

LES LAVAKA MALGACHES : LEUR DYNAMIQUE EROSIVE ET LEUR STABILISATION

par

N. ANDRIAMAMPIANINA

Cette note s'inspire de notre mémoire de maîtrise intitulé « Contribution à l'étude de la dynamique et de la stabilisation des *lavaka* à partir de quelques exemples » (avril 1988) dans lequel nous avons essayé de vérifier les relations qui existent entre :

- les formes caractéristiques du ravinement et les conditions physiques des Hautes Terres centrales malgaches ;
- la dynamique érosive des *lavaka* et les effets d'amortissement occasionnés par l'occupation végétale à l'encontre de cette érosion.

Le *lavaka* est une forme d'érosion spectaculaire qui affecte les versants des Hautes Terres malgaches. Sa morphologie résulte de la triade : ablation, transport et dépôt. En amont, on a la tête du *lavaka*, de forme quasi circulaire perturbée par des digitations et des parois médianes. La tête se rétrécit en aval pour former un exutoire. Selon la topographie, les matériels entaillés et le processus de formation du *lavaka*, la forme de l'exutoire varie d'un lieu à un autre : il peut être évasé ou se présenter sous forme d'un long et étroit couloir d'évacuation. Immédiatement en aval de l'exutoire, les matériels du *lavaka* se déposent et forment le cône d'accumulation. Cette dernière partie du *lavaka* est généralement triangulaire. Elle est remarquable par sa couleur claire. Le cône peut être tronqué par la variation du niveau de base local du réseau hydrographique.

Dans le mémoire, nous avons conclu que :

- premièrement, le *lavaka* est une forme régionale liée au climat à deux saisons aux effets habituels duquel s'ajoutent ceux des cyclones tropicaux ;
- deuxièmement, le *lavaka* est à mettre en liaison avec les formations pédologiques ferrallitiques en place ou remaniées, riches en kaolinite. La nappe phréatique logée à la base de ces formations constitue l'élément moteur de la formation et de l'évolution des *lavaka*.
- troisièmement, il existe des *lavaka* anciens dont les phases d'évolution sont antérieures à l'arrivée de l'homme.

- enfin, la recolonisation des sols dénudés et dégradés à l'intérieur du *lavaka* par la végétation contribue efficacement à la stabilisation de celui-ci.

Dans cette note, nous allons voir dans une première partie les explications possibles du *lavaka* et, dans une deuxième partie, le problème de leur fixation.

I. CONDITIONS EXISTANT DANS LES ZONES D'APPARITION DES LAVAKA

1) Le climat

De tous les phénomènes qui agissent simultanément sur le milieu naturel, la pluviométrie reste la plus importante en ce qui concerne l'érosion des sols, surtout en milieu tropical humide ou subhumide. Parmi les caractères agressifs du climat des Hautes Terres malgaches, nous retiendrons particulièrement le contraste et l'irrégularité dans le temps de la pluviométrie et les cyclones tropicaux en saison pluvieuse.

a) Contraste et irrégularité pluviométrique dans le temps

Dans les stations étudiées, l'année est marquée par une saison sèche plus ou moins longue et une saison humide au cours de laquelle il tombe de 80 à 90 % des totaux annuels de précipitations. Tant à Tananarive qu'à Tsiroanomandidy, sept mois environ sur douze sont secs. Les Coefficients Pluviométriques Mensuels (Cpm) (G. Donque, 1975) restent inférieurs à 1. Cela confirme la sécheresse de ces mois (Tableau I).

Tableau I - C.P.M. à Tananarive et Tsiroanomandidy

	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O
Tananarive	1,44	3,20	2,04	1,56	2,09	0,36	0,10	0,07	0,12	0,12	0,12	0,36
Tsiroanom.	1,20	2,16	2,76	2,40	1,96	0,28	0,08	0,03	0,03	0,06	0,12	0,46

(Selon G : Donque, 1975)

De leur côté, les courbes des bilans hydriques confirment cette sécheresse saisonnière.

Les irrégularités interannuelles ont d'importantes significations dans le bilan morphopédogénétique. Elles sont d'autant plus effectives que des valeurs extrêmes se succèdent parfois d'une année à une autre. Exemples d'irrégularités annuelles (selon G. Donque, 1975) :

- Tananarive : 1939 : 1 943,0 mm ; 1947 : 949,0 mm

- Tsiroanomandidy : pour une moyenne annuelle de 1 653 mm, on a enregistré en 1953 et 1970 : 2 342 mm et 1 181 mm soit 141 % et 71 % de variation par rapport à la moyenne.

Au sein d'une même saison, des irrégularités mensuelles peuvent apparaître dans les relevés pluviométriques (Fig. 1 et 2).

Planche I

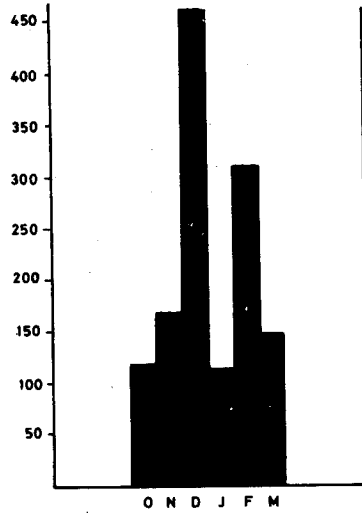


Fig. 1 : Nanisana

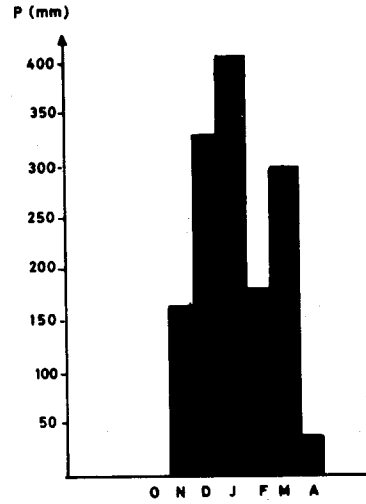


Fig. 2 : Kianjasoa

Exemples de creux pluviométriques à Tananarive(Nanisana) et à Kianjasoa(Moyen-ouest)

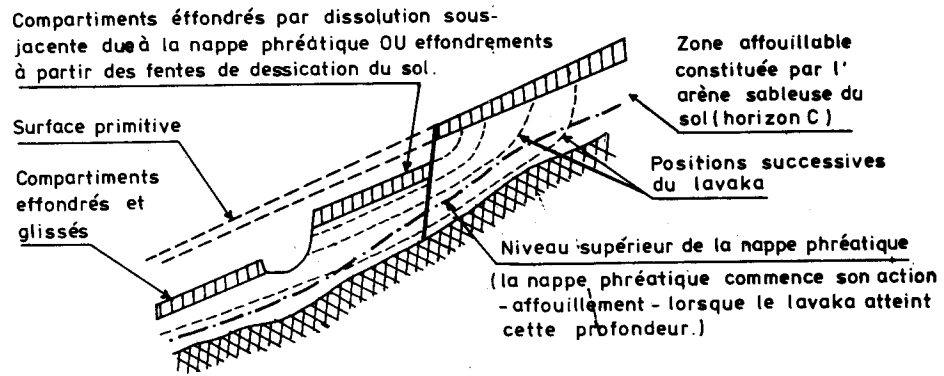


Fig. 3 : FORMATION ET EVOLUTION DE LAVAKA PAR GLISSEMENT DE TERRAIN.

b) Les cyclones tropicaux

De par sa position géographique, Madagascar est affecté presque chaque année par les cyclones tropicaux. Ils apportent des pluies souvent exceptionnelles, la plupart du temps abondantes. Ils sont responsables d'inondations et de vents forts causant de grands dégâts humains et matériels. Leur caractère très agressif réside aussi dans le fait qu'ils surviennent souvent en milieu ou en fin de la saison des pluies, c'est-à-dire lorsque le sol est déjà saturé en eau. Les conséquences géomorphologiques sont importantes.

c) Conséquences morphopédologiques du climat

Durant la saison sèche, le sol subit un assèchement au moins jusqu'à deux ou trois mètres de profondeur. Etant argileux, des fentes de dessiccation peuvent apparaître à sa surface. Elles sont à l'origine de glissements ou d'effondrements de terrain qui débouchent sur la formation de *lavaka* (Fig. 3).

De même, durant la saison sèche, la structure du sol est désorganisée. Les agrégats sont fragilisés par l'assèchement. Dès les premiers orages ou averses, les agrégats se désagrègent sous l'effet des grosses gouttes de pluie. Le phénomène de *splash* intervient aussi pour diminuer le pourcentage d'infiltration des eaux dans le sol. Par conséquent, le pourcentage du ruissellement augmente. Ce ruissellement apparaît en surface sous forme de déchaussement des touffes d'herbe, de rigoles, de surfaces dénudées... Ces formes d'érosion évoluent en *lavaka* lorsque leur profondeur atteint le niveau de l'arène sableuse du sol et de la nappe phréatique.

L'existence d'une saison sèche plus ou moins longue et l'agressivité pluviométrique sont donc propices à la généralisation du ruissellement sur les versants et à une perte en terre considérable. Les mêmes phénomènes se manifestent amplement lors des petites périodes sèches au sein de la saison pluvieuse ou avant l'arrivée des cyclones.

Autre conséquence : durant la saison sèche, la nappe phréatique se situe à son niveau le plus bas mais toujours dans la zone aréno-sableuse du sol. Pendant la saison des pluies ou en période de cyclone, le volume de la nappe augmente considérablement. La surface piézométrique atteint alors son niveau le plus haut. Cependant l'existence de « toit » argileux (horizon B du sol) et le soubassement de roche saine contraignent les eaux de la nappe à s'écouler latéralement. L'écoulement vertical est alors complété par un découlement latéral intense, créant ainsi au bas du versant une zone de pression hydrostatique (Fig. 4).

De même, la simple fluctuation saisonnière de la nappe phréatique favorise, le long du contact entre le versant et le bas-fond, l'installation de formes de sapement qui peuvent évoluer rapidement en *lavaka* (Fig. 4).

2) Les sols et les formations superficielles

Sur les Hautes Terres, trois types de formations de versants présentent des caractères aptes à la formation et à l'évolution des *lavaka* : les sols ferrallitiques rajeunis, les sols faiblement ferrallitiques et les colluvions. Ces caractéristiques se définissent comme suit :

- Existence d'un matériel basal friable et sableux subissant l'action de la nappe phréatique ;
- Existence d'un matériel kaolinique plus ou moins épais, compact et massif, surmontant l'horizon basal, apte au cisaillement ;
- Présence de kaolinite sur tout le profil pédologique ;
- Teneur en fraction limon toujours élevée dans les profils.

a) Textures et structures des formations

Quelles que soient les formations étudiées, on trouve à la base de celles-ci un horizon friable et sableux. Il est constitué par le produit d'altération profonde de la roche mère. Il est de couleur claire, jaune ou beige avec des taches rouille. L'humidité y est plus élevée par rapport à l'ensemble du profil à cause de l'affleurement de la nappe phréatique. Dans cet horizon, la structure de la roche mère est encore reconnaissable, en particulier dans les sols ferrallitiques rajeunis du Moyen Ouest. Quelquefois on a des filons de roches dures (quartz, amphibole, ptéridote...) mis en relief par l'altération superficielle.

Cet horizon est surmonté par un autre horizon de couleur rouge brique ou brune. La structure est compacte et massive. La partie superficielle des formations présente un horizon mince, peu humifère mais qui peut être absent à la suite d'une érosion intense ou décapante. Lorsqu'il est présent, la couleur rouge devient plus foncée et la structure particulière.

L'analyse granulométrique de ces formations donne les résultats présentés dans le Tableau II.

Tableau II - Analyse granulométrique (selon J. Hervieu, 1971)

Horizon	C	B	A
Argile (%)	16,1	29,4	18,7
Limon (%)	19,25	43,2	43,1
Sable (%)	60,8	26,1	36,0

b) Quelques particularités des formations

- *Les sols faiblement ferrallitiques* (Fig. 5) : ces sols ont des horizons bien structurés. L'horizon superficiel est toujours présent. Le rapport d'épaisseur des horizons se présente normalement selon la succession suivante, par ordre de grandeur : B, C et A. Le profil granulométrique nous montre à la fois, dans le sens vertical, la profondeur et le rapport d'épaisseur des horizons et, dans le sens horizontal, la répartition granulométrique pour chaque horizon.

- *Les colluvions* (Fig. 6) : à l'assise de ces colluvions se trouve un matériel en place d'un ancien sol ferrallitique. Le contact entre ce matériel et les colluvions est toujours net et quelquefois ondulé légèrement. Dans les colluvions existent souvent des niveaux de galets, parallèles ou non à la pente actuelle. Ces *stone-lines* se terminent souvent en dépôt de galets subanguleux vers le bas des versants.

La teneur en sable est plus élevée dans les colluvions que dans les horizons B des sols ferrallitiques. Cependant, les teneurs en argile sont sensiblement égales pour les deux formations si bien que celles-ci ont les mêmes comportements vis-à-vis de l'érosion en *lavaka*. Le rapport d'épaisseur est le même que pour les sols faiblement ferrallitiques.

- *Les sols ferrallitiques rajeunis* (Fig. 7) : dans ces sols n'existe pas d'horizon A dans la plupart des cas. Celui-ci a été décapé par l'érosion en nappe et redistribué sur les versants. Ici, le rapport d'épaisseur des horizons est différent de celui des deux autres formations. L'horizon B est relativement mince (0,5 mm à 1 mm) ; l'horizon C occupe la plus grande partie du sol. Par conséquent, les *lavaka* évoluent plus rapidement dans ces sols.

Une autre particularité réside dans l'existence souvent constatée de multiples filons de roches dures. On y rencontre aussi des boules de roches pourries avec d'importants phénomènes d'exfoliation et de desquamation. Donc le départ du matériel de l'horizon C est plus rapide dans le Moyen Ouest que sur les Hautes Terres centrales. Ce départ est favorisé par les fentes d'exfoliation et les fentes entre les contacts filons et arène sableuse.

c) Les argiles dans les formations

Les résultats des analyses des argiles sont rassemblés dans le Tableau III.

Tableau III - Analyse des argiles sur sol ferrallitique

Horizons	A	B	C
Kaolinite	+++	++	+++++
Illite			Faible
Gibbsite	Faible	+	Faible
Goethite	+	+	Faible

Dans les colluvions : en bas du profil, dans l'horizon C de l'ancien sol ferrallitique, on a de la kaolinite (++) . Dans les colluvions : kaolinite (++++), Gibbsite (+) et Quartz (+).

Dans les résultats ci-dessus, la kaolinite est la plus constante et la plus dominante. La kaolinite est une argile qui se forme dans un milieu modérément drainé et acide c'est-à-dire : pluviométrie annuelle entre 1 500 et 1 000 mm ; température assez élevée ; roche mère riche en silice, pauvre en base, plus ou moins riche en alcalino-terreux.

Les conditions physico-chimiques des Hautes Terres malgaches répondent donc aux conditions de formation de la kaolinite. Dans notre étude, nous avons considéré la kaolinite issue de la monosiallisation comme une condition préalable à la formation des *lavaka*. En effet, la kaolinite est une argile stable et peu sensible aux variations de volumes extrêmes. La formation et l'évolution des *lavaka* dans les sols riches de cette argile sont observables sous certaines formes :

Planche II

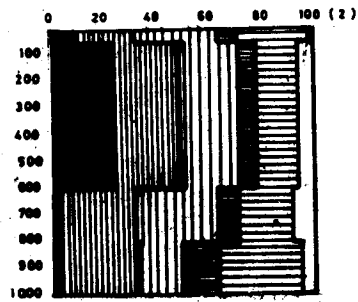


Fig. 5: Profil granulométrique d'un sol faiblement ferrallitique

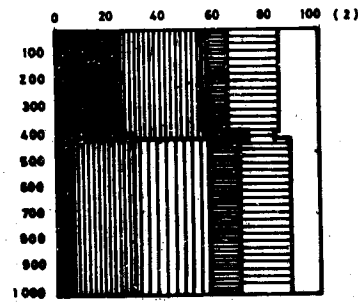


Fig. 6: Profil granulométrique d'un sol colluvionné.

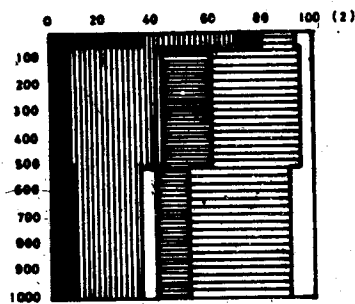


Fig. 7: Profil granulométrique d'un sol ferrallitique rajeuni.

- Argile
- ▨ Limon fin
- ▧ Limon grossier
- ▩ Sable fin
- Sable grossier
- Autres éléments

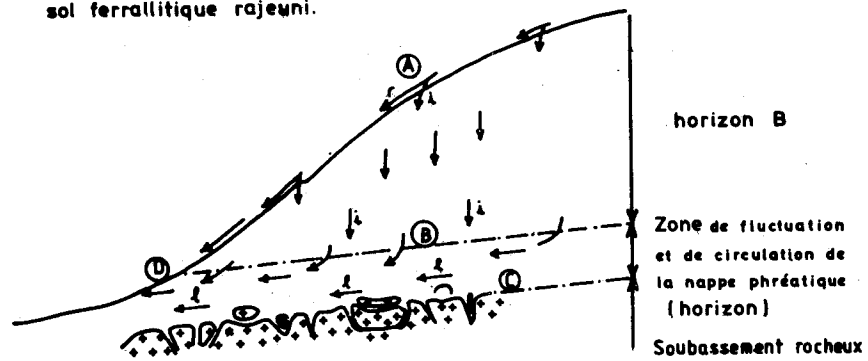


Fig. 4 : Rôle de la nappe phréatique dans la formation des *lavaka* : (r) ruissellement, (i) infiltration, (B) niveau le plus haut de la surface pyézométrique, (C) niveau le plus bas de la nappe phréatique. Dans la zone de fluctuation et de circulation de la nappe, l'écoulement latéral (l) est maximum en été. (D) zone de suintement et de sapement de la nappe.

- lorsqu'on a un sapement à la base du versant (nappe phréatique, cours d'eau, talus anthropiques...) les versants sont destabilisés, surtout ceux qui sont convexes, à cause des caractéristiques de la kaolinite données ci-dessus.
- Nous avons vu plus haut les processus de glissement et d'effondrement, les changements d'état du sol liés au climat ; tous ceux-ci sont dus à l'abondance de la kaolinite dans les sols.

4) Formation et évolution des lavaka dans les sols et formations superficielles

Selon les caractéristiques des sols et des formations superficielles, les *lavaka* s'inscrivent aussi bien dans les horizons des sols ferrallitiques que dans les profils des colluvions. Cependant des différences interviennent selon les formations.

Dans les colluvions, les *lavaka* prennent naissance souvent en bas de versant à l'aide du ruissellement, mettant à profit une topographie favorable. En effet, les glacis-versants présentent une convexité basale qui accélère le ruissellement au niveau du changement de pente d'autant plus que les colluvions sont, en cet endroit, peu épais. L'érosion en nappe ou en rigoles atteint donc rapidement le niveau aréno-sableux du sol en place. En outre, sur les Hautes Terres, les terminaisons des glacis ou les contacts entre versants et bas-fonds sont souvent entaillés depuis quelques siècles sous forme de talus anthropiques. Ces derniers sont souvent le point de départ des *lavaka*.

Une fois amorcés en bas du versant, les *lavaka* évoluent régressivement vers le haut. La teneur en sable plus élevée dans les colluvions confère au *lavaka* des formes plus ou moins lâches, telles qu'un exutoire évasé, des parois peu raides et l'existence de multiples digitations.

Dans les sols ferrallitiques, les *lavaka* commencent à entailler le bas du versant ou les « crêtes militaires ». En bas de versant, leur formation est liée surtout à la fluctuation de la nappe phréatique. Le ruissellement sur les sols ferrallitiques est moins important dans la formation des *lavaka* que dans leur évolution sauf si la topographie concentre le ruissellement. Dans ce cas, le ruissellement pourrait raviner. En outre, la suffosion intervient dans la formation des *lavaka*.

Sur ces sols, les tracés des *lavaka* sont très nets à cause de la résistance de l'argile à l'ablation, l'exutoire est souvent rétréci. Les parois sont raides et l'horizon B des sols se trouve en surplomb par rapport à l'horizon C. La tête du *lavaka* est de forme quasi circulaire perturbée par des parois médianes. Ces dernières sont liées à la structure de la roche mère. D'après nos observations, la forme quasi circulaire est liée à l'extension différentielle des parois. Les *lavaka* évoluent plus rapidement vers l'amont que vers leurs côtés.

3) Significations paléoclimatiques des lavaka

a) Formes et constatations

Sur les versants convexo-concaves des Hautes Terres centrales malgaches, un observateur averti peut distinguer aisément des dépressions ouvertes sur les bas-fonds qui ressemblent aux niches d'altération qui constituent en général les têtes de vallons (Fig. 8). Cependant ces dépressions présentent des particularités qui les différencient des niches d'altération :

- leur position est plus ou moins perchée par rapport au bas-fond actuel. Elles sont donc issues d'une phase évolutive ancienne ;

- leur tête laisse entrevoir une forme d'ancienne excavation, lobée, émoussée. La pente du plancher est bien marquée, les pourtours sont sub-verticaux ;

- en aval de la tête et reliant celle-ci au bas-fond, existe une pente plus ou moins accentuée. Cette forme est constituée vraisemblablement par un ancien cône de déjection. Ce cône est partout retaillé par l'encaissement hydrographique ultérieur à sa mise en place. De même, le cône ancien est souvent remanié en niveau d'encaissement au-dessus du bas-fond.

Ces formes font penser immédiatement à d'anciens *lavaka* actuellement stabilisés. La relation entre le cône et le niveau d'encaissement (pseudo-terrasse) a amené les chercheurs à considérer les *lavaka* comme des formes liées à des variations climatiques.

b) Séquences climatiques et évolution des lavaka

D'une manière générale, le Quaternaire malgache est caractérisé par des successions de phases humides (pluviaux) et de phases sèches (displuviaux) séparées par des phases de transition (G. Rossi, 1984). Durant une séquence pluviale de climat de type tropical humide, l'abondance de l'eau entraîne l'extension d'un couvert végétal de type forestier, l'élaboration de sols ferrallitiques épais, le rehaussement de la nappe phréatique. Dans de telles conditions, l'érosion est limitée. Le bilan morphogénèse est à l'avantage de la pédogénèse.

Durant les displuviaux, l'évolution de l'écosystème se manifeste par la raréfaction, voire la disparition, de la couverture végétale (à la forêt succède une formation graminéenne ouverte de savane), un ruissellement qui devient supérieur à l'infiltration tandis que la nappe phréatique se rabat et qu'il y a sédimentation dans les vallées (formations de *baiboho*). Dans ces conditions, la morphogénèse l'emporte sur la pédogénèse. Sous une couverture graminéenne peu dense et une pluviométrie indigente, l'érosion des versants se fait sous forme de ruissellement diffus ou en nappe.

En dehors de ces deux phases climatiques extrêmes, selon G. Rossi (1984), la crise morphoclimatique de transition entre une phase humide et une phase sèche est déterminante pour la formation des *lavaka*. Lorsque les précipitations se concentrent dans le temps, la végétation reste d'abord abondante. Après la disparition de la forêt et si les précipitations demeurent encore relativement fournies (orages et

Planche : III

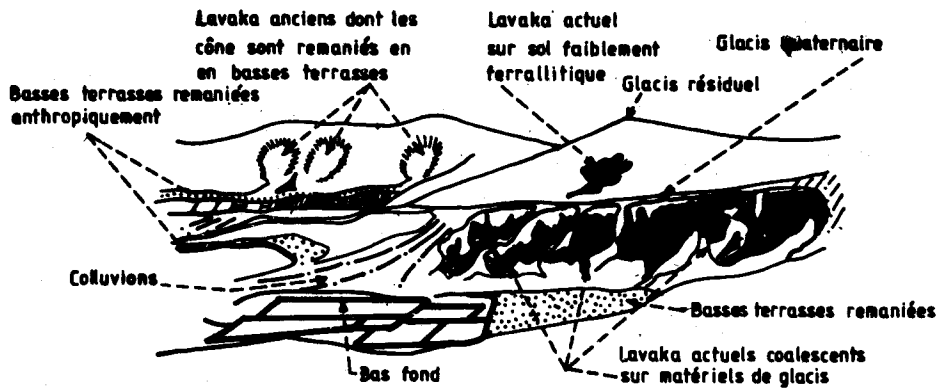


Fig. 8 LAVAKA ANCIENS ET ACTUELS SUR LES HAUTES TERRES CENTRALES

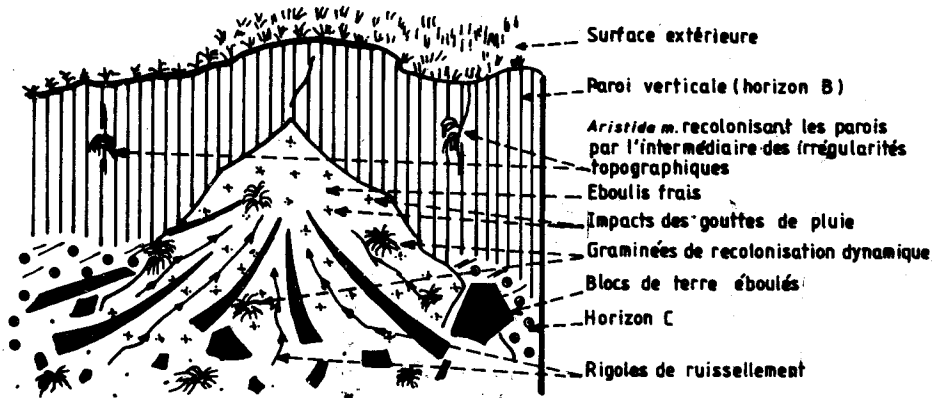


Fig. 9 : RECOLONISATION DYNAMIQUE SUR LES EBOULIS.
 Les *Graminées* continuent à pousser après éboulement.

averses), le ruissellement concentré sur les versants se généralise. Les sols ferrallitiques précédemment élaborés sont détruits, la formation des *lavaka* se généralise. Les matériaux prélevés sur les versants sont déposés dans les bas-fonds et y sont remaniés en terrasse.

En récapitulant ces processus, nous pouvons conclure que systèmes de terrasses colluvio-alluviales et *lavaka* sont attribuables aux mêmes mutations climatiques. Si les terrasses sont le résultat du colmatage dans les vallées, les *lavaka* constituent des excavations fournissant le matériel de ces terrasses. Ces formes d'érosion et d'accumulation précèdent l'encaissement hydrographique qui façonne des versants convexes et redressés aux sols ferrallitiques épais. A partir de ces constatations, on peut envisager l'existence de générations de *lavaka* sur les Hautes Terres centrales malgaches.

c) Les générations de lavaka

- *Les générations anciennes* : selon la chronologie du Quaternaire malgache et les observations sur le terrain, ces générations anciennes appartiennent toutes au Quaternaire récent, c'est-à-dire à la période allant du displuvial vavatenien jusqu'à la période actuelle, selon la chronologie de F. Bourgeat et C. Ratsimbazafy (1975), soit à une date absolue inférieure à 25 000 et 20 000 ans.

Parmi ces générations, on peut citer les *lavaka* anciens reliés à la moyenne terrasse cités par F. Bourgeat (1972) et les *lavaka* anciens reliés à la basse terrasse démontrés par J. et J.M. Hoeblich (1984). Ces derniers sont représentés par des accumulations sous forme de cônes aux abords des bas-fonds : ces cônes sont tronqués par le recreusement ultérieur de l'érosion et remaniés anthropiquement. Ces anciens *lavaka* offrent des exemples nets sur la RN 7 au nord du village d'Ambatofotsy (PK 12) et aux environs du village de Behenjy (PK 38), au nord de Miarinarivo en suivant la RN 1, etc...

- *Les générations actuelles* : les *lavaka* actuels ou subactuels entaillent les versants convexes sur les sols ferrallitiques anciens (Hautes Terres centrales) ou rajeunis (Moyen Ouest) hérités respectivement d'un climat humide antérieur et d'un rajeunissement quaternaire. La plupart de ces *lavaka* sont d'origine anthropique et sont nés il y a quelques siècles tout au plus. En effet, dans son utilisation de l'espace, l'homme a entraîné une mise morphologique dont les conséquences se répercutent sur l'écosystème. L'intervention de l'homme dans le milieu naturel se fait :

* soit en exploitant les versants et les bas-fonds (mise à feu, cultures...) ce qui entraîne la disposition de la forêt et la rupture d'équilibre sur le transfert de matériel entre le versant et le bas-fond. Le *lavaka* est une manifestation accélérée de cette rupture d'équilibre ;

* soit en façonnant les versants en y installant des fossés de fortification, des terrasses en culture, etc... ce qui provoque une concentration du ruissellement et diminue l'infiltration des eaux de pluie. Il en résulte donc une déstabilisation du régime hydrologique.

Ces deux phénomènes deviennent désastreux lorsqu'on fait intervenir les caractères pluviométriques du climat actuel, la structure des sols sur socle ancien, l'allure des versants. En définitive, les *lavaka* sont donc typiques d'une région de socle qui a subi à la fois les effets d'un assèchement du climat et une intervention anthropique brutale dans un milieu déjà en déséquilibre climatique.

II. LES LAVAKA ET LA VEGETATION

En protégeant et en retenant les matériaux à l'intérieur des *lavaka*, les plantes tendent à stabiliser ceux-ci. La recolonisation des *lavaka* par la végétation dépend de quelques facteurs interdépendants qui sont soit la géomorphologie des *lavaka* eux-mêmes, soit la facilité d'adaptation des espèces végétales, soit leur rapidité de croissance et de reproduction, soit enfin le degré de sociabilité de chaque espèce.

1) Les facteurs déterminants de la recolonisation des *lavaka*

a) Les facteurs géomorphologiques

La topographie qui accompagne l'évolution des *lavaka* est instable depuis la partie située en amont jusqu'au cône de déjection. A l'intérieur des différents ensembles, les irrégularités topographiques sont nombreuses : chenaux d'écoulement, éboulis et crevasses... A l'extérieur, le cône d'accumulation subit chaque année, pendant la saison des pluies, un engraissement par ensablement.

Les caractères pédologiques interviennent aussi. Le matériel est fin, brassé, dépourvu de matière organique en général. Ce ne sont pas là, malgré tout, des conditions d'installation parmi les plus mauvaises car, avec le brassage du matériel, les éléments minéraux sont plus abondants que dans les sols lessivés.

L'existence de la végétation dans les *lavaka* est surtout liée aux conditions hydriques. Nous avons déjà vu que la quantité d'eau disponible est variable dans le temps et dans l'espace. Durant la saison des pluies, une partie des eaux est retenue par le matériel meuble du fond et le matériel argileux des parois. Une partie de l'eau est évacuée à travers l'exutoire et mouille le cône de déjection. L'arrivée massive d'eau dans le *lavaka* et sur le cône risque de détruire les plantes. Au coeur de la saison sèche, le *lavaka* est presque à sec. La courbe du taux de couverture de la végétation dans le *lavaka* suit les variations de l'humidité.

D'autres éléments comme le vent, l'ensoleillement influent aussi sur la recolonisation ; leur action dépend en général de la plus ou moins grande ouverture et de l'orientation du *lavaka*.

b) Les facteurs liés aux espèces recolonisatrices

Les espèces recolonisatrices des *lavaka* se différencient selon les régions et les stades de développement de la recolonisation. D'une manière générale, les

associations végétales des *lavaka* sont dominées par des espèces silicoles. Sur les 23 plantes recensées, on compte 20 espèces silicoles. Les *lavaka* sont également des lieux de rencontre des plantes rustiques et rudérales.

La spécificité des plantes des *lavaka* découle donc de leur facilité d'adaptation en milieu pauvre - plantes indicatrices - en matière organique (2 %) et acide (pH inférieur à 5) ce qui est vérifiable par l'absence de plusieurs de ces espèces aux environs immédiats des *lavaka*. De même, les plantes ont un fort degré de sociabilité. On compte souvent plus de dix individus au mètre carré, répartis entre quatre ou cinq espèces différentes. Enfin, les plantes des *lavaka* ont une croissance rapide : les premières pluies d'été leur suffisent pour se développer rapidement.

2) Les processus de recolonisation

La recolonisation par les plantes se fait selon deux processus complémentaires, le premier correspondant à ce que nous appelons la recolonisation dynamique, le second à la recolonisation progressive.

a) La recolonisation dynamique

Cette étape correspond géomorphologiquement au stade de jeunesse et de pleine évolution du *lavaka*, celui où l'érosion l'emporte sur le recouvrement ou l'accumulation. Cette étape est non moins importante du point de vue de la dynamique végétale.

Ce type de recolonisation s'effectue par l'intermédiaire des éboulements successifs liés à l'évolution du *lavaka*, le ruissellement et le vent. Les éboulements transportent avec la masse de terre entraînée, des plantes de la surface extérieure vers l'intérieur du *lavaka*. Ces plantes, après sélection, continuent à pousser une fois déposées sur le matériel d'éboulis meuble et humide. Sur ce dernier, on a souvent des touffes de Graminées séparées par des blocs de terre frais et des rigoles de ruissellement (Fig. 9). L'instabilité du milieu rend vulnérable ce type de recolonisation qui reste cependant important.

Une autre forme de recolonisation dynamique peut être réalisée par des plantes transportées (graines et jeunes pousses) par le vent ou par l'eau de ruissellement. En effet, les *lavaka* se présentent comme des pièges à graines sur les versants. Les irrégularités topographiques de l'intérieur peuvent retenir ou arracher les grains de leurs agents de transport. Les *lavaka* forment enfin un milieu de protection pour les jeunes pousses contre les feux et les déprédations humaines ou animales.

b) La recolonisation progressive

La recolonisation progressive est le fait d'un envahissement par peuplement d'une seule espèce sur le cône d'accumulation le plus souvent. On peut prendre l'exemple d' *Imperata cylindrica* et de *Sarcobotrya strigosa*. Ce peuplement

dense peut s'associer, dans des cas rares, à d'autres espèces arbustives : *Psidium guayava* en particulier. On peut avoir aussi une invasion par *Cynodon dactylon* dans le cas des *lavaka* proches des installations humaines.

Ce type de recolonisation n'atteint que rarement l'intérieur des *lavaka* tant que l'érosion y est encore importante. De même, le peuplement du cône risque un ensablement lié à l'évolution du *lavaka*. Néanmoins, la recolonisation progressive marque déjà la progression de la végétation vers l'enceinte et fixe d'une façon efficace les matériaux du cône. Les *lavaka* à exutoire largement ouvert, facilitent la recolonisation. Enfin, la recolonisation progressive est plus rapide et plus assurée que la recolonisation dynamique, ce qui la rendrait intéressante dans le cas de tentative de fixation artificielle par méthode biologique.

3) Les zones de recolonisation

Selon l'agencement des facteurs déterminants de la recolonisation des *lavaka* et le degré d'évolution de ceux-ci, on distingue quelques zones de recolonisation préférentielles dans les *lavaka*. Ces zones se différencient les unes des autres par les espèces recolonisatrices d'une part, et par leur taux de couverture végétale d'autre part. Toutefois, la transition entre ces zones n'est pas toujours nette et peut être progressive. Notons que plus les *lavaka* sont vieux, plus ils ont une couverture végétale dense.

a) Les zones à recolonisation faible

Ces zones correspondent surtout aux parois raides. Ce sont les milieux les plus difficiles à recoloniser. Tant que le *lavaka* évolue, il est difficile d'estimer le taux de recouvrement moyen qui, dans l'ensemble, reste très faible : 1 ou 2 % ce qui correspond à deux ou trois individus végétaux sur cinq mètres carrés. En dehors des mousses et des lichens, existe une association monospécifique à *Aristida multicaulis*.

Les plantes de talus s'accrochent sur les parois à la faveur d'une simple différence microtopographique : replats de blocs de roches pourries, monticules, fentes d'écoulement...

b) Les zones à recolonisation peu dense

Ces zones englobent les parties entre les bords des chenaux et les talus d'éboulis. Le matériel y est constitué d'arène sableuse provenant de la roche mère sous-jacente, lessivée, peu brassée et en outre, rapidement ressuyée. La couverture végétale y est de l'ordre de 30 % environ. Cependant, on note une augmentation du nombre d'espèces recolonisatrices :

- Sur les Hautes Terres centrales : *Psiadia altissima*, *Cajanus indicus*, *Albizia sp.*, *Anthospermum emirnens*, *Sarcobotrya strigosa*, *Eucalyptus sp.*, *Pinus ellottii*, *Psidium guayava* et différentes espèces de Graminées (*Aristida multicaulis*, *Melinis montiflora*, *Loudetia stipoides*...).

- Sur les Hautes Terres occidentales : *Weinmania lucens*, *Psiadia altissima*, *Sarcobotrya strigosa*, *Anthospermum emirnens*, *Eucalyptus sp.*, *Aristida multicaulis*, *Hyparrhenia rufa*, *Heteropogon contortus*...

Sur les talus d'éboulis, la couverture est moins dense ; elle varie entre 20 et 30%. Les Graminées forment plus de 80 % de la population végétale. Les associations végétales des talus d'éboulis résultent le plus souvent de l'extension des espèces pionnières de la recolonisation dynamique.

c) Les zones à recolonisation dense

Elles sont situées sur les bords des chenaux d'écoulement en contrebas des parois et sur le cône d'accumulation. Pour les deux premières zones, l'importance de la densité végétale est liée à l'existence du matériel meuble qui s'y dépose, de l'humidité assez élevée et de l'ensoleillement permanent des zones centrales du *lavaka*. De ces faits, les plantes y ont un développement physiologique important et la couverture végétale s'élève à un taux de 80 %.

Sur les Hautes Terres centrales, les espèces recolonisatrices de ces zones sont, entre autres, *Pteridium aquilium*, *Phillipia floribunda*, *Helichrysum gymnocephalum*, *H. cordifolium* et *Andiatum capillis*. Dans la région de Tsiroanomandidy, la recolonisation est réalisée simultanément par *Aristida multicaulis*, *Panicum maximum*, *Andiatum capillis*, *Hyparrhenia rufa* et *Weinmania lucens*.

Sur le cône d'accumulation, on a surtout, sans distinction régionale, un envahissement par une seule espèce par recolonisation progressive, qui peut être soit *Imperata cylindrica*, soit *Cynodon dactylon* ou encore *Hyparrhenia rufa*, *H. hirta*, *Sarcobotrya*. Cette recolonisation peut être assistée par d'autres espèces arbustives telles que *Psidium guayava*, *Psiadia altissima*, *Cajanus indicus*... La couverture peut également atteindre un taux de 80 % de recouvrement.

La recolonisation des *lavaka* par la végétation aboutit à leur stabilisation progressive. Les éboulements ont alors lieu seulement en amont du *lavaka*, les talus d'éboulis se tassent, le fond se stabilise et se colmate ainsi que le cône uniquement alimenté par un apport de matériel fin, de plus en plus faible.

Les *lavaka* parfaitement stabilisés ont une topographie moins accidentée, celle décrite plus haut des anciens *lavaka*. Les conditions physiques à l'intérieur de tels *lavaka* se rapprochent de celles de l'ensemble des versants et il en va de même pour les formations végétales.

CONCLUSION

Formation et évolution des *lavaka* sont étroitement liées aux caractéristiques du climat tropical contrasté et agressif s'exerçant sur des régions à pentes fortes et où la végétation est en état d'instabilité et fragilisée par l'action anthropique et le feu. Elles sont aussi à mettre en liaison avec des sols ferrallitiques et souvent

colluvionnés sur les versants. La tectonique pourrait aussi jouer un certain rôle (que nous n'avons pas abordé ici) en provoquant un abaissement du niveau de base et une érosion régressive et en destabilisant les versants. Enfin, il faut noter que les *lavaka* sont des formes d'érosion installées sur un substrat de socle précambrien fortement métamorphisé en gneiss et migmatites. Les *lavaka* apparaissent donc comme le résultat d'une convergence de conditions d'une part mais aussi de processus : érosion en nappe, glissements, éboulements, sapements, souffusion, solifluxion... qui en sont les précurseurs.

La végétation joue un rôle fondamental dans la stabilisation des *lavaka*. Selon leur constance, leur développement et leur rôle dans la recolonisation du milieu, les espèces végétales peuvent être classées en trois catégories : espèces constantes; espèces envahissantes mais occasionnelles à reproduction rapide et fixant bien les sols ; espèces accompagnatrices, ni caractéristiques ni envahissantes, spontanées et accidentelles.

Peut-on maîtriser les *lavaka* et leur imposer une stabilisation accélérée ? Stabiliser mécaniquement un *lavaka* en pleine évolution semble aléatoire car cela suppose de maîtriser aussi le climat. L'intervention biologique semble plus réalisable dans un *lavaka* déjà formé. Nous suggérons par intervention biologique une méthode d'embroussaillage de l'enceinte et du cône par des espèces naturellement recolonisatrices. Néanmoins, conserver les versants intacts en ne dégradant pas la végétation ou reforester semblent encore préférables.

N. ANDRIAMAMPININA

BIBLIOGRAPHIE

- BESAIRIE H. - 1952 - *Deux exemples d'érosion accélérée à Madagascar*, Tananarive, Doc. du Bureau Géologique, n° 46, pp.3-5.
- BOSSER J. - 1963 - *Végétation du Moyen-Ouest et des bas-fonds de la Sakay*, Tananarive, Orstom, doc. dactylo., 14 p.
- BOSSER J. - 1969 - *Graminées des pâturages et des cultures à Madagascar*, Paris, Orstom, Mém. n° 57, 440 p.
- BOURGEAT F. - 1972 - *Sols sur socle ancien à Madagascar. Types de différenciation et interprétation chronologique au cours du Quaternaire*, Paris, Orstom, Mém. n° ..., 335 p.
- BOURGEAT F. et RATSIMBAZAFY C. - 1975 - *Retouches à la chronologie du quaternaire continental de Madagascar. Conséquences sur la pédogenèse*. Bull. Société Géol. Fr. (7) t. XVII, n° 4, pp. 554-561.
- BRENON P. - 1952 - *Géomorphologie de l'Antsihanaka et de l'Antsanosimboangy. Les formes normales du relief. Les phénomènes d'érosion accélérée*, Tananarive, Bureau Géologique, Doc. n° 46, pp. 6-22.
- DONQUE G. - 1975 - *Contribution géographique à l'étude du climat de Madagascar*, Thèse Doctorat d'Etat, Tananarive, Niag, 477 p.
- HOEBLICH J. et HOEBLICH J.M. - 1984 - *L'organisation du relief dans les environs de Tananarive*, Tananarive, Mad. Rev. de Géo. n° 43, pp. 11-37.
- HERVIEU J. - 1961 - *Profils types de sols malgaches*, Tananarive, Orstom-Irsm, section pédo., T. I-II.
- RIQUIER J. - 1954 - *Etudes sur les lavaka*, Tananarive, Irsm, Mém. série D, T. IV, pp. 181-190.
- RIQUIER J. - 1958 - *Les lavaka de Madagascar*, Aix-Marseille, Bull. Géo., pp. 169-189.
- ROSSI G. - 1979 - *Importance, cause et conséquence de la crise morphoclimatique actuelle à Madagascar*, Tananarive, Mad. Rev. de Géo. n° 34, pp. 109-122.

LISTE DES ESPECES VEGETALES CITEES

Familles	Espèces	Noms vernaculaires	
Composacées	<i>Helichrysum cordifolium</i>	<i>ahibahiny</i>	
	<i>H. gymnocephalum</i>	<i>rambiazana</i>	
	<i>Psiadia altissima</i>	<i>dingadingana</i>	
Cunoniacées	<i>Weinmania lucens</i>	<i>lalona</i>	
Ericacées	<i>Philippia floribunda</i>	<i>anjavidy</i>	
Graminacées	<i>Aristida multicaulis</i>	<i>paipaika</i>	
	<i>A. similis</i>	<i>horombavy</i>	
	<i>Cynodon dactylon</i>	<i>landrotrarana</i>	
	<i>Heteropogon contortus</i>	<i>danga</i>	
	<i>Hyparrhenia rufa</i>	<i>verofotsy</i>	
	<i>H. hirta</i>	<i>vero (générique)</i>	
	<i>Imperata cylindrica</i>	<i>tenina</i>	
	<i>Loudetia stipoides</i>	<i>kirodrotro</i>	
	<i>Melinis minutiflora</i>	<i>menapaka</i>	
	<i>Panicum maximum</i>	<i>ahimanara</i>	
	Myrtacées	<i>Eucalyptus sp.</i>	<i>kininina (générique)</i>
		<i>Psidium guayava</i>	<i>goavy</i>
	Papilionacées	<i>Sarcobotrya strigosa</i>	<i>tombokanjeva</i>
<i>Cajanus indicus</i>			
Pinacées	<i>Pinus ellottii</i>		
Ptéridacées	<i>Andiatum capillis</i>	<i>apanganamalona</i>	
	<i>Pteridium aquilium</i>	<i>apanga</i>	
Rubiacées	<i>Anthospermum emirnens</i>	<i>kisanga</i>	
Mimosacées	<i>Albizia gummifera</i>		

RESUME

Dans l'état actuel des connaissances, les *lavaka* ont une double signification. Premièrement, le *lavaka* est une forme d'évolution normale des versants subissant une crise morphoclimatique. Géologie, sol, climat, végétation, topographie et tectonique sont des éléments explicatifs des *lavaka*. Deuxièmement, le *lavaka* est une forme d'érosion accélérée liée à l'action anthropique dans un milieu physiquement instable. En ce qui concerne leur stabilisation, le colmatage du fond et la fixation du cône de déjection sont favorisés par le développement de la végétation naturelle. En assistant, par embroussaillage cette recolonisation, on peut arriver à une stabilisation effective et peu coûteuse des *lavaka*.

SUMMARY

Present knowledge attributes to the *lavaka* a double significance. First, they constitute a natural form of evolution of slopes experiencing a morphoclimatic stress. Geology, soil, climate, ground cover, topography are factors which all explain this particular process. Second, the *lavaka* is a form of accelerated erosion due to anthropic action in a physically instable site. As regards *lavaka* stabilisation, the filling up of the bottom and the fixation of the *dejection cone* are enhanced by natural vegetal growth. In addition to this growth, a more effective stabilisation can be obtained at a low cost by planting shrubs.