanganyika et Stoops (1967, et p. 136 de cet ouvrage). Segalen (1965) admet d'une manière générale que les sols ferrallitiques des régions relativement sèches ne sont pas placés dans les conditions climatiques qui leur ont donné naissance, mais estime par ailleurs que dans les zones humides, l'action possible de périodes sèches antérieures est rapidement oblitérée par celles du climat actuel. Au Cameroun, J.P. Muller (1978) étudie les variations d'organisation des horizons meubles de différents sols en fonction de leur âge et de leur ambiance physico-chimiques, mais analyse ces différences en fonction du climat actuel, attitude générale tant dans les travaux anciens que dans les plus récents (De Craene et Laruelle, 1955 ; Novikoff, 1974 ; Yongue, 1986...). Ce point apparaît par contre en filigrane d'une étude de D. Muller et al. (1980-1981) effectuée sur un sol du massif du Chaillu (Congo). Ces auteurs ont montré l'existence, au sein d'un même sol, de deux lignées génétiquement différentes de nodules\*, l'une actuelle, l'autre ancienne. Ils en concluent à la "complexité du développement historique des profils", sans préciser davantage. Ils concluent également à l'autochtonie totale du sol, alors qu'auparavant les discordances relevées avaient été interprétées comme la preuve de l'allochtonie des gravillons\*. A l'appui de la thèse de Muller et al. (1980-1981), on notera qu'il n'a jamais été possible jusqu'à présent d'observer d'industries préhistoriques dans les sols du Chaillu, ce qui eut constitué la preuve d'une allochtonie au moins partielle des horizons supérieurs. L'industrie n'apparaît qu'en contrebas, dans la stone-line des sols de bordure (Lanfranchi, 1990).

Si l'action des paléoclimats sur l'intensité et l'orientation des altérations n'a guère été étudiée en Afrique Cen-

trale — ce genre d'études n'est d'ailleurs guère aisée —, d'autres types d'influence des variations climatiques sur la géodynamique de la surface existent néanmoins. Les textes présentés ici en montrent trois catégories.

• **Formation des stone-lines\* et horizons de recouvrement\***. Nous ne reprendrons pas ici dans le détail cette discussion abondamment commentée dans cet ouvrage (Stoops, p. 136 ; Kuete, p. 161 ; Tamura, p. 298 ; Embrechts et De Dapper, p. 138 ; Lanfranchi et Schwartz, p. 248 ; Schwartz et Lanfranchi, p. 155). On consultera également les synthèses de Vogt et Vincent (1966), Stoops (1967), Bocquier et al. (1984) qui donnent une abondante bibliographie, et le cahier ORSTOM, série Pédologie, VII, 1 (1969) consacré à ce sujet. On rappellera simplement les deux observations fondamentales, à savoir (a) la grande parenté souvent relevée entre horizons de recouvrement et horizons d'altération, (b) la présence fréquente dans la stone-line d'éléments grossiers résiduels allochtones au profil, dont une partie est de l'industrie préhistorique. Ces deux faits, quelque peu antagonistes, rendent compte du relatif échec des théories expliquant la genèse des stone-lines, et plus généralement des sols remaniés, par un mécanisme unique. L'hypothèse la plus vraisemblable demeure en ce qui concerne la formation du recouvrement l'action conjointe de remontées biologiques et de remaniements latéraux à l'échelle du versant, la formation des stone-lines faisant elle appel à des mécanismes d'érosion, aboutissant en surface à la formation d'un pavage, et à des mécanismes de dissolution aboutissant à son approfondissement et aux traits morphologiques de sa partie inférieure. Quant aux sols ne présentant que des nodules et gravillons ferrugineux, certains arguments vont en faveur d'une origine autochtone.

Pavage d'érosion, transports latéraux sont liés aux variations paléoclimatiques, directement par l'intermédiaire des précipitations, indirectement par l'influence du couvert végétal. L'activité des termites elle-même est également liée au climat : les termites constructeurs de grands édifices épigés, auxquels on attribue en raison de leur volume un rôle primordial sur les possibles remontées de matériau, sont bien plus abondants dans les zones de savanes et en lisières des forêts.

Un point demeure en suspens, c'est celui de l'âge des stone-lines et des recouvrements. Lanfranchi et Schwartz (à paraître et p. 248 de cet ouvrage) estiment que la formation des stone-lines de la Sangha et du Mayombe congolais s'est faite au Maluekien (70000 ?- 40000 B.P.), et que celle du recouvrement a suivi de peu, sans doute lors de la transition Maluekien-Njilien. Ils se fondent sur l'absence au sommet de la stone-line d'industries plus récentes que celles de faciès sangoen. Ces auteurs n'excluent pas entièrement que des éléments plus anciens

aient pu être incorporés à la stone-line (Schwartz et Lanfranchi, p. 155). Au Gabon, Locko (p. 393) émet des hypothèses semblables, malgré l'avis de Peyrot et Oslisly (1986), qui estiment que le recouvrement est d'âge holocène. Au Zaïre, Stoops (1967 et p. 136 de cet ouvrage) estime également que la formation de la stone-line est ancienne, mais attribue un âge holocène au recouvrement, sur la base de la présence d'industries tshitoliennes au sein de ce recouvrement. On notera cependant que Stoops (ibid.) n'a jamais trouvé d'industries tshitoliennes à la base du recouvrement, ce qui à notre sens plaide pour une formation ante Holocène de ce niveau. Au Cameroun, Kadomura et al., (1986) estiment, également sur la foi de la présence de divers artefacts\* dans et à la base du recouvrement, que celui-ci s'est formé à l'Holocène, sous forêt, par colluvionnement, et sans doute également par action des termites. Ces assertions méritent qu'on s'y attarde. Rappelons d'abord avec Roose (1977) qu'une végétation forestière n'est pas favorable à l'érosion ou au colluvionnement. Cet auteur cite des chiffres obtenus sur parcelles de mesures expérimentales. Avec une pente de 4,5 %, les pertes en terre sont nulles, avec une pente de 23 % elles atteignent 100 kg/ha/an, avec des pentes extrêmes de 65 %, elles ne dépassent pas 1 tonne/ha/an. Si on admet que toute cette terre s'accumule sous forme de colluvions, et qu'il n'y a pas d'entraînement dans les cours d'eau — ce qui n'est évidemment pas le cas —, si on fait l'hypothèse par ailleurs qu'un mètre cube de terre pèse 1,5 tonnes, ordre de grandeur tout à fait raisonnable, on peut calculer qu'il faudrait 30000 ans pour aboutir à la formation d'un recouvrement de 2 m d'épaisseur, sous forêt, avec une pente de 65 %, et 300000 ans avec une pente de 23 %, chiffres bien évidemment incompatibles avec une formation Holocène de ce recouvrement. Par ailleurs, Tamura (p. 298 de cet ouvrage), qui cosigne l'article de Kadomura et al. (1986) a mis en évidence à proximité d'un volcan, un niveau stratigraphiquement bien défini de cendres volcaniques, daté d'environ 10000 B.P., en place au sein du recouvrement. La présence de ce niveau est une preuve formelle que toute la partie du recouvrement située au dessous est ante-Holocène. Comment expliquer alors le fait que Kadomura et al. (1986) ont trouvé au sein du recouvrement, mais également à sa base, des objets plus récents ? Il y a d'une part le fait que la plupart de ces objets sont épars, et non en niveaux stratigraphiquement bien individualisés, et qu'il existe différents phénomènes qui permettent d'expliquer la présence d'objets épars dans le sol ; il y a également le fait que certains objets y ont pénétré après formation du recouvrement : c'est le cas, par exemple, des poteries entières trouvées dans des fosses anthropiques ; il y a sans doute surtout le fait qu'il se produit toujours des remaniements locaux au sein d'un recouvrement : les savanes incluses du Mayombe, soumises à une intense érosion actuelle, nous montrent

d'excellents exemples de dynamique du matériau meuble de recouvrement à l'échelle du versant (Lanfranchi et Schwartz, à paraître ; Schwartz et al., p. 314 de cet ouvrage) : à certains endroits le recouvrement est entièrement découpé - ce qui permet l'incorporation éventuelle de divers artefacts à la surface de la stone-line ; ailleurs existent des marches d'érosion qui entaillent ce recouvrement en amont et provoquent en aval l'accumulation de ce matériau remobilisé, pour aboutir à un nouvel ensevelissement de la stone-line : il convient alors de distinguer l'objet épars, incorporé accidentellement à un ensemble plus ancien, de l'industrie préhistorique plus ancienne, omniprésente et dont la signification stratigraphique est plus nette.

Il nous semble ainsi que loin d'être close, la discussion demeure ouverte ; une synthèse reste à établir ici. Elle devra obligatoirement tenir compte de tous les aspects du problème : en premier lieu, la présence d'industries préhistoriques, dont il faudra établir si elles ont une signification stratigraphique ou non, parce qu'elles constituent le seul marqueur chronologique, mais également les phénomènes pédologiques et biologiques, les multiples transferts latéraux successifs dont la prise en compte doit permettre de dépasser la pure approche stratigraphique, ici trop simpliste, dans la mesure où les sols ne sont pas des matériaux inertes.

• **Phénomènes d'érosion.** La formation des stone-lines n'est qu'un des aspects de l'érosion. D'une manière plus générale l'érosion, ici d'origine hydrique, est perceptible de diverses manières : formation de reliefs typiques (Kuete, p. 161 ; Embrechts et De Dapper, p. 138), rajeunissement ou troncature de sols... Ces phénomènes sont particulièrement importants lorsque la végétation couvre peu le sol : la vallée du Niari, au Congo, en donne d'excellents exemples actuels. Encore faut-il que les précipitations soient suffisantes pour engendrer cette érosion. Pour l'instant on ignore le régime des pluies pendant les périodes sèches, mais comme le relève Kuete (p. 161) ou Lanfranchi et Schwartz (p. 248) une période paraît particulièrement favorable aux transferts latéraux de matière : c'est la période de transition entre un épisode sec et un épisode humide, période où les précipitations, déjà plus abondantes, tombent sur des sols encore peu protégés par la végétation. Ce fait n'est plus une simple hypothèse de travail : Gresse et al. (1982) ont ainsi montré que la sédimentation au large du fleuve Congo avait connu un maximum avec le début de la reprise humide Holocène. Sur les sols sableux, il semble par contre que c'est pendant les périodes humides que l'érosion est la plus intense, en raison de la faiblesse du ruissellement dans ces sols extrêmement drainants (Schwartz et Lanfranchi, p. 167 de cet ouvrage).

• **Evolution des reliefs.** Embrechts et De Dapper (p.138), Kuete (p. 161), Preuss (p. 260), Schwartz et Lanfranchi (p. 167) nous donnent des exemples où l'évolution des reliefs est liée à des transports de matière à l'état solide, à la surface des sols. On rappellera également ici les travaux de Guillot et Peyrot (1979), et ceux de Sautter (1970) sur les phénomènes de morphogénèse plus ou moins brutaux qui affectent les formations sableuses. La genèse des reliefs n'est cependant pas entièrement liée à des facteurs externes au sol ; les phénomènes d'altération et de pédogénèse y contribuent également. Des exemples démonstratifs en ont été donnés en Afrique de l'Ouest (Millot, 1977 ; Boulet et al., 1977 ; Bocquier et al., 1977 ; Chauvel et al., 1977 ; Leprun, 1977 ; Nahon et Millot, 1977). En Afrique équatoriale, ce genre d'études est encore relativement rare et dans l'ensemble moins précis en ce qui concerne l'analyse des processus, la récente thèse de Bilong (1988) faisant exception. On citera les articles de Bocquier et Boissezon sur la genèse des pseudo-dolines du pays Batéké (voir également dans cet ouvrage Schwartz et Lanfranchi, p. 167), celui de Segalen (1969) sur le festonnement de la stone-line et de la surface du sol par érosion chimique, ceux enfin de Quinif (1985, 1986) sur la genèse des karsts quaternaires du Zaïre. On notera également que la présence de cuirasses tabulaires est un facteur de conservation du relief, comme le montre par exemple Boulvert (1983) en Centrafrique. Plus qu'ailleurs, il reste ici à réaliser la symbiose entre géomorphologues et pédologues, symbiose qui est d'ailleurs en général assez récente, comme le rappellent Bornand et Icole (1984).

On peut résumer cette discussion en quelques mots. En Afrique équatoriale se télescopent, ou mieux, se surimposent, des phases évolutives de "longueurs d'onde" très différentes. Le processus fondamental de la pédogénèse est, à l'échelle de la centaine de milliers d'années, la ferrallitisation, parfois accélérée, parfois ralentie. S'y surimposent, à l'échelle de la dizaine de milliers d'années, d'autres phénomènes, énumérés ci-dessus, qui contribuent à la différenciation de certains sols ferrallitiques (sols remaniés, sols rajeunis,...). Le même raisonnement tient sans aucun doute pour l'évolution des reliefs : à l'échelle de la dizaine de milliers d'années, les processus de transports latéraux de matière sous forme solide concourent à la formation de terrasses, de glacis, de collines,... à l'échelle supérieure à la centaine de milliers d'années, l'altération ferrallitique provoque, par érosion chimique, l'exportation d'une masse considérable de produits transportés sous forme soluble dans les cours d'eau, et concourt par là également à la formation des reliefs. A cette même échelle de temps, l'entraînement, jusqu'à la mer, de kaolinites\* fines, déstabilisées et dispersées dans le sol par de la matière organique (Roose, 1981) est également un facteur d'évolution des reliefs.

Il reste, pour être complet, à sceller en quelques mots le sort de sols stationnels : sols alluviaux, tourbes et podzols\*, dont l'étude présente de nombreux intérêts pour le Quaternariste.

Sols alluviaux (Preuss, p. 260) et tourbes (Elenga et Vincens, p. 271) constituent de bons marqueurs paléoenvironnementaux, mais plus que le sol c'est le matériau, le sédiment, qui est l'objet d'étude.

Deux exemples de podzols hydromorphes tropicaux, pris sur sables Bateke (Schwartz, p. 183) et sur sables côtiers (Schwartz et al., p. 283) nous ont montré l'intérêt de ces sols dans le cadre d'études paléoécologiques. A l'instar de leurs frères des milieux tempérés et boréaux (Souchier, 1984), et contrairement aux sols ferrallitiques, ils se forment très rapidement et constituent d'excellents mémoires des variations paléoclimatiques, en ce sens qu'ils réagissent rapidement aux variations de milieu (changements de végétation, de régime hydrique,...) qu'ils ont de plus la faculté d'archiver de façon très lisible. Bien que d'extension spatiale à chaque fois très réduite, ils n'en constituent pas moins des taches plus ou moins importantes réparties dans toute l'Afrique centrale atlantique (voir Schwartz, p. 52 de cet ouvrage), et constituent ainsi de précieux auxiliaires potentiels pour le Quaternariste. En Amérique du Sud, différents travaux (Boulet et al., 1984 ; Lucas et al., 1987) ont montré que la transformation de couvertures pédologiques ferrallitiques en podzols concourrait à la morphogénèse des paysages. Bien que le modèle amazonien de podzolisation décrit par ces auteurs semble différent de celui décrit par exemple au Congo (Schwartz, 1987, 1988), de telles études restent à entreprendre en Afrique centrale, de même qu'il reste à établir en Amérique du Sud si la formation de ces systèmes de transformation est influencée par les variations paléoclimatiques.

## REMERCIEMENTS

*La discussion sur l'âge des stone-lines est venue compléter ce texte après un échange de vues avec J. Maley.*

## BIBLIOGRAPHIE

- ASSELBERGHS E., 1919.- Observations géologiques dans le bassin du Kwango. Ann. Soc. Géol. Belg., Publ. rel. Congo belge, 42, 81-109.
- BILONG P., 1988.- Genèse et développement des sols ferrallitiques sur syénite alcaline potassique en milieu forestier du Centre-Sud-Cameroun. Comparaison avec les sols ferrallitiques développés sur roches basiques. Thèse Doct. Sciences, Université de Yaoundé.
- BOCQUIER G. et BOISSEZON P. de, 1959.- Note relative à quelques observations pédologiques effectuées sur le plateau Batéké (région du Pool, Républ. du Congo). ORSTOM, Brazzaville, 19 p.
- BOCQUIER G., MULLER J.P. et BOULANGE B., 1984.- Les latérites. Connaissances et perspectives actuelles sur les mécanismes de leur différenciation. In: Livre Jubilaire du Cinquantenaire, p. 123-138, AFES, Plaisir, France.
- BOCQUIER G., ROGNON P., PAQUET H. et MILLOT G., 1977.- Géochimie de la surface et formes du relief. II. Interprétation pédologique des dépressions annulaires entourant certains inselbergs. Sci. Géol. Bull., 30, 4, 245-253.
- BORNAND M. et ICOLE M., 1984.- Les relations "Pédologie-Géomorphologie-Géologie du Quaternaire". Apports réciproques. In : Livre Jubilaire du Cinquantenaire, AFES, Plaisir, France, p. 141-152.
- BOULAD A.P., MULLER J.P. et BOCQUIER G., 1977.- Essai de détermination de l'âge et de la vitesse d'altération d'un sol ferrallitique camerounais à l'aide de la méthode du déséquilibre radioactif uranium-thorium. Sci. Géol. Bull., 30, 3, 175-188.
- BOULET R., BOCQUIER G. et MILLOT G., 1977.- Géochimie de la surface et formes du relief. I. Déséquilibre pédobioclimatique dans les couvertures pédologiques de l'Afrique tropicale de l'Ouest et son rôle dans l'aplanissement des reliefs. Sci. Géol. Bull., 30, 4, 235-243.
- BOULET R., CHAUVEL A. et LUCAS Y., 1984.- Les systèmes de transformations en pédologie. In: Livre Jubilaire du Cinquantenaire, AFES, Plaisir, p. 167-179.
- BOULVERT Y., 1983.- Notice explicative n° 100. Carte pédologique de la République Centrafricaine à 1/1.000.000. ORSTOM, Paris, 126 p. + 2 cartes h.t.
- BOURGEAT F. et RATSIMBAZAFY C., 1975.- Retouches à la chronologie du Quaternaire continental de Madagascar. Conséquences sur la pédogenèse. Bull. Soc. Géol. France, 7, XVII, 4, 554-561.
- CHAUVEL A., BOCQUIER G. et PEDRO G., 1977.- Géochimie de la surface et formes du relief. III. Les mécanismes de la disjonction des constituants des couvertures ferrallitiques et l'origine de la zonalité des couvertures sableuses dans les régions intertropicales de l'Afrique de l'Ouest. Sci. Géol. Bull., 30, 4, 255-263.
- CORBEL J., 1951.- Erosion chimique des granites et silicates sous climats chauds. Rev. Géogr. phys. Géol. dyn., 1, 2, 4-8.
- DE CRAENE A. et LARUELLE J., 1955.- Genèse et altération des Latosols équatoriaux et tropicaux humides. Les observations sur le terrain en relation avec les observations microscopiques. Bull. Agric. Congo belge, XLVI, 5, 1113-1243.
- DE PLOEY J., 1963.- Quelques indices sur l'évolution morphologique et paléoclimatique des environs du Stanley Pool (Congo). Studia Universitatis Lovanium, n° 17, Léopoldville, 16 p.
- DE PLOEY J., 1964.- Nappes de gravats et couvertures argilo-sableuses du Bas-Congo: leur genèse et l'action des termites. In : A. Bouillon (éd.), Etudes sur les termites africains. Editions de l'Université, Léopoldville (Kinshasa), p. 400-414.
- DE PLOEY J., 1965.- Position géomorphologique, genèse et chronologie de certains dépôts superficiels du Congo occidental. Quaternaria, 7, 131-154.
- DE PLOEY J., 1966-68.- Report on the Quaternary of the western Congo. Palaeoecol. Africa, 4, 65-68
- DE PLOEY J. et VAN MOORSEL H., 1966.- Chronologie préhistorique des environs de Léopoldville. Actes V° Cong. Panaf. Préhist. Et. Quat., Ténériffe, p. 219-224.

- DUCHAUFOUR P., 1983.- Pédologie. T. 1 : Pédogenèse et classification. Masson, Paris, 2<sup>e</sup> éd., 491 p.
- ERHART H., 1955.- "Biostasie" et "Rhexistasie". Esquisse d'une théorie sur le rôle de la pédogenèse en tant que phénomène géologique. C.R. Acad. Sci. Paris, t. 241, 1218-1220.
- ERHART H., 1967.- La genèse des sols en tant que phénomène géologique. Esquisse d'une théorie géologique et géochimique, biostasie et rhexistasie. Masson, Paris, 177 P.
- GAC J.Y. et PINTA M., 1973.- Bilan de l'érosion et de l'altération en climat tropical humide. Estimation de la vitesse d'approfondissement des profils. Etude du bassin versant de l'Ouham (R.C.A.). Cah. ORSTOM, sér. Géol., V, 1, 83-96.
- GIRESSÉ P., BONGO-PASSI G., DELIBRIAS G. et DUPLESSY J.C., 1982.- La lithostratigraphie des sédiments hémipélagiques du delta du fleuve Congo et ses indications sur les paléoclimats de la fin du Quaternaire. Bull. Soc. Géol. France, 7, XXIV, 4, 803-815.
- GUILLOT B. et PEYROT B., 1979.- Etude du fonctionnement des vallées sèches du plateau de Mbé (Congo). Problèmes hydrologiques et morphologiques. Cah. ORSTOM, sér. Sci. Hum., XVI, 3, 205-231.
- HEINZELIN J. de, 1952.- Sols, paléosols et désertifications anciennes dans le secteur nord-oriental du bassin du Congo. Publ. INEAC, Bruxelles, 168 p.
- HEINZELIN J. de, 1954.- Les horizons d'altération anciens, critères stratigraphiques en Afrique centrale. Comm. V<sup>e</sup> Cong. Int. Sci. Sol., Léopoldville, IV, 435-440.
- KADOMURA H., HORI N., KUETE M., TAMURA T., OMI G., HARUKI M. et CHUJO H., 1986.- Late-Quaternary environmental changes in Southern Cameroon : a synthesis. In : H. Kadomura (éd.): Geomorphology and environmental changes in tropical Africa. Case studies in Cameroon and Kenya, Hokkaido University Spec. Publ. n<sup>o</sup> 4, p. 145-158.
- LANFRANCHI R., 1990.- L'homme préhistorique et son environnement en Afrique centrale atlantique. Thèse Doct. Lettres, Univ. Paris I, en préparation.
- LANFRANCHI R. et SCHWARTZ D., à paraître.- L'évolution du Mayombe congolais à la fin du Quaternaire. Nouvelles données géomorphologiques, pédologiques et préhistoriques. Pour : Cah. ORSTOM, sér., Pédol.
- LEBEDEFF V., 1932.- Les "terrasses" du Moyen Congo, composition minéralogique du gravier. Chron. Min. Col., 1, 218-222.
- LENEUF N., 1959.- L'altération des granites calco-alcalins et des granodiorites en Côte d'Ivoire forestière, et les sols qui en sont dérivés. Thèse Doct. Sci., Paris, 210 p.
- LENEUF N. et AUBERT G., 1960.- VII<sup>e</sup> Congr. ISSS, Madison, 4, comm. V-31, 225-228.
- LEPERSONNE J., 1937.- Les terrasses du fleuve Congo et leurs relations avec d'autres régions de la Cuvette congolaise. Inst. royal belge, sect. Sc. Nat. et Med., Mém. in 8<sup>e</sup>, T. VI, fasc. 2, 67 p.
- LEPRUN J.C., 1977.- Géochimie de la surface et formes du relief. IV. La dégradation des cuirasses ferrugineuses. Etude et importance du phénomène pédologique en Afrique de l'Ouest. Sci. Géol. Bull., 30, 4, 265-273.
- LUCAS Y., BOULET R., CHAUVEL A. et VEILLON L., 1987.- Systèmes sols ferrallitiques-podzols en région amazonienne. In : D. Righi et A. Chauvel (éds.), Podzols et podzolisation, AFES-INRA, p. 53-65.
- MILLOT G., 1977.- Géochimie de la surface et formes du relief. Présentation. Sci. Géol. Bull., 30, 4, 229-233.
- MORTELMANS G. et MONTEYNE R., 1962.- Le Quaternaire du Congo occidental et sa chronologie. Actes IV<sup>e</sup> Congr. Panaf. de Préhistoire Et. Quaternaire, Musée royal Afrique Centrale, Tervuren, Belgique, Ann. in 8<sup>e</sup>, Sci. Hum., n<sup>o</sup> 40, 97-132.
- MULLER D., BOCQUIER G., NAHON D. et PAQUET H., 1980-81.- Analyse des différenciations minéralogiques et structurales d'un sol ferrallitique à horizons nodulaires du Congo. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XVIII, 2, 87-109.

- MULLER J.P., 1978.- La séquence verticale d'organisation des horizons meubles des sols ferrallitiques camerounais. Variation en latitude en fonction du pédoclimat et de l'âge des sols. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XVI, 1, 73-82.
- NAHON D. et MILLOT G., 1977.- Géochimie de la surface et formes du relief. V. Enfoncement géochimique des cuirasses ferrugineuses par épigénie du manteau d'altération des roches mères gréseuses. Influence sur le paysage. Sci. Géol. Bull., 30, 4, 275-282.
- NOVIKOFF A., 1974.- L'altération des roches dans le massif du Chaillu (République Populaire du Congo). Formation et évolution des argiles en zone ferrallitique. Thèse Doct. Sci., Univ. Strasbourg, 298 p.
- OWENS L.B. et WATSON J.P., 1979.- Soil Sci. Soc. Amer. J., 43, 1, 160-166.
- PEYROT B. et OSLISLY R., 1986.- Recherches récentes sur le paléoenvironnement et l'archéologie du Gabon, 1982-1985. L'Anthropologie, 90, 2, 201-210.
- QUINIF Y., 1985.- Une morphologie karstique typique en zone intertropicale : les karsts du Bas-Zaïre. Karstologia, 6, 43-52.
- QUINIF Y., 1986.- Genèse des karsts à tours en pays intertropicaux : l'exemple du Bas-Zaïre. Ann. Soc. Géol. Belg., 109, 515-527.
- ROOSE E., 1977.- Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. Vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales. Travaux et Documents n° 78, ORSTOM, Paris, 108 p.
- ROOSE E., 1981.- Dynamique actuelle de sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale. Trav. Doc. n° 130, ORSTOM, Paris, 569 p.
- SAUTTER G., 1970.- Essai sur les formes d'érosion en "cirques" dans la région de Brazzaville (R.P. du Congo). Mémoires et Documents CNRS, année 1969, vol. 9, Paris, 170 p.
- SCHWARTZ D., 1987.- Les podzols tropicaux sur sables Bateke en R.P. du Congo. Description, caractérisation, genèse, In : D. Righi et A. Chauvel (éds.), Podzols et Podzolisation, AFES-INRA, p. 25-36.
- SCHWARTZ D., 1988.- Some podzols on Bateke sands and their origins, People's republic of Congo. Geoderma, 43, 229-247.
- SEGALEN P., 1965.- Les produits alumineux dans les sols de la zone tropicale humide. II. Les sols de la zone intertropicale humide et la genèse des produits alumineux. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., III, 3, 179-205.
- SEGALEN P., 1969.- Le remaniement des sols et la mise en place de la "stone-line" en Afrique. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., VII, 1, 113-127.
- SIEFFERMANN G., 1969.- Les sols de quelques régions volcaniques du Cameroun. Thèse Doct. Sci., Univ. Strasbourg, et Mémoire n° 66 (1973), ORSTOM, Paris, 183 p.
- SOUCHIER B., 1984.- Les podzols et la podzolisation en climats tempérés et montagnards. In : Livre Jubilaire du Cinquantenaire, p. 77-96, AFES, Plaisir.
- SPURR A.M.M., 1954.- A basis of classification of the soils of areas of composite topography in central Africa with special reference to the soils of the southern highlands of Tanganyika. C.R. 2° Conf. Interf. Sols, 1, 175-192.
- STOOPS G., 1967.- Le profil d'altération au Bas-Congo (Kinshasa). Pédologie, 17, 1, 60-105.
- TROY J.P., 1979.- Pédogenèse sur roches charnockitiques en région tropicale humide de montagne (Inde). Thèse Doct. Sc., Univ. Nancy I, 340 p.
- VAN WAMBECKE A., 1973.- In : Pseudogley and gley. C.R. Cong. I.I.S.S., Stuttgart, Com. V et VI, 357-362. Verlag Chemie GmbH, Weinheim.
- VOGT J. et VINCENT P.L., 1966.- Terrains d'altération et de recouvrement en zone intertropicale. Bull. BRGM, 4, 1-111.
- YONGUE R., 1986.- Contribution à l'étude pétrologique de l'altération et des faciès de cuirassement ferrugineux des gneiss migmatitiques de la région de Yaoundé. Thèse, Univ. Yaoundé, 214 p.