

Ancienneté et vitesse d'érosion des *lavaka* à Madagascar

M. MIETTON¹, J.-C. LEPRUN², R. ANDRIANAIVOARIVONY³,
M. DUBAR⁴, M. BEINER⁵, J. ERISMANN¹, F. BONNIER¹, E. GRISORIO¹,
J.-P. RAFANOMEZANA⁶, P. GRANDJEAN⁷

¹Université J. Moulin-Lyon III, Courriel : mietton@univ-lyon3.fr ;

²DR IRD, Montpellier

³maître de conférences archéologie, faculté des lettres, Université d'Antananarivo

⁴DR CNRS Sophia Antipolis ;

⁵CR CNRS Strasbourg ;

⁶Hydrologue BRL Madagascar

⁷Cirad Chef du Projet BV Lac

Abstract

A *lavaka* is an emblematic landform in Madagascar. The processes leading to their genesis are relatively well defined. On the contrary, the speed of their evolution and therefore their age are not definitely known. On a large time scale, the relative age of the large *lavaka* is confirmed by the discovery of a site of ancient settlement of the fourteenth century in a *lavaka* of the Ankarafantsika forest in the north west of Madagascar. These landforms precede the arrival of man in Madagascar and are related to paleoclimatic variations. On a short time scale, the silting up of the dam lake of Bevava at the south east of lake Alaotra appreciated on an interval of almost twenty years makes it possible to measure a specific erosion of 2 000 tons/km²/year for a density of 8 *lavaka* /km² on an area of 58 km²

1. Introduction

Bon nombre d'auteurs se sont penchés sur la question de la genèse des *lavaka*. Les hypothèses rendant compte de ces formes spectaculaires ont été particulièrement regroupées par F. Bourgeat (1972), N. Andriamampianina (1988), M. Petit (1965, 1998) ou plus récemment par H. Mulder et O. Idoe (2004) :

– l'une des théories attribue un rôle prépondérant à l'action de l'eau interne dans les sols, poche d'eau ou nappe phréatique, celle-ci provoquant un sapement au lieu d'émergence. Parmi les principaux défenseurs de cette théorie, on peut citer C. Guigues, P. Brenon, J. Tricart, C. Robequain, A. Guilcher.

– l'autre accorde, en particulier avec J. Riquier (1954), une plus grande importance au ruissellement qui décape l'horizon superficiel compact des sols et permet à l'eau d'atteindre l'horizon meuble sous-jacent. La progression des *lavaka* se fait

par éboulements successifs de blocs compacts lorsque ceux-ci sont suffisamment affouillés à leur base.

– Selon nous, les deux types de *processus* se combinent, avec probablement une priorité aux mécanismes de circulation interne de l'eau, si l'on fait notamment le constat qu'une proportion importante de *lavaka* ne présente pas un grand axe dans le sens de la plus grande pente.

L'action des eaux internes est à mettre en rapport avec les modalités d'une part de leur concentration, d'autre part de leur connexion ou non avec les nappes des fonds de vallées voisines, ces deux facteurs étant eux-mêmes en relation avec les discontinuités éventuelles du profil pédologique permettant le perchement ou non de nappes dans des altérites de versants, enfin avec l'épaisseur de ce profil et l'importance du bassin hydrogéologique amont. Ainsi dans la vallée Mariananina, au Sud-Est d'Ambatondrazaka, il est remarquable de constater que le premier gradin qui domine de 50 m à 80 m, sur chaque rive, le fond de la vallée, est indemne de toute incision, tandis que les niveaux supérieurs et à plus grande distance latérale de la vallée sont criblés de *lavaka*.

Par ailleurs, bon nombre de *lavaka*, particulièrement dans la région d'Antanana rivo mais pas seulement, ont une origine anthropique, en tant qu'anciens fossés défensifs (Mille A., 1970) ayant canalisé les eaux de ruissellement ; fossés circulaires autour des rovas ou tunnels, aujourd'hui effondrés, dans l'axe du versant, ayant servi à la collecte d'eau dans les plaines voisines tout en échappant au regard.

Mais quelle est l'ancienneté de ces formes, à quelle vitesse évoluent-elles ? Les informations sur ce point sont beaucoup plus rares. C'est là l'objet de notre étude, qui se situe à deux échelles de temps.

2. L'ÉROSION DANS LE TEMPS LONG : L'ANCIENNETÉ DES LAVAKA ?

Pour qui connaît Madagascar, il existe incontestablement une dynamique érosive actuelle, affectant un manteau d'altérites épais (d'épaisseur décamétrique), mis en déséquilibre de façon probablement récente à l'échelle des temps géologiques. En témoignent la fraîcheur de bon nombre de formes de dissection linéaire tout comme l'importance des transports solides et la turbidité des cours d'eau. Pour autant une reconnaissance plus approfondie montre qu'une ancienneté relative de l'érosion ne fait aucun doute.

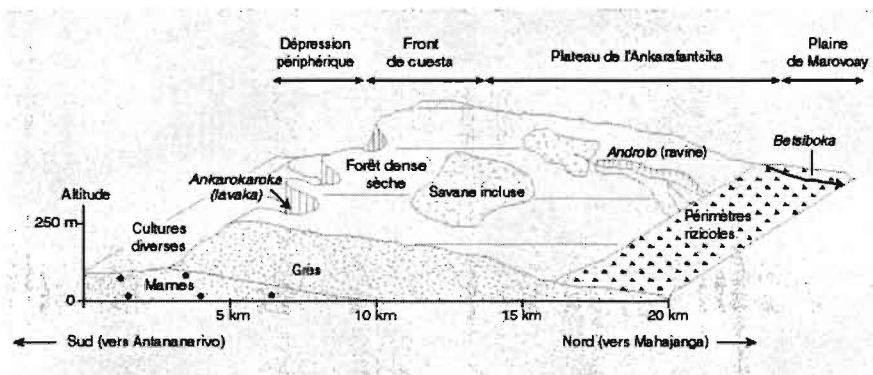
Ce constat avait été fait bien avant nous, en particulier par F. Bourgeat, qui insiste sur l'existence de *lavaka* anciens. A notre connaissance, l'auteur est le seul à donner, par datation d'un sol tourbeux fossilisé par colluvionnement issu d'un *lavaka*, un âge du moins relatif à ce dernier. L'horizon organique est daté de 11 850 +/- 400 ans. L'auteur insiste justement sur l'influence des variations paléoclimatiques pour expliquer ces anciens *lavaka*, antérieurs à l'apparition de l'homme à Madagascar.

Dans la forêt de l'Ankarafantsika, au Nord-Ouest du pays (fig. 1), nos constats vont dans le même sens :

2. Processus d'érosion

- d'une part, certains *lavaka* de grande taille apparaissent complètement recolonisés par la végétation ;
- d'autre part, sur le front de cuesta de l'Ankarafantsika, on observe tout à la fois de grandes éventrations (Ankarokaroka), beaucoup plus longues et profondes que les *lavaka* des Hautes Terres, ayant probablement réclamé du temps pour leur genèse, sans aucune plage de sédimentation fraîche sous forme de cône à l'exutoire, et des griffures ou ravines linéaires, récentes et accompagnées de dépôts bien visibles, même à travers la forêt dense. Des *processus* similaires mais liés à des agents différents peuvent conduire à des formes identiques, plus ou moins anciennes ;

Figure 1. Le massif de l'Ankarafantsika : morphologie, géologie et végétation.



– enfin, les tessons de poterie, découverts en 2002, à l'intérieur du grand canyon d'Ankarokaroka, attestent d'une ancienneté relative de ce grand *lavaka*. Le premier examen, macroscopique, réalisé par les archéologues malgaches, donnait déjà une valeur de témoins archéologiques intéressants puisque remontant selon R. Andrianaivoarivony au XV^e ou XVI^e siècle. Cette ancienneté a été confirmée depuis lors par une datation par le radiocarbone (Ly-12555. Âge 14C BP : -605 +/- 50. Âge calibré : de 1289 à 1421 ap. J.-C.)¹. Le *lavaka* est dès lors daté *relativement*, comme plus ancien que le XIV^e siècle. Ces témoins d'un habitat ancien ne peuvent être antérieurs au creusement du *lavaka* car ils n'auraient pu se maintenir sur un étroit replat, sur la paroi du canyon, à peu de distance de la corniche sommitale. Il s'agit là d'un site probablement défensif, pris entre la forêt dense sèche en arrière, et le ravin ; les rares témoins de poterie ayant été préservés grâce au glissement de sables blancs qui les ont en partie recouverts. Cette découverte nous conforte dans l'appréciation visuelle d'une permanence de l'érosion à l'échelle des temps longs, échelle historique de l'occupation progressive de l'île, ou plutôt de quelques millénaires.

¹ Ce repère est intéressant aussi comme témoin dans l'histoire du peuplement de Madagascar, histoire mieux renseignée jusqu'ici sur la côte orientale, où l'homme serait apparu durant les premiers siècles de notre ère.

En effet, c'est très probablement au cours de périodes displuviales du quaternaire récent que les conditions de rupture ou de crise morphogénique ont été réunies pour rendre compte de pareilles dissections, plus précisément lors du passage à des périodes plus humides faisant suite à des périodes arides, dont on retrouve justement la trace dans l'Ankarafantsika. En effet, dès 1997, nous avons retrouvé dans ce secteur les trois types de couvertures sableuses bien différenciées, décrites en partie par P. Segalen, entre sables mauves, sables beiges et sables blancs. L'examen granulométrique des sables mauves nous montrait l'importance du tri, qui ne pouvait être qu'éolien. Pourtant, c'est une mission avec J.-C. Leprun en 2002 qui a permis de retrouver là ce qui avait été reconnu préalablement par ce dernier à la latitude de la forêt des Mikae, à savoir la superposition de trois ergs sableux, dont la chronologie de mise en place est en cours d'établissement. L'examen des grains de sables au microscope électronique à balayage, révélant la trace de croissants de chocs éoliens, emporte la conviction. Il est donc clair que des épisodes arides, probablement peu anciens, se sont succédés dans cette partie du Nord-Ouest de Madagascar, où le climat actuel est un climat tropical contrasté mais avec une pluviosité de l'ordre de 1 200 à 1 500 mm. La couverture végétale y est une forêt dense sèche dans laquelle on note l'existence de savanes incluses qui témoignent elles aussi des périodes arides.

En résumé, les *lavaka* anciens n'ont pas attendu l'arrivée de l'homme pour se mettre en place à l'occasion de disparitions, d'origine paléoclimatique, d'un couvert végétal protecteur. Au demeurant, par la mise à feu, notamment en fin de saison sèche, des savanes incluses, l'homme reproduit de nos jours, sur des intervalles de temps évidemment plus courts, en début de saison des pluies ou plus durablement si l'on songe à la colonisation progressive des sols par des graminées cespiteuses très peu couvrantes (*Aristida barbicollis* représente un stade ultime de dégradation par le feu), des conditions de dégradation semblables à ce qu'elles étaient lors du passage d'un aride à un pluvial. Dès lors, on voit apparaître des formes de dissection similaires, même si elles sont de moindre ampleur que les grands *lavaka* anciens. Au total, à Madagascar, l'homme favorise cette évolution particulière des versants mais ne peut être tenu pour responsable de la plupart des grandes formes d'érosion linéaire.

2. LA VITESSE D'ÉVOLUTION DES LAVAKA À L'ÉCHELLE DES TEMPS COURTS

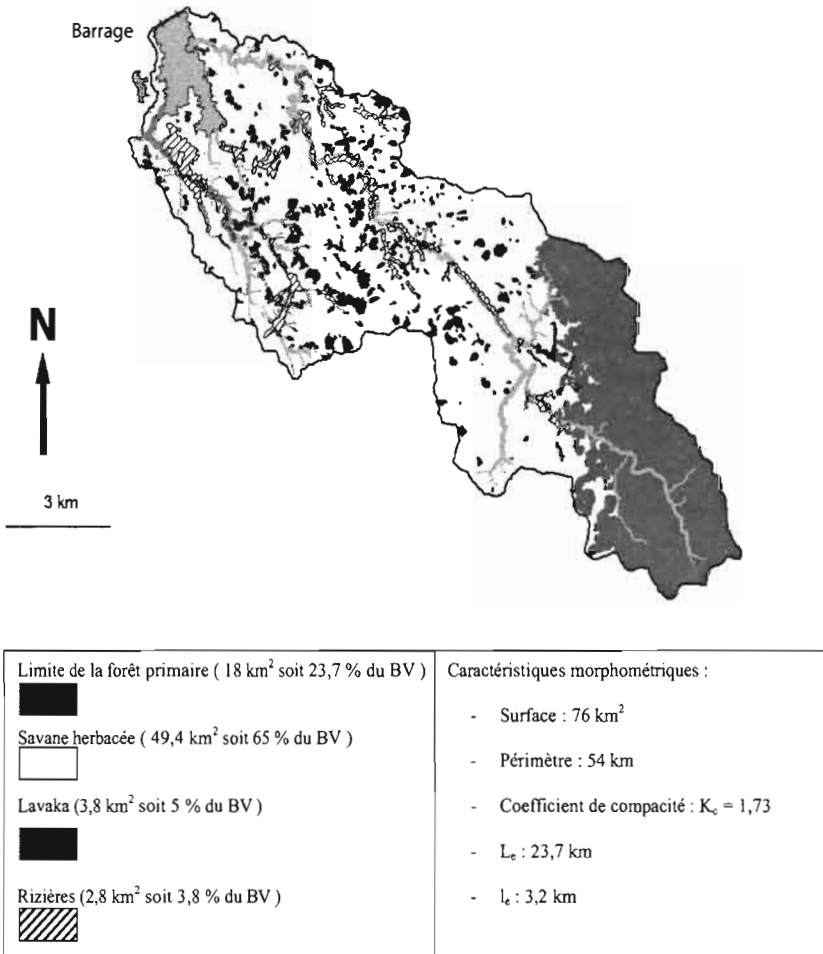
Cette vitesse est appréciée à l'échelle d'un bassin versant par mesures comparées d'envasement d'un lac de retenue (2,1 km²), celui du barrage de Bevava au Sud-Est d'Ambatondrazaka, sur les Hautes Terres. Au demeurant, l'objectif premier est ici de connaître la durée de vie de l'ouvrage, qui commande l'irrigation de 3 500 ha. dans les périmètres irrigués de la vallée Mariananina (région du lac Alaotra).

Ce bassin est de taille modeste (76 km²), de très faible compacité (Kc : 1,76), caractérisé dans sa partie amont par la présence de la forêt pluviale (23 % de la su-

2. Processus d'érosion

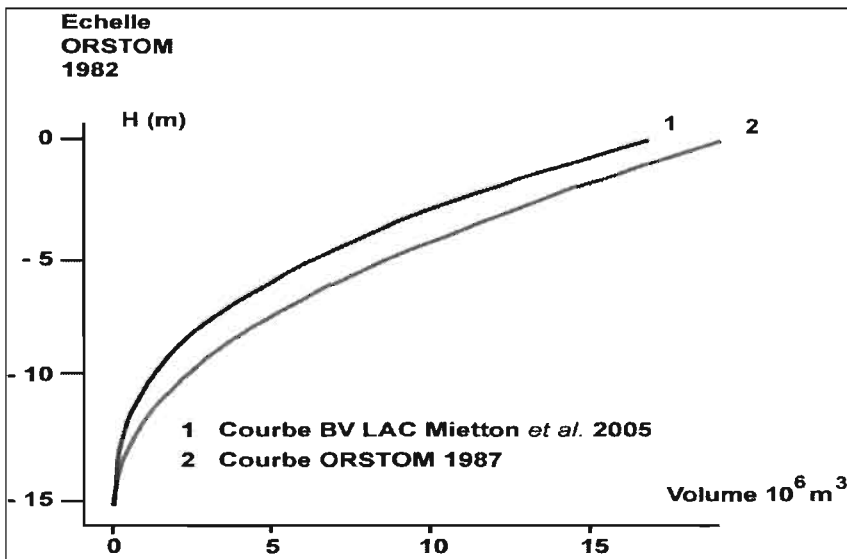
perficie totale) dépassant quelque peu la crête faîtière du premier escarpement oriental, plus arrosé, de l'île. Sur le reste du bassin, sous savane herbeuse, la prééminence d'une érosion par *lavaka* (fig. 2) est marquée. Le nombre de *lavaka* est de l'ordre de 440, couvrant environ 5 % du bassin. La densité rapportée à la partie du bassin hors forêt est de l'ordre de 8 *lavaka*/km², ce qui s'inscrit dans les fortes à très fortes densités selon Helisoa (1983).

Figure 2. Le bassin versant de Bevava (S.-E. d'Ambatondrazaka – Madagascar).



Les données d'envasement acquises fin juin 2005 par échosondage (950 points de mesure sur le lac) sont mises en relation avec des mesures antérieures (Ferry et Garreta, 1987) faites par l'ORSTOM en 1987 (fig. 3) et permettent d'établir une dégradation spécifique d'un ordre de grandeur de 2 000 tonnes/km²/an, ce résultat étant variable suivant les valeurs de masse volumique retenues (ces valeurs peuvent être comprises entre 1,2 et 1,8 tonnes/m³, en l'absence de mesures des densités réelle et apparente des vases). Il convient de parler seulement d'ordre de grandeur puisque les incertitudes sur la masse volumique sont grandes mais aussi sur les mesures de profondeur, liées à l'échosondeur lui-même (marge d'erreur de +/- 5 cm.) et à l'inégalité du plan d'eau au moment de la mesure (batillage). Il est intéressant de souligner que cette valeur apparaît cependant comme un standard régional puisqu'on la retrouve, dans un même contexte morphostructural et climatique sur le bassin versant et le barrage de la Sahamaloto en rive ouest du lac Alaotra (2 400 tonnes/km²/an avec $\rho_s = 1,8$ tonnes/m³).

Figure 3. Bathymétrie du lac de Bevava et dégradations spécifiques



Sans représenter un record mondial, ces valeurs de dégradation spécifique sont cependant imposantes. En effet, il faut :

- rappeler que la valeur enregistrée à Bevava se rapporte non pas à l'ensemble du bassin mais à seule la partie située en aval de la forêt pluviale. Si l'on prend en compte cette seule partie aval, l'ordre de grandeur de la dégradation à Bevava est plutôt de l'ordre de 2 200 tonnes/km²/an.

- préciser que ce bassin de Bevava a fait l'objet de mesures de restauration et de lutte contre l'érosion, notamment par boisement de *lavaka* et mise en place d'ouvrages protecteurs, depuis les années soixante jusqu'aux années 80 !

L'agressivité climatique R_{USA} calculée pour les années 1999 à 2004 sur quatre stations du bassin est de l'ordre de 400 à 500 points seulement mais il faut compter avec les accélérations de l'ablation lors des épisodes cycloniques relativement fréquents sur cette façade orientale de l'île.

Les recherches en cours ont pour but de préciser cependant ce que pourraient être les parts de sédimentation liées à :

- une érosion hydrique mécanique diffuse sur versants soumis chaque année à des feux de brousse dévastateurs ;
- une érosion par sapement latéral dans le lit même des cours d'eau.

La part de sédimentation liée au décapage des versants dominant le lac de retenue semble mineure si l'on observe que le remplissage est très inégal dans l'espace, lié aux apports du principal cours d'eau, la Sasomangana, au débouché de laquelle se développe une sorte de delta lacustre.

4. CONCLUSION

Les *lavaka* malgaches, du moins les plus grands d'entre eux, sont d'origine relativement ancienne, antérieurs à l'arrivée de l'homme dans la grande île au début de notre ère. Leur genèse est à rattacher à des variations paléoclimatiques, notamment des phases displuviales du quaternaire récent.

Toutefois, aujourd'hui, par des pratiques répétées telles que les feux de fin de saison sèche, l'homme reproduit des conditions similaires et favorise à son tour cette évolution particulière des versants.

Hormis les *lavaka* qui ont atteint leur profil d'équilibre et qui n'évoluent plus que par sapement latéral, leur vitesse d'évolution actuelle est remarquable. Les dégradations spécifiques rapportées à l'ensemble d'un bassin versant situé sur le bord oriental du fossé de l'Alaotra sont voisines de 2 000 tonnes/km²/an. Ces pertes en terre posent des problèmes non seulement au niveau des zones-sources mais plus encore en termes de sédimentation, tant au niveau des barrages qui assurent les besoins en eau d'irrigation qu'au niveau des plaines alluviales elles-mêmes, où l'exhaussement des lits et leur divagation génèrent des ruptures de digues catastrophiques sur le plan agricole. Pour autant, la fixation des *lavaka* s'apparente à un travail de Sisyphe, éternellement recommencé, du moins dans les régions comme celle de l'Alaotra, où le manteau d'altérites est particulièrement épais sur des substrats en roches tendres et riches en amphiboles.

Références bibliographiques ²

- ANDRIAMAMPINANINA, N., 1988, *Contribution à l'étude de la dynamique et de la stabilisation des lavaka à partir de quelques exemples*, mémoire de maîtrise, département de géographie, Université de Tananarive, 165 pp. et annexes
- BOURGEAT, F., 1972, *Les Sols sur socle ancien à Madagascar*, Mém. ORSTOM, n° 57, 335 pp.
- BURNEY, D. A., 1996, « Climate change and fire ecology as factors in the quaternary biogeography of Madagascar », In *Biogéographie de Madagascar*, ORSTOM, « Colloques et Séminaires » : 49-58

² Les références bibliographiques détaillées peuvent être demandées au premier auteur (michel.mietton@univ-lyon3.fr)

- COX, R., RAKOTONDRAZAFY, F. M., BAKOARINIAINA, N.L., 2003, « Geological controls on development of erosional gullies (*lavaka*), Central Madagascar », Abstract, The Geological Society of America (GSA).
- FERRY, L., GARRETA, P., 1987, *La Capacité de la retenue d'Antanifotsy, Etudes hydrologiques dans la région du lac Alaotra*, fascicule 7/86, 9 pp. et courbes
- HELISOA, O., 1983, *Les lavaka du socle malgache: distribution, évolution*, thèse Université Paris I, 334 pp.
- MIETTON, M., 1998, *Érosion dans le massif de l'Ankarafantsika et sur ses marges, Gestion des savanes incluses*, rapport pour Conservation internationale, PCDI Ankarafantsika, 22 pp.
- MIETTON, M., LEPRUN, J. C., DUBAR, M., BEINER, M., ANDRIANAIVOARIVONY, R., 2005, *Dynamique actuelle et paléoenvironnements dans la forêt et les savanes incluses de l'Ankarafantsika et ses marges (Nord-Ouest de Madagascar, arrière-pays de Majunga)*, actes de la table-ronde en hommage à R. Neboit, Clermont-Ferrand, mars 2004
- MIETTON, M., 2005, *Rapport de fin de mission Érosion à Ambatondrazaka (Madagascar) auprès du Projet BV Lac Alaotra, (22 octobre-6 novembre 2004)*, ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche, Cirad, AFD, 39 pp.
- MIETTON, M., 2005, *Rapport de fin de mission Érosion à Ambatondrazaka (Madagascar) auprès du Projet BV Lac Alaotra, (15-22 juin 2005)*, Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche, Cirad, AFD, 38 pp.
- MILLE, A., 1970, *Contribution à l'étude des villages fortifiés de l'Imerina ancien*, thèse 3^e cycle, Université de Clermont-Ferrand, 226 pp.
- MULDER, H., IDOE, O., 2004, *Lavaka the « hole » story, Analyses and design of an integrated bio-physical and socio-economic ISWC management approach to the lavaka phenomenon in Madagascar*, Érosion Soil and Water Conservation Group, Wageningen University, Environmental Sciences, 125 p.
- PETIT, M., BOURGEAT, F., 1965, « Les *lavaka* malgaches : un agent naturel d'évolution des versants » *BAGF.*, 4 ; 29-33
- PETIT, M., 1998, *Présentation physique de la Grande Ile*, ACCT, FTM, 192 pp.
- RABARIMANANA, M. H., RAHARIASON, L. J. R., CHOROWICZ, J., 2003, « Cartographie des *lavaka* par télédétection : analyse des facteurs et gestion des espaces ruraux à Madagascar », *Télédétection*, 3, 2-3-4 : 225-250
- RIQUIER, J., 1954, « Études sur les *lavaka* », *Mémoires de l'Institut scientifique de Madagascar*, série D, tome VI
- STRAKA H., 1996, *Histoire de la végétation de Madagascar orientale dans les cent derniers millénaires*, Symposium Biogéographie de Madagascar, Muséum Histoire naturelle de Paris, pp. 37-47

Actes des Journées scientifiques
du réseau de chercheurs
Érosion et GCES

**ÉROSION ET
GESTION
CONSERVATOIRE DE
L'EAU ET DE LA
FERTILITÉ DES SOLS**

Sous la direction de :

**Simone Ratsivalaka
Georges Serpantié
Georges De Noni
Éric Roose**



Éditions scientifiques GB

as

actualité scientifique



Agence universitaire de la Francophonie



Université d'Antananarivo



Agence universitaire de la Francophonie

ÉROSION ET GESTION CONSERVATOIRE DE L' EAU ET DE LA FERTILITÉ DES SOLS

ACTES
DES JOURNEES SCIENTIFIQUES
DU RÉSEAU ÉROSION ET GCES DE L'AUF
ANTANANARIVO (MADAGASCAR) , DU 25 AU 27 OCTOBRE 2005

Sous la direction de

Simone RATSIVALAKA
Georges SERPANTIÉ
Georges DE NONI
Éric ROOSE

Copyright© 2006 Contemporary Publishing International (C.P.I). Publié sous licence par les Éditions scientifiques GB et en partenariat avec l'Agence universitaire de la Francophonie (AUF)

Tous droits de traduction, de reproduction et d'adaptation réservés pour tous pays. Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit (électronique, mécanique, photocopie, enregistrement, quelque système de stockage et de récupération d'information) des pages publiées dans le présent ouvrage faite sans autorisation écrite de l'éditeur, est interdite.

Éditions scientifiques GB
41, rue Barrault
75013 Paris
France

ISBN : 2-84703-032-8

Les textes publiés dans ce volume n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs. Pour faciliter la lecture, la mise en pages a été harmonisée, mais la spécificité de chacun, dans le système des titres, le choix de transcriptions et des abréviations, l'emploi de majuscules, a été souvent conservée.