Journée d'étude – Studiedag
«Stone-lines»
(Bruxelles, 24.III.1987, Brussel)
Académie royale des Sciences d'Outre-Mer
Koninklijke Academie voor Overzeese Wetenschappen
pp. 97-108 (1989)

Geo-Eco-Trop.
11 (1987, n° 1-4) : 97-108
publ. 1989

RÔLE DES TERMITES DANS LA FORMATION DU COMPLEXE DE LA STONE-LINE

PAR

J. SOYER *

RÉSUMÉ. – Le complexe de la stone-line a été considéré comme formé entièrement par l'activité des termites (interprétation ultratermitiste), ou partiellement (interprétation termitiste) ou de manière peu importante (interprétation antitermitiste). Les arguments en faveur d'une origine termitique de la couverture meuble superficielle sont basés essentiellement : 1) sur la similitude granulométrique, morphoscopique et minéralogique du matériel au-dessus et en dessous de la nappe d'éléments grossiers ; 2) sur l'extension et l'importance des volumes de terre remontés par les animaux fouisseurs ; 3) sur la bioturbation attestée par la micromorphologie. Les divergences d'interprétation concernant la formation de la nappe de cailloux sont examinées. Les objections des antitermitistes sont rappelées et permettent de cerner les questions qui doivent encore être approfondies.

SAMENVATTING. – *Rol van de termieten in de vorming van het stone-line complex.* – Er werd aangenomen dat het stone-line complex volledig gevormd werd door de activiteit van de termieten (ultratermitische interpretatie) of gedeeltelijk (termitische interpretatie) of op weinig belangrijke wijze (antitermitische interpretatie). De argumenten in het voordeel van een termitische oorsprong van de bovenste losse laag steunen vooral : 1) op de granulometrische, morfoscopische en mineralogische gelijkvormigheid van het materiaal boven en onder de laag van grove elementen, 2) op de omvang en de belangrijkheid van de hoeveelheden aarde door de graafdieren naar de oppervlakte gebracht ; 3) op de bioturbatie bewezen door de micromorfologie. Het verschil van interpretatie over de vorming van de stone-line wordt onderzocht. De bezwaren van de antitermietisten worden aangegeven en maken het mogelijk de vragen te omlijnen die nog moeten uitgediept worden.

SUMMARY. – *Termites action in the formation of the stone-line complex.* The stone-line complex has been interpreted as formed entirely by termite activity («ultratermitist» model) or partially formed by termite activity («termitist» model) or with very slight influence from termites («antitermitist» model). The evidence in favour of the termite origin of the cover formation is based 1) on granulometry, morphoscopy and mineralogy similarities with the

* Avenue des Floralies 89 bte 145, B-1200 Bruxelles (Belgique).

formations above and under the stone-layer ; 2) on the extension and volume of fine particles brought up by burrowing animals ; 3) on bioturbation artefacts detected by micromorphological techniques. The discrepancies in the interpretation of the gravel layer are also discussed. The objections against the importance of termite activity help to draw attention to the questions still to be answered.

Les agents pédobiologiques agissant dans les régions tropicales sont variés, nombreux et efficaces (HOLE 1981). Des quantités importantes de particules minérales peuvent être déplacées non seulement par les Lumbricidae mais aussi par les fourmis, les rats-taupes et surtout les termites. Les divers aspects des relations entre les termites et les sols ont été passés en revue par LEE & WOOD (1971), BACHELIER (1978) et complétés pour les travaux récents par WIELEMAKER (1984). Les travaux consacrés à l'action des termites sur les sols représentent un quart des 7 000 publications répertoriées sur les Isoptères (GARNIER-SILLAM 1987).

En ce qui concerne le rôle particulier des termites dans la genèse du complexe de la stone-line (C.S.L.), les opinions sont extrêmement divergentes. Trois tendances principales peuvent cependant être dégagées, qu'on pourrait qualifier d'ultratermitiste, de termitiste et d'antitermitiste, selon que la totalité du complexe de la stone-line est interprétée comme d'origine termitique, ou seulement la couverture superficielle composée d'éléments fins, ou au contraire que l'action des animaux fouisseurs n'a eu que des effets très limités. La présente mise au point visera donc à examiner les arguments avancés dans les trois types d'interprétation sans chercher d'ailleurs à classer les auteurs dans l'une ou l'autre catégorie. Dans cette optique, des observations effectuées en faveur d'opinions termitistes ou ultratermitistes peuvent être convergentes sur un point et seront donc regroupées.

Interprétation ultratermitiste

Le C.S.L. comprend trois unités principales :

1. une couverture meuble superficielle composée essentiellement d'éléments fins (niveau A d'après la classification de STOOPS 1967 ; voir aussi les remarques d'ALEXANDRE & SOYER 1989, sur la terminologie des stone-lines) ;
2. une couche intermédiaire de fragments grossiers (S.L. *sensu stricto*, niveau B) ;
3. des formations sous-jacentes constituées de matériaux fins provenant de la roche altérée (niveau C).

D'après les ultratermitistes, la différenciation même en trois niveaux résulterait de l'activité des termites ; cette position est défendue par exemple par NYE (1955) ou WATSON (1974).

Les Isoptères et particulièrement certains Macrotermitinae remontent en effet en surface des produits fins pour la construction du nid épigé. Les fragments grossiers dans le manteau d'altérites descendraient ainsi progressivement par gravité lorsque les particules fines sont enlevées par en-dessous. Une accumulation de débris grossiers se produirait donc à la base de la zone d'intense activité par les termites.

L'opinion des termitistes rejoint partiellement celle des ultratermitistes en ce qui concerne l'origine termitique de la couverture superficielle, en sorte que leurs arguments communs peuvent être confondus :

1. SIMILITUDE DE MATÉRIEL

On constate une similitude du matériel au-dessus et au-dessous de la nappe d'éléments grossiers dans des régions de roches contrastées et à topographie inégale.

1.1. *Granulométrie*

On observe une analogie texturale entre la couverture meuble et la roche altérée ; par exemple VINCENT (1966) a signalé au Gabon et au Congo une proportion systématiquement plus élevée de sable sur substrat granitique et au contraire une proportion plus élevée d'argile sur les schistes et les marnes.

1.2. *Morphoscopie*

Les caractères morphoscopiques des formations superficielles peuvent correspondre étroitement à ceux des roches du substrat. C'est ainsi que VINCENT (1966) a relevé que sur le socle granitique de Chaillu et les schistes métamorphiques de Mayoko, des formations du niveau A contenaient presque exclusivement des grains non-usés d'origine locale. Ailleurs, sur des terrains sédimentaires, on observe dans la couverture meuble comme dans la roche altérée des grains ronds-mats vraisemblablement éolisés. Ailleurs encore, dans les formations littorales de la Pointe Panga, on observe 26% d'émoussés-luisants (façonnement en milieu marin ou fluviatile) dans le niveau A et 20% dans le niveau C. L'auteur note cependant que les caractères morphoscopiques sont parfois différents dans les niveaux A et C, ce qui permet de déceler des apports latéraux.

1.3. *Indices de minéralisation et minéraux lourds*

Comme le signale VOGT (1966), la prospection minière tient compte depuis longtemps de la remontée de minéraux lourds par les termites ; le lavage de la terre de termitière a permis par exemple la découverte de gisements d'or au Brésil ou de cassitérite au Zimbabwe.

Au Zimbabwe encore, WATSON (1974) a examiné, sur un transect de 13 km, les termitières reposant sur une couche de sable de type «Kalahari» masquant des gisements minéralisés ; des anomalies en plomb, or, molybdène, argent et zinc ont été découvertes dans certaines termitières de *Macrotermes*, d'*Odontermes* et de *Rhadinotermes*.

Cet enrichissement est très probablement lié au fait que les termites incorporent une charge de particules grossières dans la fabrication du béton de leurs édifices épigés. Au Shaba par exemple, les tumuli de *Macrotermes falciger* contiennent en moyenne 15% de matériaux de texture sableuse, quelle que soit la nature du substrat (ALONI 1975).

En ce qui concerne les minéraux lourds, WIELEMAKER (1984) a mis par exemple en évidence que sur la surface d'érosion de Magombo (Kenya), les épidotes et les zircons provenant du substrat andésitique étaient dispersés sur une épaisseur de plus de 10 m dans les cendres volcaniques susjacentes. BOYER (1975) signale aussi dans des termitières de *Macrotermes bellicosus* de l'Ubangi la présence de la tourmaline et du grenat, qui ne se retrouvent que dans la zone de décomposition de la roche. GARNIER-SILLAM (1987) constate un taux exceptionnel de 6% de manganèse, d'origine inconnue, dans la fraction minérale de déjections de *Macrotermes mülleri* en forêt du Mayombe au Congo-Brazzaville. Comme des gisements de manganèse existent dans les environs (à Belinga), l'auteur note qu'il faudrait envisager une action verticale de creusement des termites beaucoup plus importante que celle qu'on suppose généralement.

1.4. *Minéralogie des argiles*

De nombreux cas ont été décrits où le spectre minéralogique était similaire dans les niveaux A et C, tout en variant suivant le substrat.

VINCENT (1966) déduit par exemple des analyses se rapportant aux coupes de la voie ferrée COMILOG décrites par LAPORTE (1962) et d'autres sites du Gabon et du Congo qu'à l'échelle des formations géologiques il existe des relations systématiques entre les compositions des fractions argileuses des niveaux A et C, de part et d'autre de la S.L. sensu stricto. Sur les granito-gneiss, la kaolinite est mieux représentée que les minéraux micacés tandis que la gibbsite constitue un minéral secondaire. Sur les

schistes, la kaolinite prédomine dans un secteur très métamorphisé tandis que les minéraux micacés sont en outre bien représentés dans un autre secteur moins métamorphisé. Sur les roches sédimentaires, les minéraux micacés tendent à prédominer avec cependant un appauvrissement fréquent dans le niveau A par rapport au niveau C, qui pouvait être interprété comme une conséquence de l'altération météorique superficielle ou un effet d'un gradient décroissant depuis la source du matériel jusqu'à la surface.

2. Étendue de l'activité des termites

L'activité des termites s'effectue parfois sur une grande étendue et aboutit au déplacement de volumes considérables de matériaux fins.

2.1. Le volume des terres ramenées au-dessus du sol est variable suivant les régions. Ainsi, au Nord-Transvaal, *Cubitermes pretorianus* immobilise 2,0 à 2,6 t.ha^{-} (Ferrar 1982), au Burkina Faso, *Trinervitermes geminatus* 6 à 9 t.ha^{-1} (Roose 1981) et à Yangambi (Zaïre), *Cubitermes fungifaber* 17 t.ha^{-1} (Maldague 1964). Avec 4 à 5000 petites termitières à l'hectare, les *Cubitermes div. sp.* immobilisent jusqu'à 24 t.ha^{-1} dans le Sud-Shaba, au Zaïre (Aloni & Soyer 1987). Quant aux Macrotermitinae, ils remontent au-dessus de la surface du sol des quantités de particules minérales de loin plus importantes. La densité des tumuli attribués à *Macrotermes falciger* au Shaba varie entre 1 à 5 ha^{-1} (Aloni *et al.* 1981), avec un volume moyen par tumulus de 450 m^3 dans les environs de Lubumbashi (Sys 1957) ; des termitières dépassant 1000 m^3 ne sont pas exceptionnelles. Une région encore plus favorable aux Macrotermitinae est l'Ubangi où Boyer (1975) a dénombré de 10 à 12 grandes termitières à l'hectare.

Des évaluations ont été faites concernant l'importance du transfert de matériel de la zone d'altération à la couverture superficielle. Sur base des observations de la bioturbation actuelle, Nye (1955) estime par exemple que les termites remontent au SW Nigeria l'équivalent d'une couche de 25 mm de terre en 1000 ans. De même les observations sur l'activité d'*Amitermes vitiosus* au N Queensland (Australie), amènent Holt *et al.* (1980) à estimer l'accumulation de terre à 0,025-0,50 mm par an. J. de Heinzelin (1955) se base sur la vitesse de reconstruction de tumuli de *Macrotermes bellicosus* à l'E du Zaïre et avance des ordres de grandeur pour les vitesses de recouvrement de 50 mm en 1000 ans dans des champs de 10 termitières à l'hectare. En se basant sur la position des industries lithiques au Bas-Zaïre, De Ploey (1964) évalue l'apport des termites aux terrains de couverture entre 10 et 20 cm par millénaire. Les estimations de transfert les plus élevés

ont été avancées par BOYER, qui évalue que les épaisseurs des recouvrements par *Macrotermes natalensis* en Ubangi seraient de 15 à 20 m en 1000 ans et par *M. bellicosus* de 40 à 50 m durant la même période. On reviendra dans la discussion sur les incertitudes liées à ces estimations.

2.2. Les termites sont parfaitement capables de descendre à grande profondeur pour y chercher non seulement de l'eau, mais pour remonter de la terre humide, voire des fragments de roche décomposée. GRASSÉ et NOIROT (1969) ont signalé l'extension de galeries jusqu'à 10 m de profondeur, BOYER (1975) jusqu'à 10 à 12 m et pour la recherche d'eau jusqu'à 23 m (WATSON 1972), 30 m (MARAIS 1937) et même 50 m en savane sahélienne du Sénégal (LEPAGE 1974).

2.3. La nappe de débris grossiers apparaît systématiquement déprimée sous les tumuli (DE HEINZELIN 1955 ; DE PLOEY 1964 ; WATSON 1967 ; BOYER 1973 et d'autres), ce qui pourrait être interprété comme un phénomène de tassement consécutif à un enlèvement plus important de matériaux fins au niveau du «puits d'extraction» (BOYER 1975).

De même, quand il existe un dépôt de galets de terrasse recouverts par des formations superficielles fines, l'activité des animaux fouisseurs est révélée notamment par un dérangement ou plus souvent une disparition des structures fluviatiles comme l'orientation des galets.

2.4. La présence d'une couverture meuble susjacente aux éléments grossiers sur les sommets topographiques a été avancée comme argument en faveur de l'action des animaux fouisseurs.

DE PLOEY (1964) par exemple considère que les formations superficielles, qui recouvrent la S.L. sur les sables de type «Kalahari» dans certaines régions du Zaïre occidental, n'ont probablement pas une origine éolienne, en raison de la ressemblance entre le matériel au-dessus et au-dessous de la S.L. Comme d'autre part une origine colluviale impliquerait la disparition de reliefs ayant constitué la source des produits étalés par un ruissellement actif, une origine termitique de la couverture meuble semble dans ce cas la plus vraisemblable.

3. MICROMORPHOLOGIE

La micromorphologie a apporté des données nouvelles sur l'importance de la bioturbation par les termites. WIELEMAKER (1984) a observé par exemple au Kenya deux types de boulettes faites par les termites : a) des boulettes bien arrondies et lisses de 40 à 80 μm de diamètre du même aspect

que celles qui servent à fabriquer les meules des champignons ; elles ont une origine fécale ; b) des boulettes de 200 à 800 µm de diamètre, de forme irrégulière mais à surface lisse, apparemment formées par les mandibules des ouvriers. Ces boulettes s'observent comme matériaux de remplissage des galeries jusqu'à la roche altérée. La structure arquée du matériel comprimé dans les galeries suggère bien une action des termites. La densité des boulettes d'origine termitique diminue fortement dans les sols bien drainés depuis la surface jusqu'à quelques décimètres de profondeur, puis reste ensuite presque constante ou diminue faiblement jusqu'à la S.L. Au-dessous de la S.L., la proportion de boulettes diminue avec la profondeur, en relation avec une proportion accrue de roche altérée. À Wanjare (W. Kenya) par exemple, des boulettes s'observent jusqu'à 350 cm de profondeur et à 35 cm sous la S.L. Ces boulettes contiennent de l'humus finement divisé ainsi que des minéraux d'opale phytolithique, qui indiquent clairement une provenance de l'horizon superficiel. En analysant les micro-agrégats du type «agglutinique» de sols tropicaux, ESCHENBRENNER (1985) observe de fortes ressemblances avec la taille, la forme et les microstructures élémentaires et secondaires des matériaux fabriqués et assemblés par les termites. Comme ces assemblages de type agglutinique n'ont pu être reproduits expérimentalement en conditions abiotiques (CHAUVEL 1976), ces micro-agrégats constitueraient un précieux indice pour valuer l'extension de l'activité pédogénétique des termites dans les sols.

En ce qui concerne la formation de la nappe à éléments grossiers, les ultratermitistes estiment que le prélèvement des particules fines en profondeur et leur remontée vers la surface aboutit finalement à la concentration en un niveau grossier, qui marquerait précisément la base d'une intense activité termitique (NYE 1955). Il conviendra de revenir dans la discussion sur les mécanismes de concentration in situ des fragments grossiers dispersés dans les formations superficielles.

Interprétation termitiste

Les tenants de l'interprétation termitiste considèrent que la genèse du niveau A est indépendante de celle du niveau B.

La couche d'éléments grossiers résulterait d'un triage par ruissellement, par ravinement en rigoles, ou même par action fluviatile. Cette formation subautochtone ou allochtone aurait, en toute hypothèse, séjourné pendant un certain temps en surface (DE HEINZELIN 1952). D'après les termitistes, les agents biologiques ne joueraient un rôle significatif que dans l'accumulation

des formations meubles de couverture. Cette interprétation est renforcée par le fait que la partie supérieure de la couche caillouteuse est souvent constituée d'éléments ferruginisés alors que les fragments de la roche altérée sont concentrés plutôt dans la partie inférieure (VINCENT 1966). Tous les arguments en faveur de l'origine termitique du niveau A seraient à reprendre ici.

On peut même distinguer avec DE HEINZELIN (1955) plusieurs stades :

1. stabilisation de la nappe d'éléments grossiers par une végétation herbacée ;
2. développement d'associations animales pionnières capables d'entretenir une épaisseur de l'ordre de quelques dm (p. ex. les *Cubitermes*, au Shaba, brassent l'équivalent de 20 à 37 cm par millénaire, ALONI & SOYER 1987) ;
3. extension d'associations animales comme certains Macrotermitinae capables d'entretenir un recouvrement de plusieurs mètres.

Interprétation antitermitiste

Les principales objections à une action significative des termites dans la genèse du C.S.L. ont été relevées par VOGT (1966) :

1. L'aire des S.L. ne coïncide pas partout avec celle des termites à construction épigée ; elle est beaucoup plus vaste (remarque d'ACKERMANN à la suite d'une étude de BRUCKNER (1955) sur le Ghana ; constatation de DRESCH (1963) à propos de la S.L. à Madagascar).
2. On pourrait évidemment invoquer la présence de termites bâtisseurs sous un climat antérieur favorable à leur activité (interpluviaux au Zaïre d'après DE HEINZELIN (1955), DE PLOEY (1964) ; périodes sèches au Brésil (TRICART 1958) ou à Madagascar (DRESCH 1963)). Toutefois, ces climats différents ne sont généralement pas démontrés ; on s'appuye même sur la présence d'une S.L. pour invoquer des changements climatiques, ce qui constitue un raisonnement circulaire caractérisé (VOGT 1966).
3. Les termites effectuent un brassage local qui aboutit à l'homogénéisation du niveau supérieur (LAPORTE 1962). Les animaux fouisseurs ne feraient donc que recycler une partie de la couverture meuble formée autrement. Cela est certainement exact pour les termites humivores, plus particulièrement les Cubitermes, mais se vérifierait aussi pour les champignonnistes, qui ne descendraient qu'exceptionnellement à grande profondeur sous le niveau des éléments grossiers.

4. Aucune population de termites, si dense soit-elle, ne serait capable de rendre compte du volume considérable des formations meubles au-dessus de la S.L. (LAPORTE 1962, AB'SABER 1962), en particulier quand elles ont 5 à 6 m d'épaisseur (VOGT 1966).

Discussion

Malgré la pertinence des arguments en faveur d'une origine termitique du niveau A du C.S.L., la part effective des animaux fouisseurs dans la genèse des formations superficielles doit encore être précisée. Les évaluations de volume de terres remontées par les termites donnent certes des indications sur l'importance potentielle de leur contribution, mais plusieurs aspects du rôle pédobiologique des termites doivent cependant être encore précisés.

Il faut souligner en particulier que les méthodes sur lesquelles sont basées les évaluations des taux d'accumulation des formations superficielles restent encore peu rigoureuses. Comment peut-on extrapoler à des milliers d'années la vitesse de construction ou de reconstruction des édifices épigés alors qu'on ignore les interactions de tous les paramètres qui interviennent dans l'évolution des colonies de termites ?

Quant aux estimations basées sur le recouvrement des industries lithiques, elles tiennent davantage compte des effets conjugués de divers facteurs pendant de longues durées, mais sans pouvoir préciser ce qui a un caractère local ou au contraire relève d'influences générales.

Quels sont entre autres les effets des diverses espèces d'animaux fouisseurs ? Les termites humivores, particulièrement les *Cubitermes*, en construisant leurs nids épigés sur un pavage ou une cuirasse peuvent déjà intervenir dans les premiers stades de la fossilisation d'un niveau grossier. D'autres espèces prennent le relais pour remonter des particules minérales à partir de profondeurs croissantes. D'après les observations de BOYER (1975) en Ubangi, *Macrotermes natalensis* dépasse rarement 2 m de profondeur tandis que *M. bellicosus* effectue des prélèvements jusqu'à 10 à 12 m de profondeur. Quelle est donc à l'échelle du Quaternaire la dynamique de l'occupation du terrain par les termites dans une région déterminée ? Quel est le volume des apports termitiques dans les divers écosystèmes tropicaux en fonction des variations de climat et de l'influence anthropique ? Le rôle de l'homme se traduit notamment par la déforestation et l'extension des feux de brousse qui vont de pair avec une diminution des Macrotermitinae, grands bâtisseurs au profit des termites humivores dont les constructions épigées sont beaucoup plus modestes.

À cela s'ajoute la difficulté d'établir de véritables bilans d'érosion-accumulation, permettant de démontrer qu'une couverture superficielle, surtout très épaisse, peut avoir une origine principalement ou même exclusivement termitique.

La nécessité se fait donc sentir de recueillir des données chronologiques permettant d'évaluer la durée nécessaire à la formation du niveau A. Les grandes termitières représentent actuellement les apports les plus volumineux en surface mais leur âge est très mal connu. WATSON (1967) trouve par exemple un maximum en Afrique de 700 ans pour une grande termitière érigée sur une tombe de l'âge du fer au Zimbabwe. Pour tenir compte de durées plus longues de la morphogenèse, il faudrait rechercher sur des surfaces d'aplanissement des profils contenant par exemple une couche de cendres volcaniques, qui permettrait de reconstituer et de dater la surface topographique au Quaternaire ancien ou au Tertiaire.

En ce qui concerne la mise en place du niveau B, les effets de la bioturbation sur le déplacement des éléments grossiers sont encore très obscurs. S'il paraît vraisemblable que l'accumulation de particules fines en surface entraîne une concentration relative en fragments grossiers dans des altérites, on ne comprend pas par quel(s) mécanisme(s) les éléments grossiers peuvent devenir véritablement jointifs, surtout dans le cas d'une couche dont les limites supérieure et inférieure sont nettes. Des études comparatives sur le terrain et des expérimentations seraient de nature à éclairer le problème.

Conclusions

Le rôle des termites dans la mise en place des formations superficielles est évident dans les régions à forte densité de tumuli de Macrotermitinae, comme en Ubangi ou au Shaba.

Ailleurs, un faisceau d'arguments granulométriques, morphoscopiques, minéralogiques, micromorphologiques, etc. ne laisse guère de doute sur la contribution des animaux fouisseurs, en particulier des termites, à la genèse du niveau A.

Quant à l'opinion des Ultratermitistes concernant une origine termitique du niveau B, il convient de reconnaître qu'aucune méthode ne permet actuellement de la vérifier.

BIBLIOGRAPHIE

AB'SABER, A. N. 1962. Revisao des conhecimentos sobre o horizonte subsuperficial de cascalhos inhumados do Brazil oriental. – *Bul. Univ. Parana, Geol. Geogr.*, 2.

ALEXANDRE, J. & SOYER, J. 1989. Les stone-lines. Conclusions de la Journée d'étude. – *In* : ALEXANDRE, J. & SYMOENS, J. J. (éds.), Journée d'Étude «Stone-lines» (Bruxelles, 24 mars 1987), Académie royale des Sciences d'Outre-Mer, Bruxelles, pp. 229-239.

ALONI, K. 1975. Influence de l'activité des termites sur la constitution des terrains superficiels dans une région de savane (Shaba méridional). Thèse doct., Faculté des Sciences agronomiques de l'État, Gembloux, 530 pp.

ALONI, K., BINZANGI, K., DIKUMBWA, N., LOOTENS, M. & MALAISSE, F. 1981. À propos du volume apparent et réel des hautes termitières au Shaba méridional (Zaïre). – *Geo-Eco-Trop*, **5** : 251-265.

ALONI, K. & SOYER, J. 1987. Cycle des matériaux de construction des termitières d'humivores en savane du Shaba méridional (Zaïre). – *Rev. Zool. africaine* (Tervuren), **101** : 329-357.

BACHELIER, G. 1978. La faune des sols, son écologie et son action. – Coll. «Initiations», ORSTOM, Paris, 38, 391 pp.

BOYER, P. 1973. Action de certains termites constructeurs sur l'évolution des sols tropicaux. – *Ann. Sci. nat., Zool.* (Paris), **15** : 329-498.

BOYER, P. 1975. Les différents aspects de l'action des *Belli-cositermes* sur les sols tropicaux. – *Ann. Sci. nat., Zool.* (Paris), **17** : 447-504.

BRUCKNER, W. 1955. The mantle rock («laterite») of the Gold Coast. – *Geol. Rundschau.*

CHAUVEL, A. 1976. Recherches sur la transformation de sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées. – *Travaux et Documents*, ORSTOM, Paris, 62 : 532 pp.

DE HEINZELIN, J. 1952. Sols, paléosols et désertifications anciennes dans le secteur nord-oriental du bassin de Congo. – *Publicat. INEAC.*, Bruxelles, 168 pp.

DE HEINZELIN, J. 1955. Observations sur la genèse des nappes de gravats dans les sols tropicaux. – *Publicat. INEAC*, Sér. Scient. 64, 37 pp.

DE PLOEY, J. 1964. Nappes de gravats et couvertures argilo-sableuses au Bas-Congo ; leur genèse et l'action des termites. – *In* : BOUILLON, A., Études sur les termites africains, Univ. Léopoldville, pp. 399-414.

DRESCH, J. 1963. Sur quelques aspects régionaux du relief à Madagascar. – *Bull. Géog. Fr.*

ESCHENBRENNER, V. 1985. Contribution des termites à la micro-agrégation des sols tropicaux. – *In* : FEDOROFF, N., BRESSON, L. M. & COURTY, M. A. (édit.), Micromorphologie des Sols/Soil Micromorphology, A.F.E.S., Paris.

FERRAR, P. 1982. Termites of South African Savanna. 2. Densities and Populations

of Smaller Mounds, and Seasonality of Breeding. – *Oecologia* (Berlin), **52** : 133-138.

GARNIER-SILLAM, E. 1987. Biologie et rôle des termites dans les processus d'humification des sols forestiers tropicaux du Congo. – Thèse Doct., Univ. Paris Val-de-Marne, 276 pp.

GRASSÉ, P. P. & NOIROT, C. 1959. Rapports des termites avec les sols tropicaux. – *Rev. Géomorphol. dyn.*, **10** : 35-40.

HOLE, F. B. 1981. Effects of animals on soils. – *Geoderma*, **25** (1-2) : 75-112.

LAPORTE, G. 1962. Reconnaissance pédologique le long de la voie ferrée COMILOG (République du Congo). – Rapport ORSTOM, Institut de Recherche scientifique au Congo, Service pédologique, 149 pp.

LEE, K. E. & WOOD, T. G. 1971. Termites and Soil. – Academic Press, London, 251 pp.

LEPAGE, M., 1974. Recherches écologiques sur une savane sahélienne du Ferlo septentrional, Sénégal : influence de la sécheresse sur le peuplement en termites. – *La Terre et la Vie*, **28** : 76-94.

MALDAGUE, M. 1964. Importance des populations de termites dans les sols équatoriaux. – Proc. 8th Intern. Cong. Soil Sc. (Bucarest), 3 (24) : 743-751.

MARAIS, E. N. 1937. The Soul of the White Ant. – Methuen, London, 184 pp.

NYE, P. H. 1955. Some soil forming processes in the humid tropics. IV. The action of the soil fauna. – *J. Soil Sci.*, **6** : 73-83.

ROOSE, E. J. 1981. Dynamique actuelle des sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale. – *Trav. & Doc. ORSTOM*, 130, 569 pp.

STOOPS, G. 1967. Le profil d'altération au Bas-Congo (Kinshasa). – *Rev. belge Pédologie*, **18** : 110-149.

TRICART, J. 1958. Division morpho-climatique du Brésil atlantique central. – *Rev. Géomorphol. dynamique*, 1-2 :

VINCENT, P. L. 1966. Les formations meubles superficielles au sud du Congo et au Gabon. – *Bull. Bureau Rech. géol. et minières*, (4) : 53-111.

VOGT, J. 1966. Terrains d'altération et de recouvrement en zone intertropicale. – *Bull. Bureau Rech. géol. et minières*, (4) : 1-51.

WATSON, J. P. 1967. A termite mound in an iron age burial ground in Rhodesia. – *J. of Ecol.*, **55** : 663-669.

WATSON, J. P. 1972. The distribution of gold in termite mounds at a gold anomaly in Kalahari sands. – *Soil Sci.*, **113** : 317-321.

WATSON, J. P. 1974. Termites in relation to soil formation, groundwater, and geochemical prospecting. – *Soils and Fertilisers*, **37** (5) : 111-114.

WIELEMAKER, W. G., 1984. Soil formation by termites. – Thèse doct., Landbouwhogeschool, Wageningen, 132 pp.