

Cycles biogéochimiques du fer, du silicium, de l'aluminium et du carbone organique en forêt amazonienne (Manaus, Brésil)

Sophie Cornu (LGE), Yves Lucas (UTV), Jean-Paul Ambrosi (LGE)

Laboratoire de Géosciences de l'Environnement (LGE), case 431, université de St Jérôme, 13397, Marseille, France.
Université de Toulon et du Var, BP132, 83957 La Garde cedex.

De nombreux sols ferrallitiques d'Amazonie centrale se composent d'un horizon kaolinique supérieur recouvrant un horizon d'accumulation gibbsitique (Lucas, 1989). Les modèles géochimiques et thermodynamiques classiques ne permettent pas d'expliquer la formation d'une telle séquence verticale. Des études récentes (Lucas *et al.*, 1986; Lucas, 1989; Giral, 1994) mettent en évidence leur formation *in situ*. D'autre part, Callot *et al.* (1992) et Lucas *et al.* (1993) montrent l'influence de la forêt tant au point de vue minéralogique (néoformation de kaolinite dans des racines de palmier) qu'au niveau du cycle géochimique du silicium.

Ainsi des expérimentations visant à déterminer les cycles biogéochimiques de Fe, Si, Al et du carbone organique dissous ont été réalisées dans deux types de forêt près de Manaus (Brésil): une forêt dense sur sol ferrallitique argileux et une Campinarana, "forêt allumette", sur podzol. Nous avons choisi ici de nous intéresser uniquement à cette dernière.

Après avoir suivi les transferts des éléments contenus dans les apports atmosphériques au travers de la voûte forestière, nous nous intéresserons à l'évolution des solutions de percolation au sein du podzol et aux transformations minéralogiques qu'elles peuvent induire (expérience d'altération de minéraux test en sachets).

Avant d'aborder l'étude des apports atmosphériques et de leur transfert, nous présenterons un bilan hydrique de la forêt.

Les observations et les échantillonnages associés ont été effectués de mai 1993 à avril 1994. Le dispositif expérimental se compose de:

- sur une parcelle de 625 m² en Campinarana, 10 pluviomètres placés aléatoirement sous le couvert forestier, 30 arbres équipés de collecteurs pour les écoulements de troncs;
- au sein d'une clairière proche, 5 pluviomètres témoins.

On a enregistré sur cette période 2942 mm de pluie. On est donc en présence d'une année particulièrement pluvieuse, puisque la moyenne interannuelle de la région est de 2100 mm. On distingue deux saisons climatiques: une saison des pluies de décembre à mai et une saison sèche de juin à novembre. L'année étudiée ne présente aucun mois réellement sec c'est à dire ayant une pluviométrie inférieure à 100 mm. Les bilans hydriques mensuels et annuels mettent en évidence les phénomènes suivants.

- Les écoulements de tronc, qui peuvent avoir un rôle local important, sont négligeables au niveau de l'ensemble de la parcelle et ne représentent qu'1 % de la pluie incidente annuelle.
- L'interception représente en moyenne 15 % de la pluie incidente, elle varie entre 10 et 25 %, sans variation saisonnière très nette.
- Les transprécipitations représentent de 64 à 101 % de la pluie incidente avec une moyenne de 84 %.

Ces valeurs sont comparables à celles données par d'autres auteurs (Lloyd et Marques, 1988; Franken *et al.*, 1992...).

Les entrées des éléments chimiques s'effectuent principalement par l'atmosphère (pluies et aérosols). Nous étudierons ici le cas des éléments "dissous" dans les pluies (filtrat < 0,22 µm). Alors que le fer et le carbone organique dissous sont apportés essentiellement en avril, les apports en silicium et en aluminium se répartissent sur l'ensemble de l'année, avec une prédominance plus ou moins marquée en saison des pluies. L'étude des aérosols de la région (Artaxo *et al.*, 1990; Talbot *et al.*, 1990) montre, en effet, pour cette période (de décembre à mai) des enrichissements en éléments terrigènes et marins qui sont attribués à des arrivées de poussières du Sahara.



Lors de leur passage à travers la voûte forestière et leur écoulement le long des troncs, les éléments se concentrent par simple évaporation des eaux de pluie et par remobilisation de matière au niveau des feuilles (poussières, exsudats foliaires). La voûte joue un rôle différent sur les transferts selon l'élément considéré et la période de l'année. Le fer et le carbone organique ne sont pas affectés en saison sèche, alors que ces éléments sont enrichis par rapport aux eaux de pluies pour les mois de décembre à mars et qu'ils sont fixés lors des apports extraordinaires d'avril. Pour le silicium et l'aluminium, leur transfert au travers de la canopée amplifie les phénomènes de saisonnalité des apports déjà évoqués.

Cette libération d'éléments en saison des pluies peut être imputable à différents phénomènes: des phénomènes physiologiques, ou la solubilisation de particules soit stockées par la voûte en saison sèche soit apportées en saison des pluies (apports du Sahara).

Au niveau des bilans annuels, on retrouve la séparation silicium, aluminium d'une part et fer, carbone organique de l'autre. On remarque aussi le rôle important des écoulements de tronc pour les apports en silicium.

Les solutions de percolation du podzol ont été recueillies en case lysimétrique à différentes profondeurs: sous la litière, à 10 cm, 20 cm et 40 cm. Lors de la traversée de la litière, ces eaux s'enrichissent en Si et en Al. Par contre, le carbone organique dissous et le fer sont vraisemblablement réabsorbés par la végétation ou minéralisé en ce qui concerne le carbone organique. Pour les horizons organo-minéraux, on observe, dans l'horizon de lessivage de ce podzol (20 cm supérieur du sol), un départ de tous les éléments dans les solutions de percolation, et une fixation de ces éléments vers 40 cm, début de l'horizon d'accumulation.

Les phénomènes induits au niveau minéralogique par la circulation des solutions de percolation au sein du profil sont caractérisés par le suivi semestriel de minéraux test. Ces sachets, remplis de kaolinite naturelle bien cristallisée, de gibbsite ou de gel siliceux synthétiques, ont été introduits à différentes profondeurs dans le profil: sous la litière, à 5 cm, 10 cm et 20 cm. Les premiers sachets collectés après 6 mois d'exposition dans le sol montrent qu'il y a dissolution partielle et rapide de toutes les phases solides, ainsi que la précipitation d'une phase cristalline, probablement des oxy-hydroxydes de fer (observation morphologique des phases au microscope électronique en transmission). Pour cette durée d'interaction, aucune différence n'a pu être mise en évidence entre les différents horizons. Des analyses chimiques ponctuelles ainsi que l'observation en microscopie électronique et l'analyse des sachets restés 1 an dans le sol doivent être réalisées.

Bibliographie:

- Ataxo, P., Maenhaut, W., Storms, H. et Van Grieken, R., 1990: Aerosols characteristics and sources for the Amazon basin during the wet season. *J. Geophys. Res.*, 95, D10, 16971 - 16985.
- Callot, G., Chauvel, A., Chamayou, J.C. & H., 1992: Mise en évidence de kaolinite et de silice dans les structures cellulaires de l'épiderme et du cortex de racines de palmier, en forêt d'Amazonie. *Bull. Soc. Bot. Fr.* 139, (actual bot. 1): 7 - 14.
- Franken, W., Leopoldo, P.R., Matsui, E. et Goes Ribeiro, M.N., 1992: Estudo da interceptação da água de chuva em cobertura florestal amazônica do tipo terra firme. *Acta Amazonica*, 12, 2, 327 - 331.
- Giral, S., 1994: Variations des rapports isotopiques $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ des kaolinites de deux profils latéritiques amazoniens: signification pour la pédologie et la paléoclimatologie. Thèse de l'Université d'Aix-Marseille III. p. 199.
- Lloyd, C.R. and Marques, 1988: Spatial variability of throughfall and stemflow mesurments in Amazonian rainforest. *Agricultural and forest meteorology*, 42: 63 - 73.
- Lucas, Y., 1989: Systèmes pédologiques en Amazonie Brésilienne. Equilibres, déséquilibres et transformation. Thèse de l'Université de Poitiers. p. 157.
- Lucas, Y., Chauvel, A., Ambrosi, J.P., 1986: Processes of aluminium and iron accumulation in latosols developed on quartz-rich sediments from central Amazonia (Manaus, Brazil). in *Geochemistry and mineral formation in the earth surface*. éd. Rodriguez-Clementi R. et Y. Tardy, 289 - 299.
- Lucas, Y., Luizão, F.J., Chauvel, A., Rouiller, J. et Nahon, D., 1993: The relation between biological activity of the rain forest and mineral composition of soils. *Sciences*, 260: 521 - 523.
- Talbot, R.W., Andreae, M.O., Berresheim, H., Artaxo, P., Garstang, M., Harris, K.C., Beecher, K.M. et Li, S.M., 1990: Aerosol chemistry during the wet season in central Amazonia: the influence of long range transport. *J. Geophys. Res.*, 95, D10, 16955 - 16969.

Les Phytolithes, indicateurs du cycle biogéochimique du silicium en forêt équatoriale

Alexandre A., Colin F. et Meunier J.D.

CEREGE, UM GECO, Université Aix-Marseille III, 13397 Marseille cedex 20

L'étude de la stabilité géochimique des phytolithes, lors de leur libération dans la litière puis dans le sol permet d'estimer leur efficacité à tracer l'impact de la végétation dans le cycle biogéochimique du silicium. Dans cet objectif, nous étudions les phytolithes issus de la forêt équatoriale de Dimonika (chaîne du Mayombe), au Congo (Alexandre et al., 1994).

Matériel et méthode - Les phytolithes sont étudiés à différents stades du cycle biogéochimique du silicium. Ils proviennent: 1) de feuilles en sénescence de *Trichillia* (famille des Méliaceae), 2) de fragments de feuilles collectés dans la litière inférieure et 3) de différentes profondeurs du sol à matrice sablo-argileuse microagrégée, formé sur des schistes et quartzites du Protérozoïque. L'extraction des phytolithes des feuilles et du sol est réalisée par voie chimique (Kelly, 1990; Alexandre et al., 1994). Ils sont pesés, observés et analysés au microscope photonique et au M.E.B.-E.D.S.

Résultats et discussion. - Dans les feuilles en sénescence non dégradées, la polymérisation de l'opale prend place dans tous les tissus. Des formes typiques de phytolithes sont distinguées: phytolithes issus de vide intracellulaire (phytolithes unicellulaires) où de stomates, de vaisseaux de fragments de sclérenchyme et d'épiderme (phytolithes pluricellulaires). Leurs dimensions sont comprises entre quelques microns et environ 100 microns. La teneur en silicium de ces feuilles est de 1,9%. Les vaisseaux et fragments de tissus silicifiés sont les plus nombreux.

Dans les résidus de feuilles de litière, les phytolithes unicellulaires sont les plus nombreux. Ils proviennent d'une décomposition des tissus et stomates silicifiés. Les parois silicifiées les plus fines, discernables dans les feuilles en sénescence non dégradées, ont disparues. Ces observations montrent une dissolution rapide et sélective dans la litière. Une estimation du temps de résidence du silicium biogénique dans les litières de forêts tropicales, pour une productivité en silicium biogénique de 30 à 90 kg/ha/an et un stock au sol de 9 à 36 Si kg/ha (Fölster et Las Salas, 1976, Gautam-Basak et Proctor, 1983, Lucas et al., 1993; Schwartz, 1993), donne des valeurs comprise entre un mois et un an et demi, valeurs proche du temps de résidence des litières sous forêt équatoriale. Le silicium biogénique est donc rapidement intégré au sol ou mobilisé vers le réseau hydrographique sous forme soluble ou particulaire.

Dans le sol, les phytolithes ont des dimensions inférieures à 50 microns, qui diminuent avec la profondeur. Les formes s'arrondissent. Les contours irréguliers, les surfaces rugueuses parsemées de cavités de quelques microns qui caractérisent les phytolithes résiduels sont des marques évidentes de dissolution biogénique et/ou non biogénique (Berner, 1978; Callot et al., 1987). Les phytolithes se conservent toutefois en quantité non

négligeable dans toute la profondeur du sol (fig.). Leur concentration dans l'horizon humifère est de 0,6% du p.m.s., soit 9,4 kg/m³. Elle diminue rapidement jusqu'à 60 cm où elle représente encore 0,1 % du p.m.s., soit 1,6 kg/m³. Ces teneurs sont dix fois supérieures à celles mesurées dans les 50 cm supérieurs de sols bruns sous forêts tempérées, pour des retombées en silicium foliaire équivalentes (Bartoli, 1981; Wilding, 1971). Les phytolithes sont donc moins rapidement dissous sous forêt équatoriale. En dessous de 60 cm de profondeur, la teneur en phytolithe diminue beaucoup plus lentement et tend vers 0 dans la saprolite. Les analyses physiques et chimiques du sol différencient trois ensembles d'altération correspondant aussi à la distribution spécifique des phytolithes: l'ensemble argilo-sableux à forte biopédoturbation entre 0 et 60 cm; l'ensemble de transition à plus faible biopédoturbation entre 60 et 215 m, et la saprolite à texture de roche mère préservée. Ce mode de distribution des phytolithes en fonction de la profondeur est semblable aux profils de translocations particulières mis en évidence en surface des manteaux d'altération de la forêt équatoriale gabonaise (Colin et al., 1992). La distribution des phytolithes marque donc clairement la biopédoturbation dans ces ensembles d'altération. La forêt équatoriale fournit ainsi une quantité de silicium sous forme particulière qu'il est nécessaire de prendre en compte dans le calcul des transferts de matière accompagnant l'évolution d'un sol dans l'interface lithosphère /hydrosphère/biosphère et dans le tracage des mécanismes de migration des éléments "allochtones" au sein d'un profil pédologique.

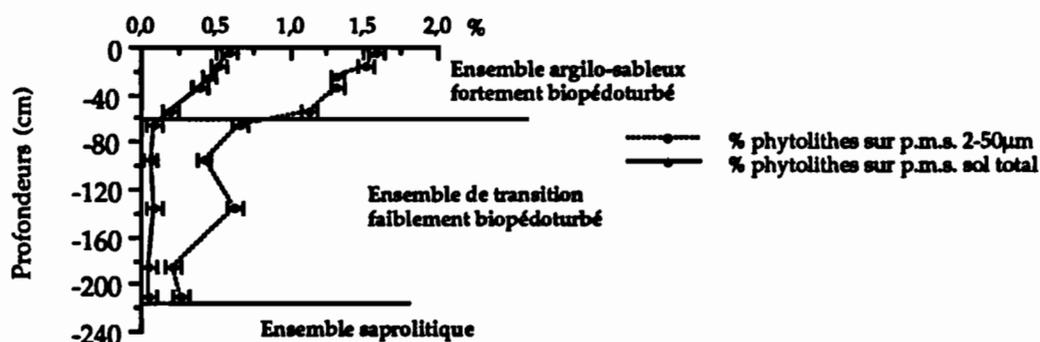


Fig. : Distribution verticale des phytolithes dans le latosol sous forêt - Dimonika, Congo.

- ALEXANDRE A., COLIN F. et MEUNIER J.D., 1994. Les phytolithes, indicateurs du cycle biogéochimique du silicium en forêt équatoriale, *C.R. Acad. Sci.*, 319, II, pp. 453-458.
- BARTOLI F., 1981. Le cycle biogéochimique du silicium sur roche acide. Application à deux systèmes forestiers tempérés. Thèse de doctorat, université Nancy I, 187P.
- CALLOT, G., MAURETTE, M., POTTIER, L. et DUBOIS, A., 1987. Biogenic etching of microfractures in amorphous and crystalline silicates, *Nature*, pp. 328-329.
- COLIN F., BRIDGEMAN G. H., NAHON D., LEWIS C.J., BARONNET A. et DANTY K., 1992. Equatorial rainforest lateritic mantles: a geomembrane filter, *Geology*, 20, pp. 523-526.
- FÖLSTER, H. et LAS SALAS, G. 1976. Litterfall and mineralization in tropical evergreen forests, *Acta Scientifica Venezuelae*, 27, pp. 196-202.
- GAUTAM-BASAK M. and PROCTOR J., 1983. Micronutrients, aluminium, silicon and ash in leaf litterfall from forests in Gunung Mulu National Park, Sarawak, *The Malaysian forester*, 46, 2, pp.224-232.
- KELLY, E.F., 1990. Methods for extracting opal phytoliths from soil and plant material. *Rapport interne*, Department of agronomy, Colorado state university, Fort Collins, U.S.
- LUCAS, Y., LUIZAO, F.J., ROUILLET, J. et NAHON, D., 1993. The relationship between the biological activity of the rain forest and the mineral composition of the soils, *Science*, 260, pp. 521-523.
- SCHWARTZ, D., 1993. Retombées de litière en tant que source de carbone et de l'azote. *Echanges forêt-atmosphère en milieu tropical humide. Recueil de travaux effectués dans le Mayombe. UNESCO/PNUD*, 5, pp. 141-158.
- WILDING L.P. and DREES L.R., 1971. Biogenic opal in Ohio soils. *Soil Sci. Amer. Proc.*, 35, pp. 1004-1010.

CYCLE BIOGÉOCHIMIQUE DU SILICIUM EN ENVIRONNEMENT TROPICAL (ILE DE LA RÉUNION)

Alarcon C., Colin F., Meunier J.D et Callot G*.

CEREGE, UM GECO, Université Aix-Marseille III, 13397 Marseille cedex 20

*INRA, Montpellier.

Les processus biogéochimiques jouent un rôle essentiel dans le développement de l'altération de la lithosphère continentale et dans le contrôle des processus d'érosion naturelle et/ou anthropique.

Notre recherche a pour but de mieux comprendre le cycle biogéochimique du silicium, deuxième élément par son abondance dans la croûte continentale. Pour mener à bien cette étude minéralogique et géochimique, nous avons choisi les sols développés sur le versant Ouest du piton des neiges de l'île de la Réunion, dont le substrat volcanique bien connu et les conditions climatiques très différenciées en font un laboratoire *in vivo* pour l'étude de l'altération tropicale.

Methodes

Après une étude de terrain de trois mois (description, choix de séquences de sols, échantillonnage et mesure *in situ* de pH), les échantillons de roche totale et les échantillons traités spécifiquement à chaque fraction granulométrique et minéralogique ont été analysés par ICP, spectrométrie infra rouge, diffraction de rayons X, absorption X, étudiés au microscope photonique et électronique à balayage et transmission couplés EDS. Al, Fe, Si ont été sélectivement extraits par oxalate d'ammonium (méthode de Blakemore et al., 1983) et par pyrophosphate (méthode de Wada et Higashi, 1976). Le silicium des végétaux a été analysé par ICP et les coupes de feuilles et racines ont été observées au microscope électronique à balayage haute et basse tension ainsi qu'au microscope électronique à transmission couplés EDS. Les phytolithes des feuilles et racines de chaque population de végétaux ont été extraits et étudiés suivant la méthode d'Alexandre et al., 1994.

Résultats et discussions

Les sols choisis sont des andosols perhydratés particulièrement développés entre 1600 et 1800 mètres d'altitude (Rosello, 1984), sous des températures variant de 14 à 16 °C et une pluviométrie de 1500 à 2000 mm par an. La végétation consiste en un épais tapis de fougères et de quelques herbes graminées et une forêt clairsemée constituée de *Phillipia*, de Tamarins, quelques arbres de couleurs (forêt primaire) et quelques touffes de bambous de type *Nastus borbonicus*.

Les matériaux parentaux sont des cendres trachytiques déposées en couches successives depuis 40000 BP jusqu'à 15000 BP. Les andosols se différencient ainsi verticalement en une succession d'ensembles spécifiques à chaque couche de matériaux volcaniques dans la partie inférieure des profils étudiés (Bc à Bh) et en ensembles à textures pédologiques interprétés comme podzolitiques en surface (BFe à A0) (Figure 1). Le caractère podzolitique de ces sols repose essentiellement sur la présence sous la litière d'un horizon albaque blanchâtre à rosâtre particulièrement remarquable et riche en silice, appelé horizon à "mascareignite" et de la présence d'un horizon sous-jacent spodique (Bh) riche en matière organique. Si cet horizon est particulièrement différencié entre 1600 et 1800 mètres d'altitude, une cartographie précise a permis d'élargir la zone à mascareignite jusqu'à 1000 mètres d'altitude et de montrer que cet horizon a été détruit partiellement dans la zone cultivée entre 1000 mètres et 1600 mètres d'altitude. Sur le terrain aucune corrélation entre la présence de mascareignite et la nature de la végétation n'a pu être mise en évidence.

A la base du profil, dans les ensembles de cendres trachytiques (Figure 1) contenant à l'origine verre volcanique, feldspath et olivine, les phases primaires sont partiellement ou totalement remplacées par des produits Si-Al de type imogolite/allophane. Les dépôts cendreux les plus âgés (BC) ne contiennent plus de phases primaires majeures, et la silice est alors recombinaison *in situ* au sein des imogolites/allophanes (60%) mais également au sein d'halloysites (40%).

Les dépôts cendres intermédiaires, plus récents, (2Bt et 3Bt) ne contiennent pas d'halloysite et la totalité de la silice recombinaée par altération est localisée dans les imogolites/allophanes.

Les cendres les plus récentes (Bt) contiennent encore des feldspaths et olivines non altérés. Toutefois les structures vitreuses sont pseudomorphosées dans leur totalité par les imogolites allophanes. 80 % du silicium est présent dans les phases primaires et 20% dans les amorphes.

L'horizon albique à mascareignite contient 90% de SiO_2 . Il est constitué dans sa presque totalité de phytolites micrométriques de formes variées: 60 % de Prismaticolitus caractéristiques des graminées et 40% de Braquiolithus non caractéristiques. Le silicium est donc ici sous forme d'opale biogénique.

Parmi tous les végétaux analysés, seules les graminées (Panicoideae en C4 et Bambousoideae C3) contiennent des teneurs en silice élevées atteignant jusqu' 8% de SiO_2 pour les feuilles de *Nastus borbonicus*.

Les formes reconnues dans l'horizon albique à mascareignite sont identiques à celles observées in situ par MET et MEB au sein des feuilles de *Nastus borbonicus*.

Il semble donc que les graminées en C4 (Panicoideae) n'aient pas participé à la constitution de l'horizon à mascareignite et qu'ainsi celui-ci résulte dans sa totalité du recyclage biogénique de la silice par une forêt de bambous, aujourd'hui disparue.

Conclusions

Dans les andosols du Piton des Neiges, les roches mères sont des cendres trachytiques riches en silicium. L'altération géochimique intense a conduit au développement de produits mal cristallisés de type imogolite allophane aux dépens des phases primaires. Les gradients d'altération sont d'autant plus marqués que les cendres sont anciennes, et l'halloysite ne se forme qu'au dépens des cendres les plus anciennes à la base du profil. L'altération géochimique en livrant au sol la silice sous forme de produits peu ou mal cristallisés a favorisé son absorption par la végétation et particulièrement par des graminées de type *Nastus borbonicus* qui ont alors dans un premier temps concentré la silice au sein de leurs feuilles puis livré en retour au sol leurs phytolithes. La forêt de bambous étant disparue aujourd'hui, ces phytolithes sont donc les marqueurs au sein des andosols d'une paléovégétation. L'étude morphologique et la datation des charbons issus de l'ensemble de la séquence de sol renseignera sur la chronologie des événements (collaboration M. Thion).

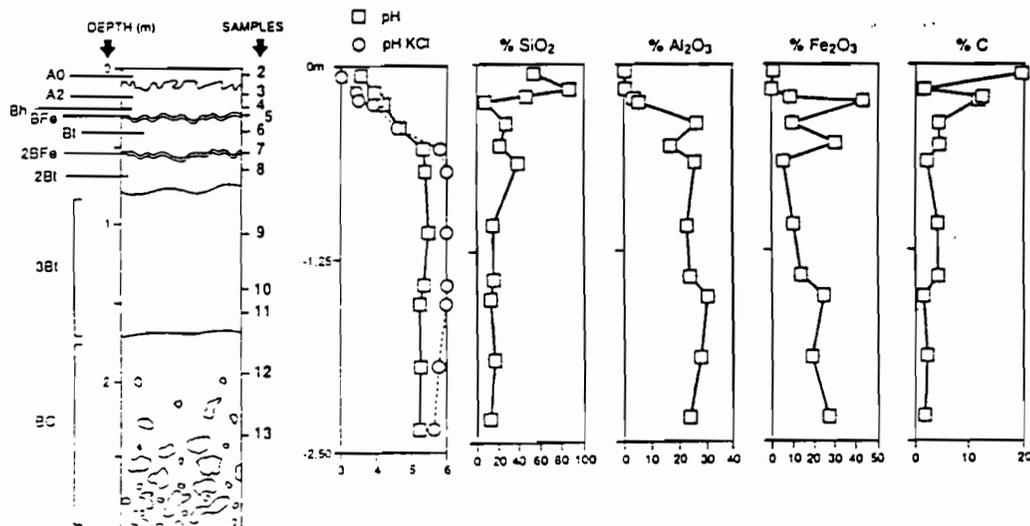


Fig. 1 : Coupe schématique du profil étudié, teneurs en SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , carbone organique et pH.

Alexandre A., Colin F. et Meunier J.D. (1994). Les phytolithes, indicateurs du cycle biogéochimique du silicium en forêt équatoriale. CRAS 319, II, 453-458.

Blakemore L.C. (1983). Acid oxalate extractable iron, aluminium and silicon. Icomand circular letter 5. New Zealand Soil Bureau; Appendix 1.

Rosello V. (1984). Les sols bruns des hauts de Saint Gille de l'île de la Réunion. Thèse 3ème cycle, Université Paris VII.

Wada K. and Higashi T. (1976). The categories of aluminium and iron humus complexes in ando soils determined by selective dissolution. Journal of Soil Science, 27, 357-68.

Les phytolithes, marqueurs paléogéographiques

par Alexandre A., Colin F., Vincens A* et Meunier J.D.

CEREGE, UM GECO., UNIVERSITE AIX-MARSEILLE III, 13397 Marseille Cedex 20

* Géologie du Quaternaire, CNRS, case 907, Luminy, 13288 Marseille Cedex 9.

L'analyse morphologique de phytolithes issus de sédiments lacustres n'a fait l'objet que d'une seule étude, portant sur l'observation de cuticules silicifiées de graminées (Palmer, 1976). Or, les formations à graminées de différentes sous-familles, fréquentes en milieu tropical ne peuvent être enregistrées par l'analyse pollinique. La contribution de l'analyse "phytolithique" apparaît donc prometteuse dans la reconstitution des paléoenvironnements tropicaux.

I - Les phytolithes, traceurs morphologiques: le principe

La morphologie des phytolithes extraits d'un sol ou d'un sédiment est, pour certains taxons, caractéristique (Twiss, 1987; Watson et al., 1985).

Parmi les monocotylédones, les familles des Palmae (palmiers) et des Gramineae (graminées) produisent des phytolithes distinctifs: 1) "*circulaire crénelé*" (*circular crenate*) pour les Palmae; 2) "*oblong épineux*" (*elongate spiny*) abondants dans toute la famille des Gramineae; 3) en "*altère*" (*dumbel*) pour la sous-famille des Panicoideae qui se subdivisent en deux tribus: les Andropogonodae, hautes graminées en C4 des milieux chauds et humides et les Panicoideae, graminées en C4 ou C3, communes dans les zones tropicales et subtropicales mais qui se rencontrent aussi en zone tempérée; 4) phytolithes en "*selle*" (*saddle*) pour la sous-famille des Chloridoideae qui sont des graminées basses, en C4, de milieux chauds et secs.

Les phytolithes de dicotylédones ne sont pas déterminables aux niveaux des groupes ou familles; Ils sont compris dans la classe des "*non classables*" (*unclassified*) qui inclue tous les phytolithes qui ne sont pas représentatifs.

En résumé, l'étude morphologique des phytolithes devrait théoriquement permettre de distinguer les formations forestières des formations à graminées en C3 et celles à graminées en C4; et parmi ces dernières, les savanes des steppes.

II - Etude d'une transition forêt/savane: sédiments holocènes du lac Sinnda, Congo. (ECOFIT/PEGI)

Le lac Sinnda est situé dans la vallée du Niari (Congo) où domine une savane à *Hyparrhenia* (Andropogonodae, Panicoideae), et qui sépare les massifs forestiers du Mayombe (S-O) et du Chailu (N-E) (Vincens et al., 1994). La carotte sédimentaire, longue de 3,8 m a des âges estimés au 14C (non corrigés du $\delta^{13}C$) de 650 +/- 80 BP à 0,17 m et de 5240 +/- 70 BP à 3,75 m (Mansour, 1994). L'analyse pollinique des ces sédiments met en évidence un environnement forestier autour du lac entre 5300 et 4000 BP, un assèchement du lac entre 3900 et 1230 BP ayant entraîné une lacune sédimentaire, et l'installation de savanes enregistrée de 1230 BP à aujourd'hui (Vincens et al., 1994).

L'objectif de notre étude est de tester la fonction de transfert "phytolithe" par la mise en évidence de cette transition forêt-savane.

Méthodologie

Chaque échantillon séché (dizaine de g) subit le même traitement chimique mis au point d'après le protocole de Kelly (1990) (Alexandre et al., 1994): réduction de la matière organique à l'eau oxygénée, prélèvement des argiles et séparation densimétrique des phytolithes au bromure de zinc.

Les phytolithes de dimensions supérieures à 5 μm sont ensuite comptés eu

microscope optique et au M.E.B. Les résultats du comptage sont exprimés en pourcentages.

Résultats et discussion

Les résultats du comptage (fig.) mettent en évidence deux types de combinaisons phytolithiques: l'une de 379 à 93 cm de profondeur, caractérisée par la présence de phytolithes de palmiers et la très faible représentation des phytolithes de graminées en C4; l'autre entre 71 et 10 cm de profondeur caractérisée par de fortes proportions de phytolithes de graminées hautes en C4 (plus de 10%, excepté à 21 cm de profondeur); et de graminées basses en C4 mais en plus faible proportion (3 fois moins lorsqu'elles sont représentées). Les phytolithes de palmiers sont proportionnellement en diminution mais restent présents. Ce dernier point est conforme aux données palynologiques montrant la présence du genre *Phoenix*, dominant à la base du sondage, puis la présence de *Raphia* (?) jusqu'à 82m, enfin du Palmier à huile (*Elaeis*) de 50 à 0m.

De plus, ces résultats mettent clairement en évidence le passage d'une formation à faible représentativité des graminées, et des graminées en C4 plus particulièrement, à une formation à forte représentativité des graminées hautes en C4 de type savane. Cette transition se situe entre 3990+/- 70 ans BP et 1250+/- 50 ans BP. Elle est, aussi, mise en évidence par l'analyse pollinique.

On montre ainsi que les phytolithes sont de bon traceurs des formations de type savane et des transitions forêt/savane.

En perspective, la reconstitution de transitions de formations herbacées liées à une aridification (transition savane/steppe) ou à un gradient d'altitude (transition graminées C4/C3), non abordable par l'analyse pollinique, devrait être rendue possible par l'analyse phytolithique.

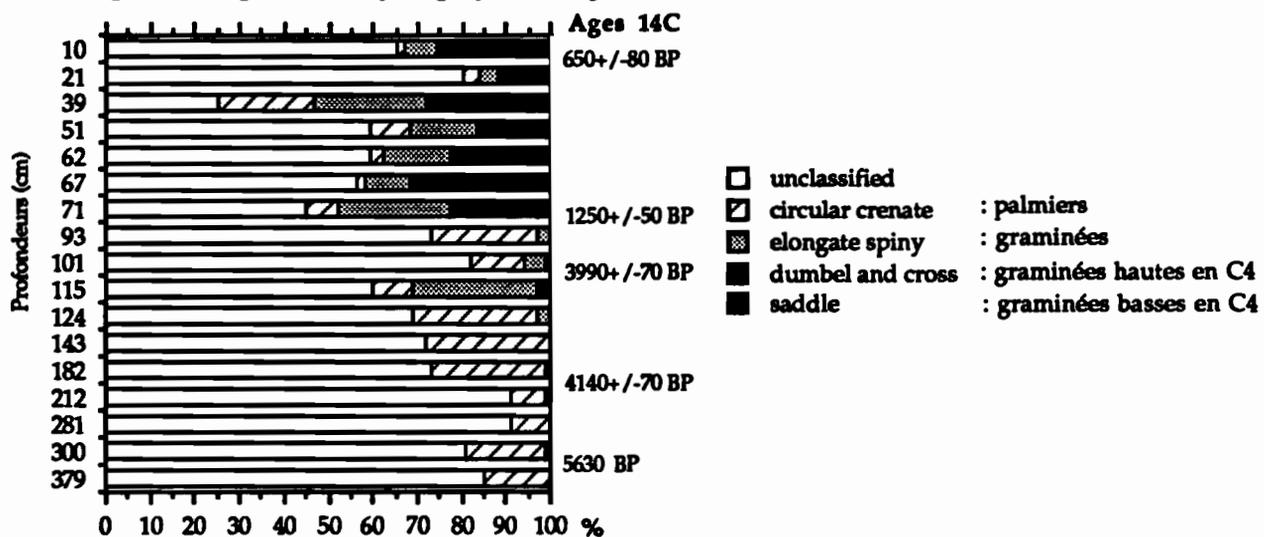


Fig. Distribution des phytolithes - Sédiments du lac Sinnda - carotte SN2-

MANSOUR M., 1994. Apport de la spectrométrie infrarouge quantitative à la reconstitution des paléoenvironnements dans la vallée du Niari (Sud-Ouest du Congo). D.E.A. MNHN-Univ. Aix-Marseille II-ORSTOM, 49p.

TWISS C., 1987. Grass-opal phytoliths as climatic indicators of the Great Plains Pleistocene. *Quaternary environment of Kansas*, W.C. Johnson editor, Kansas Geological Survey Guidebook, 5, pp. 179-187.

VINCENS A., BUCHET G., ELENGA H., FOURNIER M., MARTIN L., de NAMUR C., SCHWARTZ D., SERVANT M. et WIRRMANN D., 1994. Changement majeur de la végétation du lac Sinnda (vallée du Niari, Sud-Congo) consécutif à l'assèchement climatique holocène supérieur: apport de la palynologie. C.R. Acad. Sci., 318, II, pp.1521-1526.

WATSON L., CLIFFORD H.T. and DALLWITZ M.J., 1985. The classification of Poaceae: Subfamilies and Supertribes. *Australian Journal of Botany*, 33, pp. 433-484.

Nous tenons à remercier M. Servant et D. Schwartz pour leur collaboration au travers du programme ECOFIT.

Azul natural MnO₂ extraction front



-27-

Thème "Traceurs dans l'altération"

B. Hamelin

L'approche des problèmes d'altération supergène par l'utilisation de traceurs, géochimiques, physiques ou cristalochimiques est restée jusqu'à récemment très en retrait, comparée au développement de ces méthodes dans d'autres domaines des sciences de la terre. L'objectif de ce thème de PEGI est donc principalement méthodologique, pour identifier le champ d'applicabilité des différents traceurs pour l'étude des mécanismes et des bilans des processus au sein des profils d'altération sous climat tropical humide, et aux interfaces entre ces profils et les réseaux hydrographiques.

Dans ce contexte, il importait d'intégrer prioritairement les activités du thème sur un site atelier unique, la validation des différents traceurs passant nécessairement par leur intercomparaison et leur intercalibration. Parmi les propositions initialement soumises en réponse à l'appel à idées lors du lancement du programme, le choix s'est rapidement porté sur le site de Goyoum (Est-Cameroun), présentant le triple avantage 1) d'être parfaitement représentatif des couvertures latéritiques de ces régions (le "paradigme" des trois ensembles saprolitique, nodulaire et argilo-sableux), 2) d'avoir été décrit en détail antérieurement sur le plan pétrographique et structural et d'avoir déjà fait l'objet d'études de certains traceurs, et 3) de bénéficier de la présence permanente au Cameroun de chercheurs de l'ORSTOM impliqués dans le programme.

La stratégie d'étude a été centrée sur la partie aval de ce profil, là où la nappe phréatique baigne les différents horizons, et où le profil est actif à l'heure actuelle, à la fois en terme d'exportation vers les cours d'eau (fleuve Sanaga en l'occurrence), et en terme d'évolution interne des différents ensembles du profil. Faciès solides et solutions ont été prélevés systématiquement dans cinq puits successifs le long de l'aval de la séquence, et des prélèvements saisonniers ont été effectués afin de suivre les fluctuations de compositions des eaux au cours du cycle pluviométrique annuel. Les présentations qui suivent présentent les résultats obtenus pour différents traceurs, appliqués soit à la dynamique à long terme des différents horizons (cristalochimie, magnétisme, radiochronologie des isotopes cosmogéniques *in situ*), au traçage isotopique des éléments solubles (Sr et U) en liaison avec les transports fluviaux, et à la dynamique des éléments insolubles à l'intérieur du profil (approche multitraceurs rendue possible par l'utilisation de l'ICPMS).

Trois perspectives sont ouvertes à l'heure actuelle pour le développement de ces techniques de traçage:

- La validation des méthodes testées à Goyoum sur un second atelier (site de Zoetele-Nsimi, Sud Cameroun), sur lequel sera plus spécifiquement étudié le rôle des phases colloïdales comme agents de transferts dans et hors des profils.

- Le développement de la technique de datation d'oxydes de manganèse par la méthode Ar-Ar. Ce thème nouveau, complètement indépendant des précédents, a été engagé dès cette année et semble fournir les premières contraintes radiochronologiques absolues sur des phases néformées dans les latérites. L'enjeu ouvert est donc l'application systématique de cette technique au problème de la chronologie du développement des couvertures latéritiques à l'échelle régionale ou continentale.

- Enfin, l'ouverture d'un nouveau chantier est maintenant envisageable, suivant la même démarche pluridisciplinaire. L'objectif pourrait être l'étude de l'altération débutante sur des séries volcaniques étagées, afin de tenter de mieux comprendre l'ensemble de l'évolution dans le temps, de profils récents jusqu'aux profils polygéniques anciens du type étudié à Goyoum.

**PROGRAMME ENVIRONNEMENT GEOSPHERE INTERTROPICALE
PEGI**

- EROSION, ALTERATION, PEDOGENESE
- Traceurs Physiques, Chimiques et Biologiques

12 et 13 DECEMBRE 1994
à la Société Géologique de France
77, rue Claude Bernard
75005 PARIS

PROGRAMME :

- . Cosmonucléides et pédogenèse
- . Comportement des isotopes de Sr, U, Th
- . Datation des altérations
- . Cristallochimie de l'altération et de l'érosion
- . Biogéomarqueurs dans les eaux
- . Réactivité et porosité
- . Phytolithes

Organisateurs : Jacques Boulègue, Bruno Hamelin, Yves Lucas

Secrétariat
Renseignements
et Inscriptions

Dr Bernard HIERONYMUS - Mme Geneviève LETEMPLIER
Laboratoire de Géochimie - Casier Postal 124, UPMC
Tél. : 44 27 50 06 Fax : 44 27 51 41