

ÉTUDE SUR LES « LAVAKA »

par

J. RIQUIER \*

Ce travail doit servir de base à une étude plus détaillée du processus de formation des « lavaka ». Les moyens de lutte contre cette sorte d'érosion en ravins, qui ravage une grande partie des hauts plateaux malgaches, ne peuvent être étudiés qu'en fonction des phénomènes spéciaux à ce type d'érosion. L'objet de cette étude est d'exposer dans l'état actuel de nos connaissances, les principaux modes de formation d'une « lavaka », ses stades d'évolution, enfin sa stabilisation naturelle. Nous signalerons seulement les principaux remèdes dont l'homme dispose actuellement pour arrêter cette érosion. Nous avons utilisé pour ce travail nos observations personnelles faites depuis 1946 et des éléments empruntés à un bulletin technique américain traitant de la gully erosion.

I. DÉFINITION

Les « lavaka », nom malgache qui désigne une grande excavation en forme de cirque, creusée dans le flanc d'une colline (Pl. II A et III B) proviennent d'une exagération du processus d'érosion en ravins ou gully erosion des Américains. Leur forme particulière est due à la texture et à la structure des argiles latéritiques. On rencontre des « lavaka » en Afrique du Sud, Congo belge, U.S.A. (Caroline du Sud), partout où un sol rouge, compact, plus ou moins durci, surmonte une zone d'altération de la roche, épaisse et friable.

La lavaka est caractérisée par un véritable cirque ovoïde à parois verticales (Pl. III B) ou par des formes digitées plus ou moins ramifiées mais présentant toujours une paroi verticale (Pl. IV B). Leur écoulement se fait généralement par un goulot étroit dans la vallée (Pl. III B). Le profil transversal est en V ou en U (fig. 1 et 2) selon son stade d'évolution, la vitesse de déblais des éboulis, la présence de source, etc... Certaines ont une disposition

\* Pédologue, Maître de recherches à l'I.R.S.M., Secrétaire adjoint du Bureau de conservation des sols.

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 21 542

46 Côte : B

M

17 FEV. 1988

NUM 313

en éventail lorsqu'elles ont pris naissance dans une dépression préexistante. L'intérieur de la lavaka est encombré d'éboulis formés de tous les terrains de l'ancienne surface qui se sont effondrés dans l'excavation (Pl. XII A). Si la lavaka a atteint son stade de sénilité, une végétation assez dense peut s'établir à l'intérieur, profitant de l'humidité, de la fertilité du sol et de la protection des feux de brousse. Elles progressent par érosion remontante, mais peuvent prendre naissance à n'importe quel point de la colline. Deux lavaka peuvent se rejoindre de chaque côté d'une crête et scier littéralement la colline en deux (Pl. V A).

Ces arrachements peuvent atteindre quelques centaines de mètres en diamètre et posséder des profondeurs de 10 à 50 mètres.

Mieux qu'une longue description des photos permettront au lecteur d'apprécier l'aspect de ces plaies de la terre malgache.

## II. CAUSES DE FORMATION DES « LAVAKA »

Nous distinguerons des causes externes et des causes internes.

Les causes externes favorisent l'érosion en ravins, c'est-à-dire concentrent l'eau de ruissellement en certains points du flanc de la colline.

Les causes internes expliquent que l'on ait cette forme particulière d'érosion en ravins appelée lavaka.

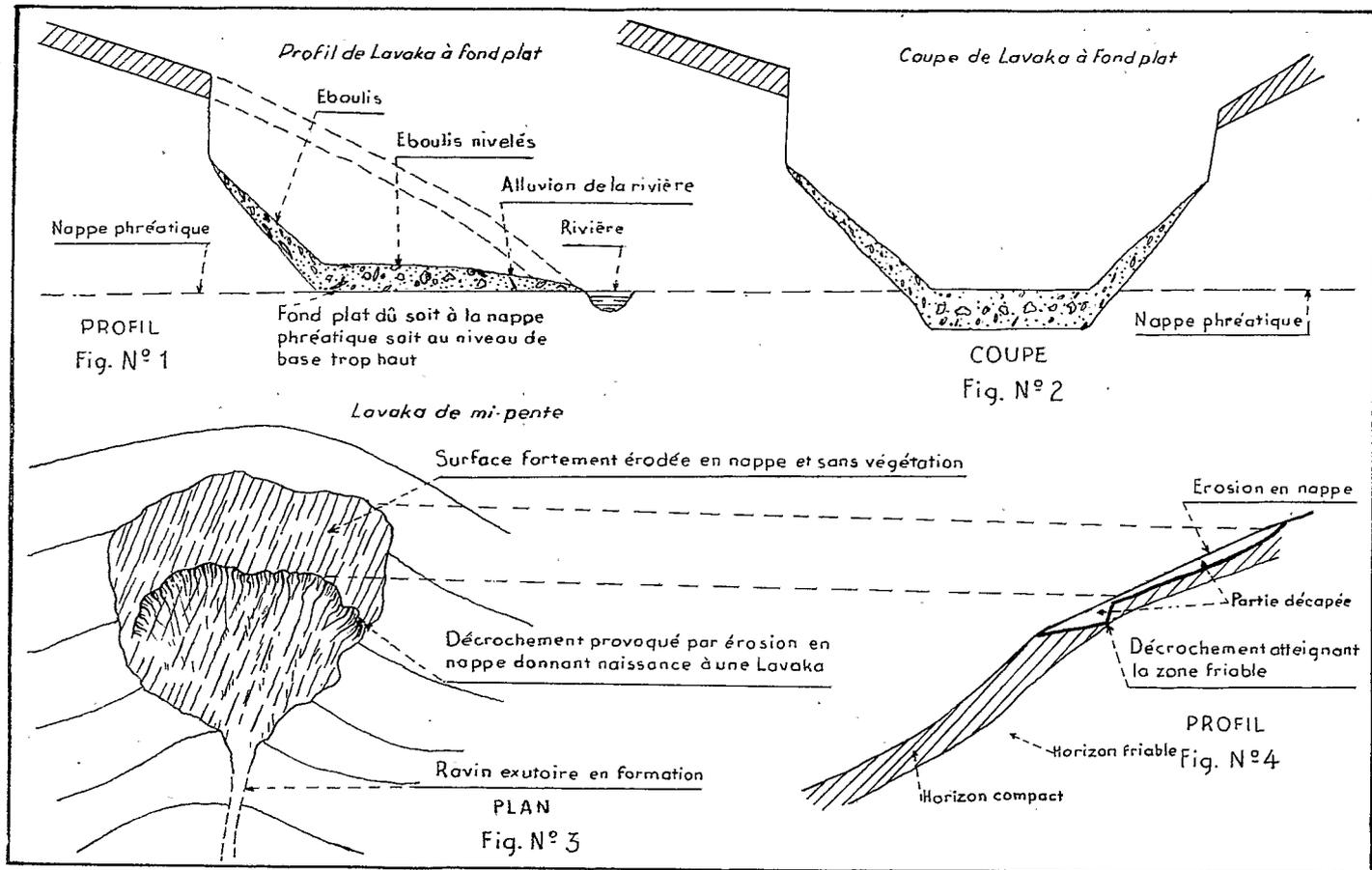
### A. CAUSES EXTERNES.

Les causes externes peuvent elles-mêmes se diviser en causes naturelles et causes artificielles (c'est-à-dire dues à l'homme).

#### 1° Causes externes naturelles.

a) Toutes celles qui favorisent l'érosion en nappe : déboisement, feux de brousse, surpâturage, etc... L'érosion en nappe dégénère très rapidement en érosion en rigoles puis en ravins (Pl. V B), et nous sommes ramenés au cas suivant. Mais quelquefois le processus est différent. A la partie supérieure d'une vaste zone de sol nu où l'érosion en nappe est très sévère, il se forme un ressaut, une marche d'escalier de 50 cm environ (Pl. X B, fig. 3 et 4). Le sol est jaune-blanchâtre assez érodable sur la paroi du ressaut. La partie supérieure est protégée par une couche colloïdale plus ou moins renforcée par de l'herbe ou par des lichens qui la protègent de l'érosion. Ce petit talus recule par des processus assez semblables à ceux d'une grande lavaka (excavation à la base de la paroi verticale, entraînement des éboulis). L'approfondissement de la partie inférieure de la zone érodée est rapide. L'eau, collectée sur cette surface nue, se fraye un chemin, en l'occurrence un ravin, vers le bas de la colline. L'approfondissement du ravin, le recul du talus créent rapidement une lavaka. Selon ce processus elle prend souvent naissance à mi-pente (Pl. X A).

Fig. 1 et 2. — « Lavaka » en U causée par la présence d'une nappe phréatique. — Fig. 3 et 4. « Lavaka » prenant naissance à mi-pente. Elle est causée par une intense érosion en nappe.



b) Un ravin normal, collectant l'eau d'un versant, peut s'approfondir et dégénérer en lavaka (partie gauche de la Pl. II A, fig. 5 et 6). Le bassin versant peut être de surface très réduite; l'intensité des pluies tropicales et l'imperméabilité du sol favorisant le ruissellement suffisent à provoquer la formation d'un ravin. La lavaka peut s'élargir jusqu'à occuper tout le bassin versant, elle constitue alors un vaste entonnoir collectant l'eau de cette aire. L'érosion interne suffit à la creuser et à provoquer une érosion régressive.

c) Des glissements et effondrements de terrain se produisent à mi-pente de la colline ou dans une dépression déjà existante (Pl. XII B, fig. 7 et 8). Le glissement provoque une fracture, un arrachement, souvent en arc de cercle et limité par un talus abrupt. L'eau s'infiltrant dans les fissures accentue le glissement et finit par entraîner toute la partie basse. Le talus recule et s'approfondit, par le phénomène de cascade (voir plus loin et fig. 9); la lavaka est créée. Le péril est d'autant plus grave que l'effondrement initial a mis à nu, sur la paroi du talus, la zone friable d'altération de la roche.

d) Un fleuve ou une rivière peut entailler la colline contre laquelle elle butte (fig. 11). Le méandre, décapant la base de la colline et entraînant la terre, provoque bientôt un abrupt. La zone blanchâtre d'altération de la roche est mise à nu. Elle est très érodable. Le processus s'accélère, des pans de montagne s'effondrent. Si, par hasard, l'eau de ruissellement du versant se déverse en cascade par l'intermédiaire de cette falaise, une érosion régressive commence. Nous obtenons une lavaka à base très large qui cette fois a débuté par le bas de la pente (fig. 11).

## 2° Causes externes artificielles.

a) Les fossés de protection, destinés à empêcher l'eau de ruissellement de se déverser sur une route ou d'éroder un talus, de même que les propres fossés d'écoulement de la route sont parfois générateurs de lavaka. L'eau, souvent surabondante pour la largeur du fossé, ou la pente trop forte, provoquent une érosion très profonde qui scie la couche cohérente du sol. Lorsque l'eau atteint la zone affouillable, le fossé s'élargit, les parois s'effondrent, une lavaka se crée. Les fossés anti-érosion, établis pour éviter l'érosion en nappe dans les cultures, peuvent causer la même catastrophe si leur conception est mauvaise. Les fossés d'absorption peuvent provoquer des glissements de terrain en saturant les couches inférieures du sol. Une étude du sous-sol doit être faite avant toute construction de ce genre.

Les anciens villages malgaches, élevés sur le sommet des collines, étaient généralement ceinturés d'un profond fossé, destiné à la protection contre tout envahisseur ou pillard. Ce fossé collectait l'eau de l'aire circonscrite et l'écoulement se faisait par un ravin sur un des flancs de la colline. Là encore, la concentration de l'eau en un point a souvent créé une lavaka.

b) Les chemins de piétons, les passages de bœufs, détruisent la couverture herbacée, dispersent l'argile par temps humide (qui est ensuite entraînée

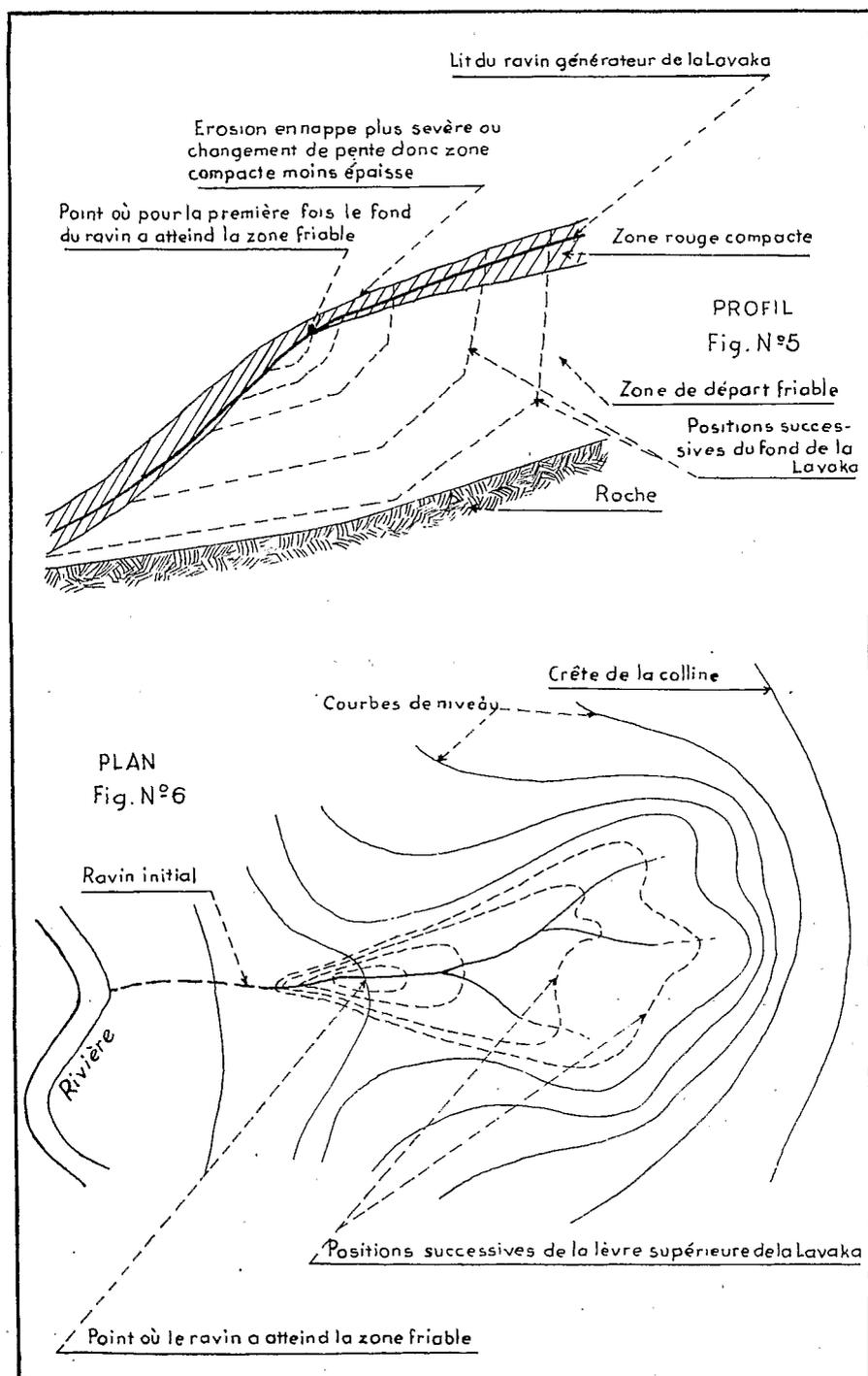


FIG. 5 et 6. — « Lavaka » causée par l'approfondissement et l'élargissement d'un ravin préexistant.

plus facilement par le ruissellement). Enfin l'usure par frottement détache une poussière fine en saison sèche que le vent emporte. Tout contribue à la formation d'une dépression longitudinale, qui sera empruntée de préférence par les eaux pluviales. Nous assisterons, comme dans le cas du ravin, à un creusement, un élargissement de cette dépression initiale lorsqu'elle aura atteint la zone affouillable. Nous avons vu près d'Ambalavao une lavaka semblable, découper un éperon latéritique dans le sens de la longueur. Aucune explication : nappe phréatique, glissement, etc... ne peut rendre compte de la forme de cette lavaka, si ce n'est la canalisation de l'eau par le chemin (fig. 12).

c) Les talus de route peuvent être un point de départ pour les lavaka. Le talus doit présenter deux conditions : il doit entailler la zone de départ blanchâtre de la latérite et correspondre à une dépression de la colline qui le surplombe, ce qui est relativement rare, car les tranchées de la route sont plutôt faites pour traverser un col ou une arête latéritique s'avancant dans la vallée. Cependant le cas est assez fréquent pour une route passant à flanc de coteau et nous l'avons noté plusieurs fois.

#### B. CAUSES INTERNES.

Nous avons déjà souligné, pour qu'il y ait formation de lavaka, la nécessité de l'existence d'un horizon supérieur dur, compact, cohérent, reposant sur un horizon friable, sans cohésion, très érodable, constitué par la roche pourrie : le premier protège le second contre toute atteinte de l'érosion, il le recouvre d'un manteau protecteur quelquefois assez mince d'ailleurs. Toute cause, et nous n'en avons cité que quelques-unes, qui entame le manteau suffisamment profondément, risque de provoquer une lavaka. Sa croissance devient alors extrêmement rapide, car l'eau de ruissellement s'attaque à une masse de terre sans consistance.

Dans cet horizon supérieur compact, non plastique, des fentes de dessiccation ou de tensions internes se produisent. Elles sont à l'origine des éboulements de pans entiers et de la verticalité des parois.

Le rôle de la couche supérieure est donc double :

1° elle protège la zone de départ de l'affouillement par les eaux d'où la formation d'un abrupt,

2° lorsqu'elle finit par s'écrouler, l'éboulement se fait le long des plans verticaux préparés par les fissures de dessiccation. D'où la forme en profil de la lavaka.

Si le profil naturel d'un sol latéritique prédispose aux lavaka par la cohésion de son horizon supérieur rouge, compact, assez épais, il peut arriver que l'érosion en nappe ait complètement décapé cet horizon. On assiste alors souvent à la formation d'une croûte terreuse, de quelques millimètres à 2 ou 3 centimètres, consolidée par des lichens et formée directement sur la zone de départ friable. Cette croûte terreuse sur laquelle l'eau glisse sans

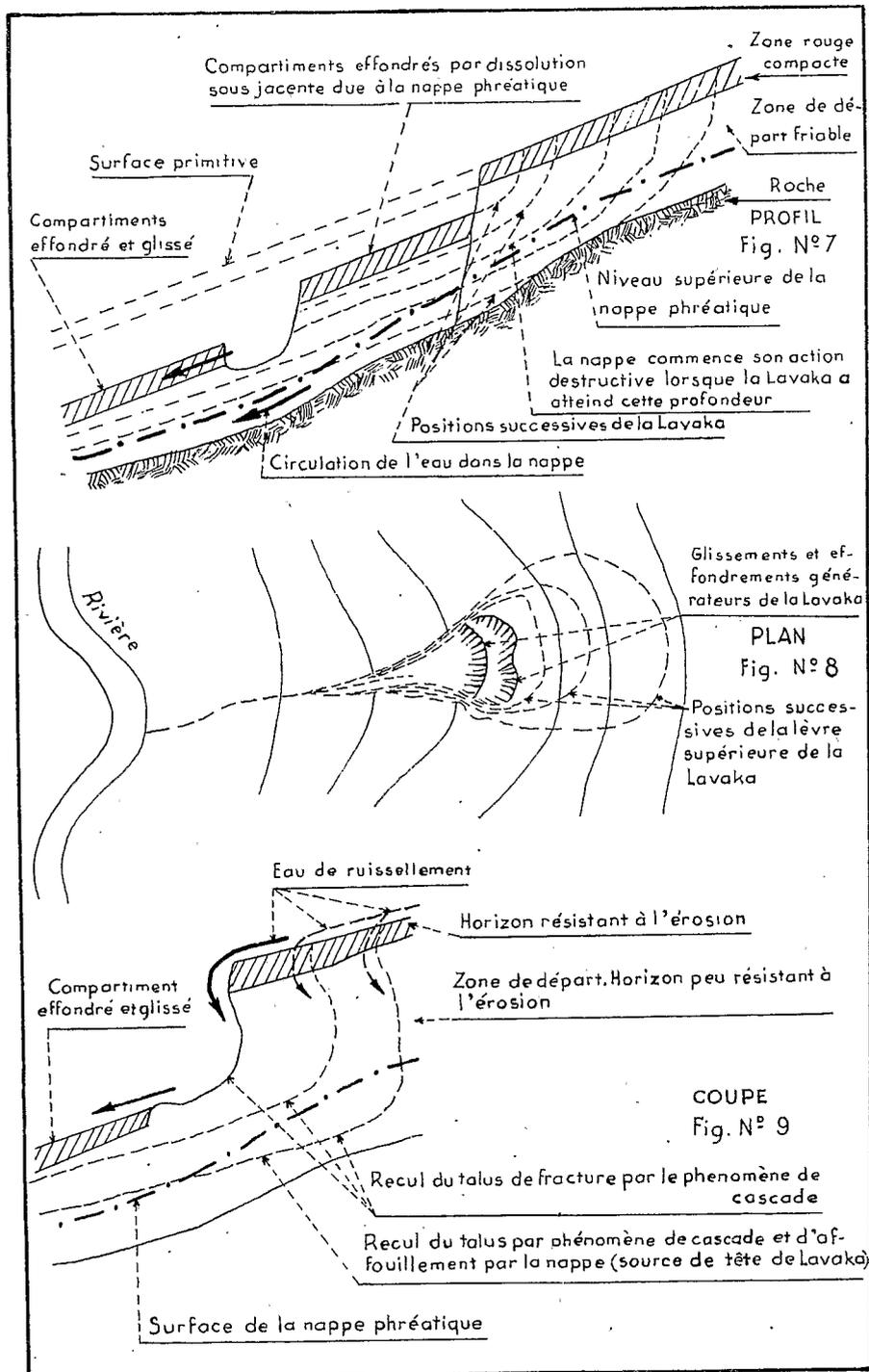


FIG. 7 et 8. — « Lavaka » causée par des glissements et des effondrements de terrain.  
 FIG. 9. — Schéma représentant le recul de la paroi et expliquant sa verticalité par l'existence d'un horizon supérieur cohérent.

érosion, suffit à protéger l'horizon sous-jacent. Si elle est entamée, la lavaka commence directement dans l'horizon friable.

Elle sera d'autant plus spectaculaire, qu'elle sera plus profonde. Comme l'approfondissement est limité par la roche-mère sous-jacente, les plus belles lavaka se trouveront dans les sols les plus épais. Ce cas est très fréquent dans les anciennes pénéplaines. La roche s'altère plus rapidement en profondeur que l'érosion n'enlève la partie superficielle du sol et les phénomènes de sédimentation, d'alluvionnement, de colluvionnement, sont actifs. Après pénéplaiation on assiste très souvent à un nouveau cycle d'érosion, c'est alors que la pénéplaine est entaillée de toutes parts par les lavaka.

Si la lavaka se forme directement dans une argile latéritique formée *in situ*, la roche doit être profondément altérée. Or les roches riches en feldspaths et en micas : gneiss, granit, schiste métamorphique, sont celles qui résistent le moins aux agents chimiques de désagrégation (d'autre part la présence de mica facilite les glissements dont nous verrons plus loin l'importance).

Par contre les roches riches en minéraux ferro-magnésiens, telles que les gabbros, basaltes, etc..., donnent des sols et surtout des zones d'altération moins épaisses, donc des formes d'érosion moins profondes. De plus le sol provenant de ces roches se divise en de multiples agrégats sans cohésion entre eux. Les talus ne peuvent donc rester verticaux. Nous assistons à la formation de ravin en V très ouvert et non à une lavaka (Pl. VI A, fig. 13).

Les quartzites donnent des arènes sableuses sans lavaka. Cependant les filons de quartz dans un gneiss freinent l'érosion, ils restent en relief et ralentissent l'arrachement par l'eau des matériaux plus meubles.

Les cendres volcaniques peuvent être considérées comme une roche meuble homogène. Si le sol est vieux, latéritique, un horizon rouge ou brun compact existe à sa surface et nous aurons des lavaka assez semblables à celles que l'on trouve sur les gneiss (fig. 14 et 15). Si le sol est jeune, peu épais, il est lui-même poudreux, cendreux, sans cohésion, il se forme alors des ravins très profonds allant du haut en bas de la colline, rarement ramifiés, sans ressaut en marche d'escalier comme dans les lavaka typiques (fig. 16 et 17).

Si la roche influe sur la forme d'érosion, la végétation joue aussi son rôle.

Pas de lavaka en forêt pour plusieurs raisons : l'érosion en nappe est moins sévère, les racines retiennent le sol, l'horizon superficiel est meuble et perméable, l'humidité plus constante empêche les fentes de dessiccation. Seuls des ravins peuvent se former. Les glissements lents sont très fréquents, mais difficiles à voir. On constate souvent, après déboisement, des loupes de solifluction. Si une lavaka a tendance à se former, elle est rapidement reprise par la végétation et stabilisée.

Sous savoka les conditions sont les mêmes mais beaucoup moins accentuées, quelques lavaka peuvent apparaître.

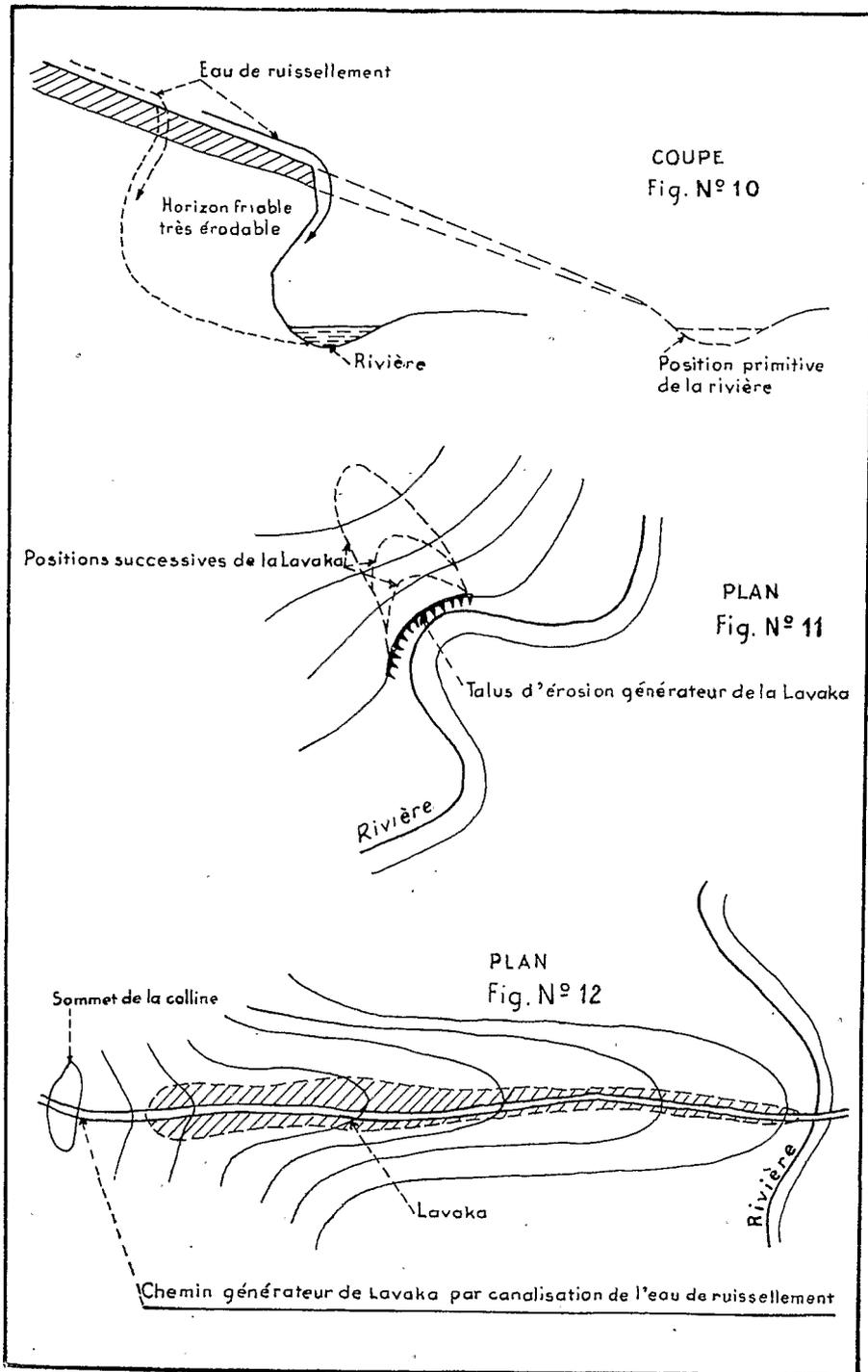


FIG. 10 et 11. — Genèse d'une « lavaka » à partir du talus d'érosion d'une rivière.  
 FIG. 12. — « Lavaka » créée par un chemin qui a canalisé l'eau de ruissellement.

Sous prairie le sol durcit, devient compact sur une assez grande profondeur, de grandes fentes de dessiccation se produisent pendant la saison sèche. Le sol possède un haut point de flétrissement, présente de fortes pertes par évaporation, une haute densité, il ne permet plus la croissance des plantes. Sans végétation le ruissellement devient intense, toutes les conditions sont réalisées pour la formation des lavaka.

En résumé, les lavaka les plus profondes, atteignant quelquefois 50 m, se produisent surtout sous prairie, dans les zones à gneiss, granit et schiste métamorphique, ou dans les pénéplaines. Les conditions optima sont :

1°) un horizon superficiel, argileux, compact, de 0,20 à 5 m (d'épaisseur suffisamment faible pour être sciée complètement par l'érosion) ou une croûte terreuse à lichen ;

2°) une zone d'altération de la roche la plus épaisse possible.

Nous avons passé en revue les principales causes de formation des lavaka :

A) *externes* : déforestation, feux de brousse, abus de pâturage, concentration du ruissellement par routes, sentiers, fossés, passage de bœufs, etc... ;  
 B) *internes* : horizon compact superficiel de peu d'épaisseur relative sur une roche pourrie altérée profondément. Nous n'avons cité que les cas les plus courants, mais des accidents imprévisibles peuvent déclencher le processus de lavakisation.

### III. CLASSIFICATION

On peut classer les lavaka :

1° d'après leurs formes en plan : formes bulbeuses, dendritiques, composées, ovalaires, en éventail. Les ravins sont au contraire linéaires, parallèles ou ramifiés ;

2° d'après la forme en coupe des parois, elle-même en relation avec la forme en plan de la tête de lavaka. Une paroi verticale correspond à une forme arrondie ; une paroi excavée à une excroissance de la courbure générale (voir fig. 18 et 19).

### IV. STADES D'ÉVOLUTION DES « LAVAKA »

#### 1<sup>er</sup> STADE.

1) Le ruisseau canalisé par un ravin naturel, un sentier, un passage de bœufs, etc... creuse l'horizon argileux superficiel (Pl. XI A). Cet horizon étant de texture uniforme et compact, résiste assez bien à l'érosion. Cependant une partie de l'argile n'est pas coagulée, elle se disperse dans l'eau et est entraînée. L'eau devient trouble et le sable libéré se dépose dans le fond du ruisseau. On peut d'ailleurs constater une séparation par lévigation du quartz des minéraux lourds tels que magnétite, ilménite, hématite. Si le courant

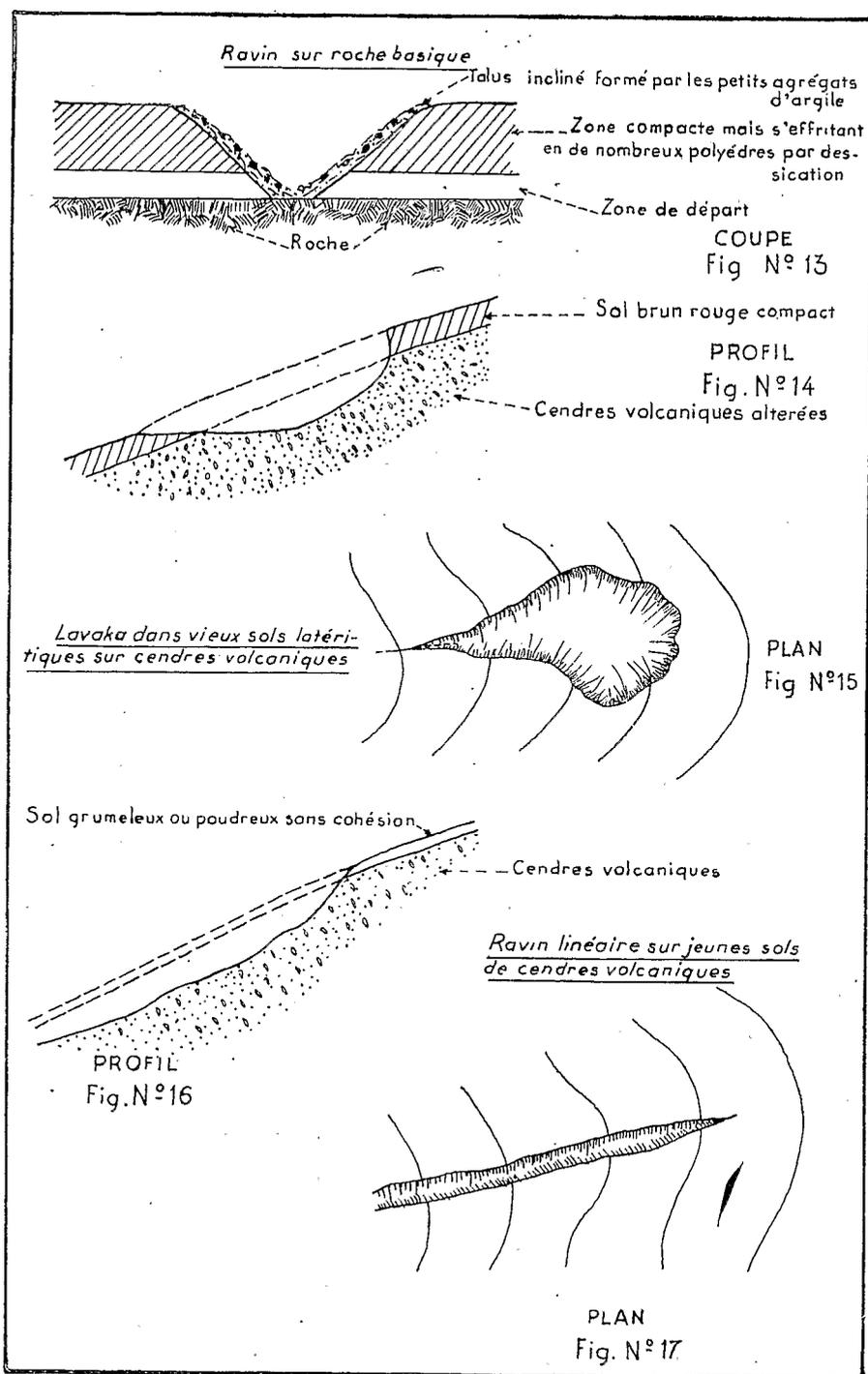


FIG. 13. — Forme d'un ravin sur roche basique : basalte, gabbro, etc... — FIG. 14 et 15. — « Lavaka » dans un vieux sol latéritique sur roches volcaniques. — FIG. 16 et 17. — Ravin linéaire sur cendres volcaniques fraîchement épandues.

est violent, le sable est lui-même entraîné, et, pris dans les tourbillons, il érode les parois du canal. Il creuse des cuvettes ou marmites de géant (Pl. XI A). Bientôt les marmites s'approfondissent, se rejoignent entre elles. L'argile est toujours entraînée par dispersion, on a l'impression que l'eau agit comme un véritable dissolvant. Les formes d'érosion sont un peu semblables à celles que l'on rencontre dans les calcaires. Le résultat final est un canal très profond, aux parois abruptes grâce à la cohésion du matériel.

S'il y a des fentes préexistantes par suite de la sécheresse, l'eau descend dans ces fentes, élargit son chemin, créant quelquefois des arches et des ponts naturels.

L'horizon argileux rouge est véritablement scié par le ravin jusqu'à ce que l'eau atteigne la zone de départ ou roche pourrie. Ce premier stade passe souvent inaperçu, la surface intéressée est faible et cachée par les herbes. Mais le processus s'accélère lorsque l'eau a complètement percé l'horizon supérieur résistant, elle entraîne sans difficulté les matériaux sans cohésion de la zone de départ (constitués de quartz et de feldspaths altérés). Elle affouille la base des parois du canal qui déjà verticales s'effondrent rapidement, le canal initial s'élargit, une petite lavaka est formée (fig. 5 et 6). Il est évident qu'il se produit un ressaut vertical à l'endroit où l'eau quitte la partie compacte à moitié sciée pour tomber dans la zone friable. Ce ressaut est à l'origine de la paroi verticale tête de lavaka.

2) Lorsque la cause première est un glissement, nous passons presque directement au deuxième stade d'évolution par recul du talus provenant de la fracture.

3) Si la cause première est une érosion en nappe sévère, on peut, soit passer par le stade « petits ravins », qui s'approfondissent comme ci-dessus, soit par le recul de la marche d'escalier par phénomène de cascades (voir causes externes naturelles, paragraphe A).

## 2<sup>e</sup> STADE.

C'est le stade de maturité, du développement grandiose de la lavaka. De nombreux phénomènes collaborent à ce développement, nous insisterons cependant sur les deux principaux : 1<sup>o</sup>) érosion et recul de la paroi verticale par l'eau coulant en cascade le long de cette paroi ; 2<sup>o</sup>) érosion en ravins des éboulis.

Le premier phénomène explique l'augmentation de la surface occupée, le second l'approfondissement de la lavaka. Les deux sont simultanés et concomittants. Ils sont eux-mêmes le résultat de phénomènes élémentaires tels que : usure de la lèvres supérieure, excavation, éboulement, glissement, dissolution.

Ce qui fait l'originalité de la lavaka c'est sa paroi verticale. Voici comment elle peut s'expliquer. Le ressaut vertical, apparaissant dans le ravin initial, ou formé par le talus d'effondrement, ou par le talus d'érosion en nappe,

se met à reculer et à s'approfondir. La figure 20 met en lumière les phénomènes élémentaires.

L'eau de ruissellement, après avoir coulé sur l'horizon imperméable résistant à l'érosion, peut : a) s'infiltrer dans une fente et humecter l'horizon

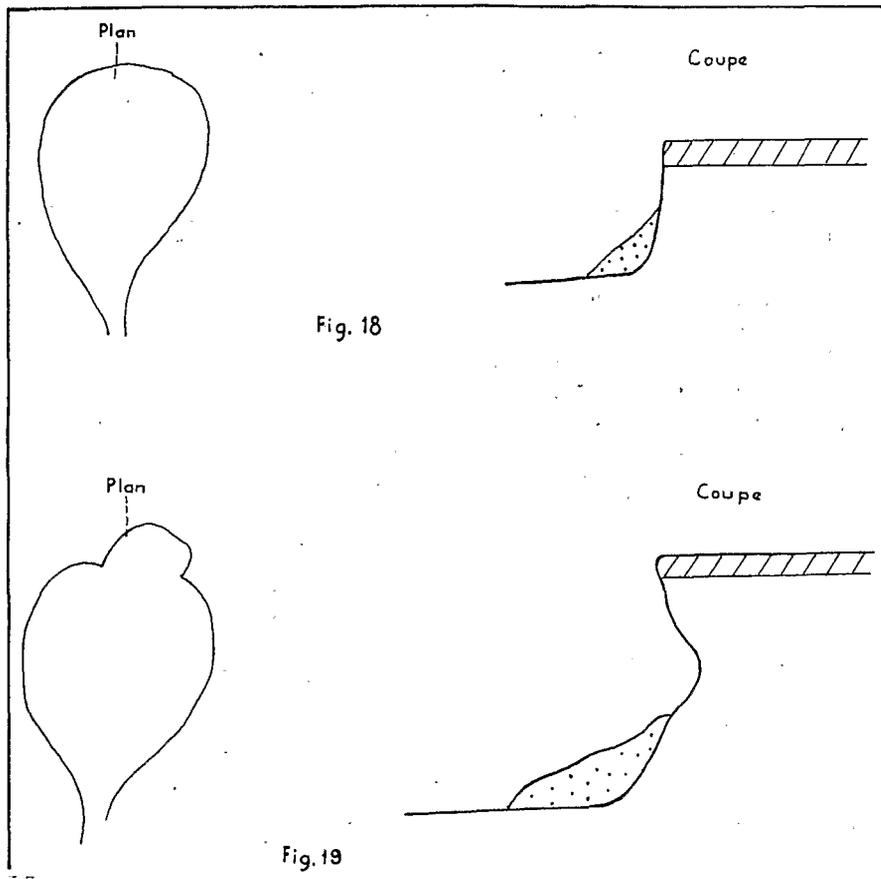


FIG. 18 et 19. — Formes des « lavaka ».

sous-jacent ; b) couler le long de la paroi verticale créée (c'est le cas le plus fréquent), et humidifier encore la zone friable. Cette zone, déjà facilement érodable, s'entraîne d'autant plus facilement qu'elle est saturée. Il se produit une excavation sous la lèvre supérieure qui finit par s'effondrer. Un autre phénomène conduisant au même résultat est le suivant : l'eau, coulant le long de la paroi, humecte 5 à 10 cm de sol. Une tranche verticale saturée d'eau se trouve au contact du sol sec. A la surface de séparation la cohésion est presque nulle. La tranche humide par son propre poids se détache du sol laiss-

sant une excavation limitée par un redan arqué (bas de la Pl. IX A, figure 24). C'est en réalité le décollement d'une plaque de sol le long de la discontinuité zone humide-zone sèche. c) Si une racine par exemple fait gargouille, l'eau tombe directement en cascade d'une certaine hauteur. Sa force vive creuse à la base du mur vertical un petit bassin qui imbibe encore la base du mur. Des éclaboussures peuvent d'ailleurs rejaillir sur le mur.

Il n'est pas nécessaire de supposer une nappe phréatique pour expliquer la saturation en eau de la roche pourrie. Cette nappe, si elle existe, est beaucoup plus profonde en général.

La paroi verticale recule donc : 1°) par usure directe de la paroi, grâce à l'eau coulant le long de celle-ci. Il est fréquent de trouver des cannelures attestant cette usure aux passages préférentiels de l'eau (Pl. VI B et XI B); 2°) par écoulement consécutif à une excavation (Pl. VII A); 3°) par glissement d'un pan de latérite (si la schistosité de la roche est favorable et à la suite de la lubrification par l'eau); 4°) par affaissement causé par une disparition de matière (argile colloïdale, vraie dissolution des bases) au niveau inférieur du mur (fig. 22, et Pl. XII B).

Les fentes parallèles à la lèvre supérieure de la lavaka jouent un très grand rôle. Elles ont plusieurs origines. La dessiccation des argiles rouges durant la saison sèche produit des fentes de retrait aux endroits de plus faible résistance (Pl. IV B et VII B). Souvent une racine et son chevelu se trouvent dans la fente. Elle a pu contribuer à sa formation, d'une part par assèchement local, d'autre part par son gonflement, qui écarte les parois de la fente. Les fentes de retrait se forment d'autant plus facilement que la lèvre supérieure est exposée aux rayons solaires à la fois en surface et sur son flanc.

Une autre cause de formation des fentes est la poussée lente des terres. Elle n'est plus équilibrée du côté de l'excavation par la masse de sol qui a disparu, entraînée par érosion. Cette poussée lente se produit surtout à la partie supérieure de la paroi verticale, car la base est épaulée par les éboulis. Le bloc de terre, tenu par la base, poussé par le haut, a tendance à basculer, une fente de rupture se produit parallèlement au mur de la lavaka.

Aux premières pluies de la saison humide l'eau se précipite dans ces fentes et affouille la partie inférieure (Pl. VIII A). Souvent il n'existe qu'un gros effondrement par an au début de la saison des pluies. Chaque effondrement laisse des témoins. Ils permettent de connaître approximativement l'âge de la lavaka et sa vitesse de recul. La lavaka progresse de 5 à 10 m en quelques jours de pluie. Elle est stable en saison sèche. Les premières pluies sont les plus dangereuses, mais une alternance de pluies fines et de pluies violentes causé aussi de graves dégâts. Les pluies fines saturant les parois qui s'écroulent et forment des éboulis. La pluie violente qui succède entraîne les matériaux écroulés et effrités qui n'opposent aucune résistance, et déblaie le fond de la lavaka en préparant de nouveaux éboulements.

L'enlèvement des éboulis est absolument obligatoire pour une nouvelle progression. Une érosion en nappe ou en ravins très active (Pl. VIII B)

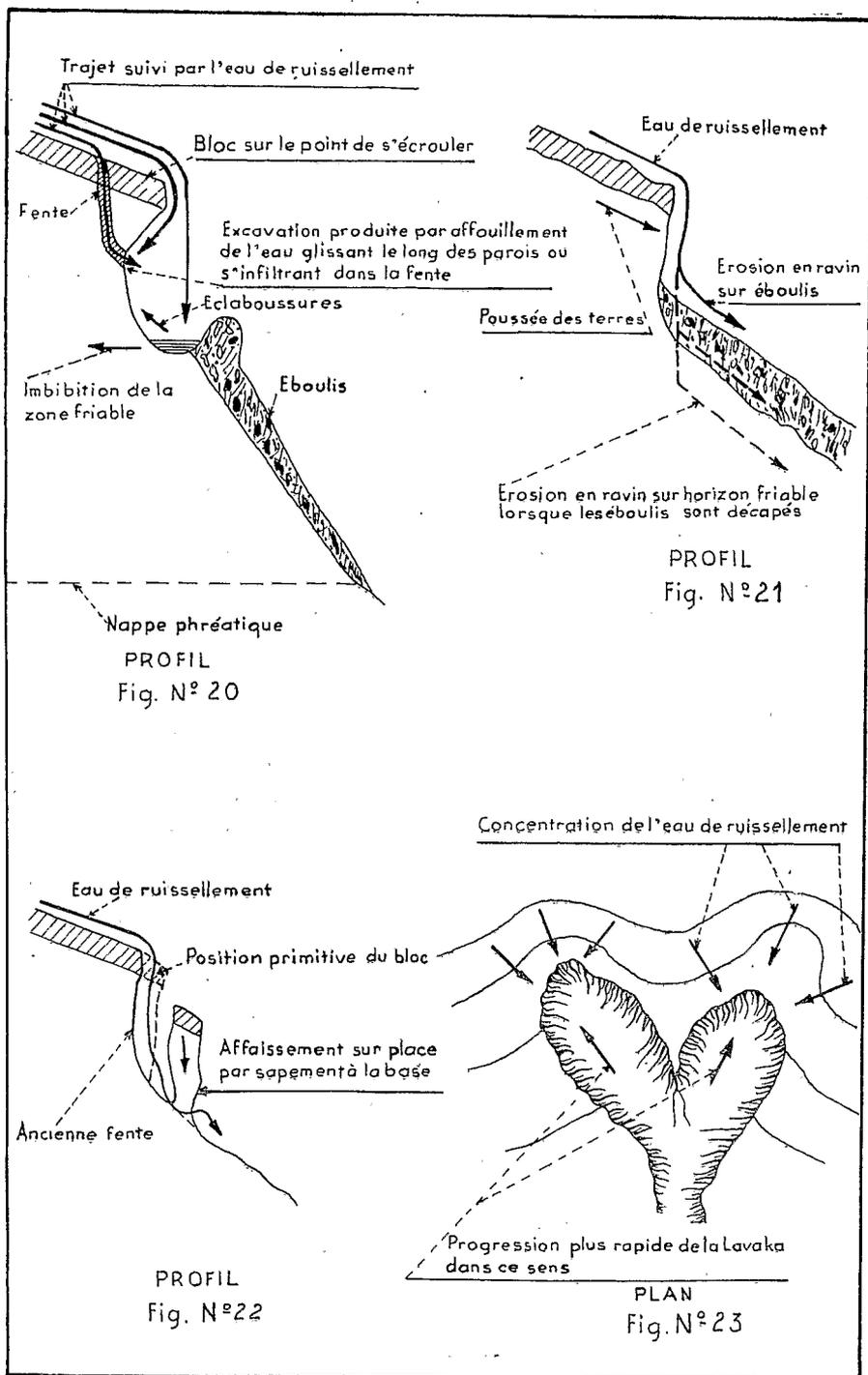


FIG. 20. Phénomènes élémentaires générateurs de la « lavaka ». — FIG. 21. Érosion à l'intérieur de la « lavaka » sur les éboulis et sur la zone de départ. — FIG. 22. Une des explications de la formation des cheminées de fée. — FIG. 23. « Lavaka » complexe.

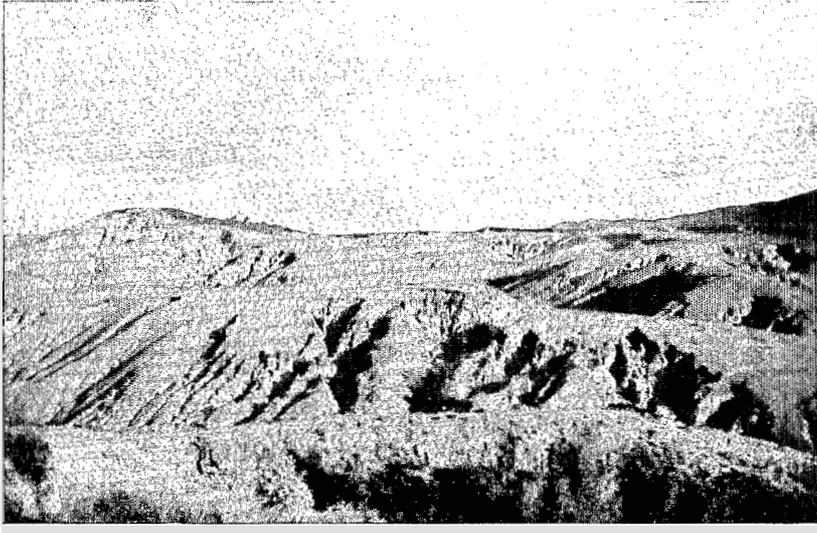
s'attaque à ces matériaux très meubles (émiettements par la chute, arènes de minéraux sans cohérence). Un collecteur central sape la base des éboulis (Pl. VIII B et XIII B) et les empêche d'atteindre leur profil d'équilibre. A un stade très avancé, la lavaka est très large et se comporte comme un vaste bassin de réception. L'érosion interne sur les éboulis et sur le fond creuse et élargit sans cesse. Les parois verticales dont la hauteur va croissant finissent par s'ébouler. La lavaka peut ainsi progresser jusqu'à la crête de la colline, ou le changement de pente d'un plateau. L'eau reçue de la partie supérieure devient insignifiante puis nulle. L'érosion interne suffit à la faire progresser. L'érosion sur les éboulis ou sur la zone de départ (lorsque tous les éboulis ont été décapés) est d'autant plus intense que le sol est sans végétation. Celle-ci ne peut s'installer sur un sol perpétuellement remué, sans humus, et souvent recouvert par de nouveaux éboulis. Il se produit enfin un fendillement (par altération chimique, alternative de sécheresse et d'humidité, changement de température, gonflement des algues) qui désagrège la partie superficielle des éboulis. Les petits agrégats formés sont facilement entraînés à la première pluie.

Nous insistons sur ce travail de déblaiement qui permet une nouvelle avance de la lavaka. Lorsqu'il cesse, les éboulis restent sur place, atteignent leur profil d'équilibre, empêchent les éboulements de la paroi verticale, on atteint le 3<sup>e</sup> stade c'est-à-dire la sénilité et la stabilisation.

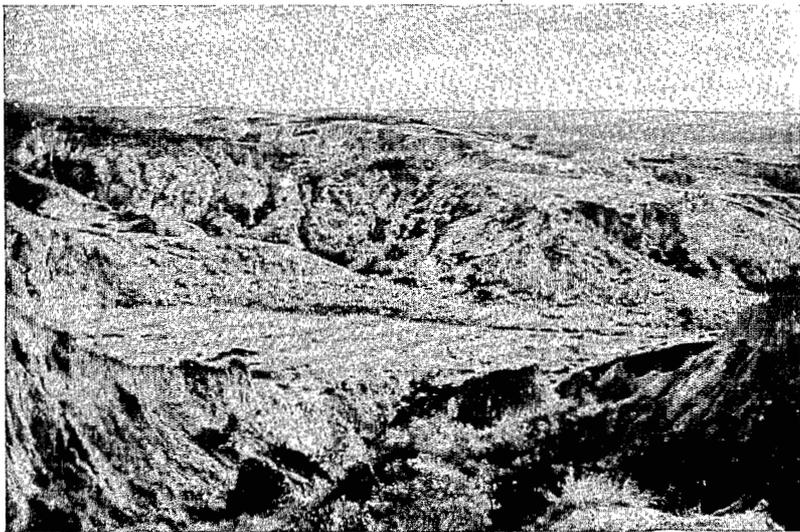
Si, après avoir étudié les processus de détail, nous considérons la vue d'ensemble, nous assistons à une érosion régressive du petit ruisseau (d'ailleurs intermittent) qui draine la lavaka. Le niveau de base est constitué par la vallée dans laquelle aboutit la lavaka, mais l'érosion régressive et l'approfondissement peuvent être arrêtés par un nouveau niveau de base constitué par la roche mère. En effet, après avoir découpé toute la roche pourrie, l'érosion atteint la roche saine. Elle est presque toujours invisible, car elle est cachée par les éboulements et les alluvionnements du fond de la lavaka. La lavaka ne pourra donc atteindre son plein développement que si la roche est profonde, sinon elle restera au stade ravin. C'est le cas des sols squelettiques ou des sols sur roches basiques.

Un autre phénomène intervient dont nous n'avons pas parlé jusqu'ici et auquel certains attribuent de très grosses conséquences. Dans son approfondissement le fond de la lavaka rencontre la nappe phréatique qui repose d'ailleurs en général sur la roche saine (elle sature la zone de départ qui fournit un bon réservoir naturel pour l'eau). Nous ne verrons donc des sources en tête de la lavaka qu'au stade d'évolution le plus avancé. Si la nappe est très profonde, nous pouvons affirmer qu'elle a été sans action pendant toute la durée de creusement et d'élargissement de la lavaka. Si, par contre, elle est près de la surface, elle provoque des affouillements à la base de la paroi verticale et des éboulements de la partie supérieure.

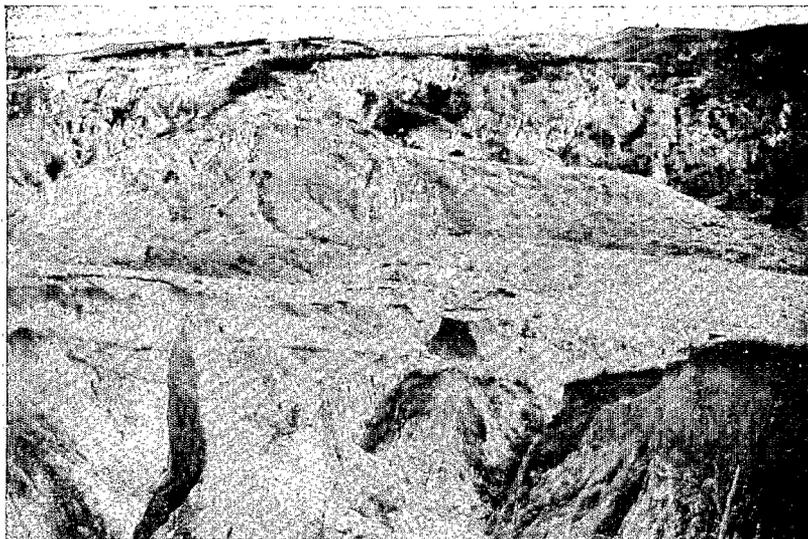
L'eau travaille énormément en sous-sol dans les argiles latéritiques : elle dissout les bases, entraîne la silice et même le kaolin sous forme colloï-



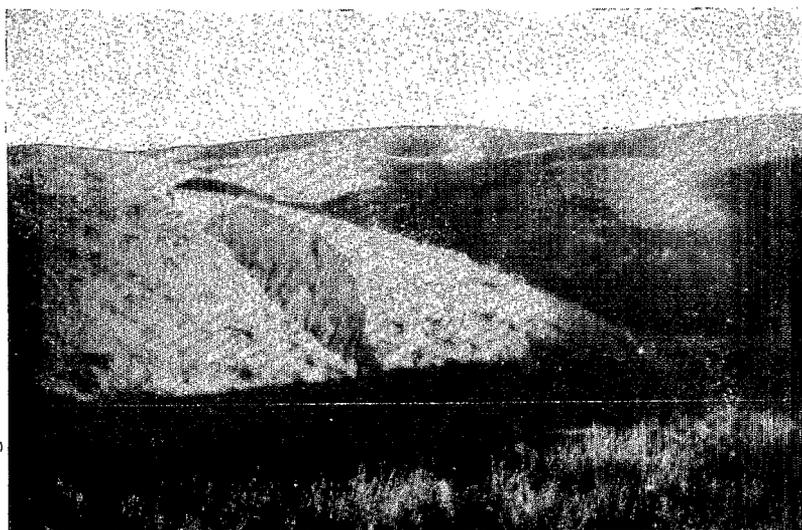
A. — Vue générale d'une région attaquée par les lavaka (région à l'Est du Lac Alaotra).  
Divers stades d'évolution allant du simple ravin à la lavaka proprement dite.



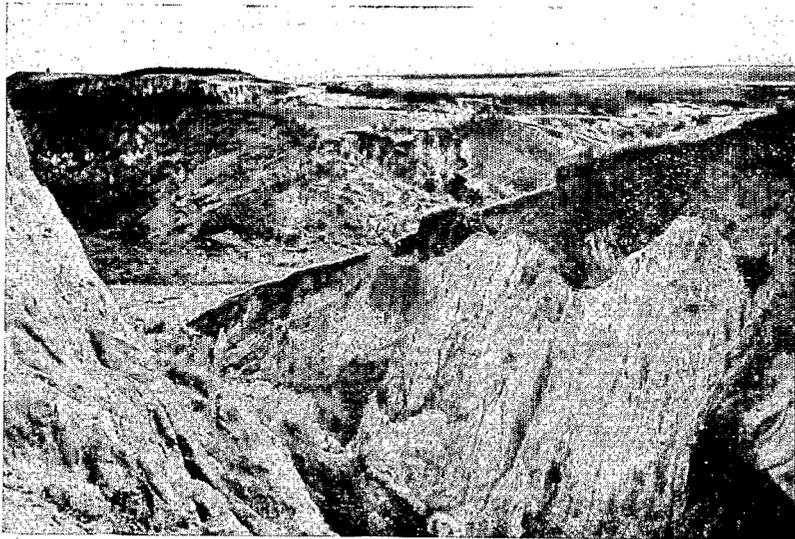
B. — Région attaquée par les lavaka. Essai sans grand résultat de fixation  
par le reboisement (région du Lac Alaotra).



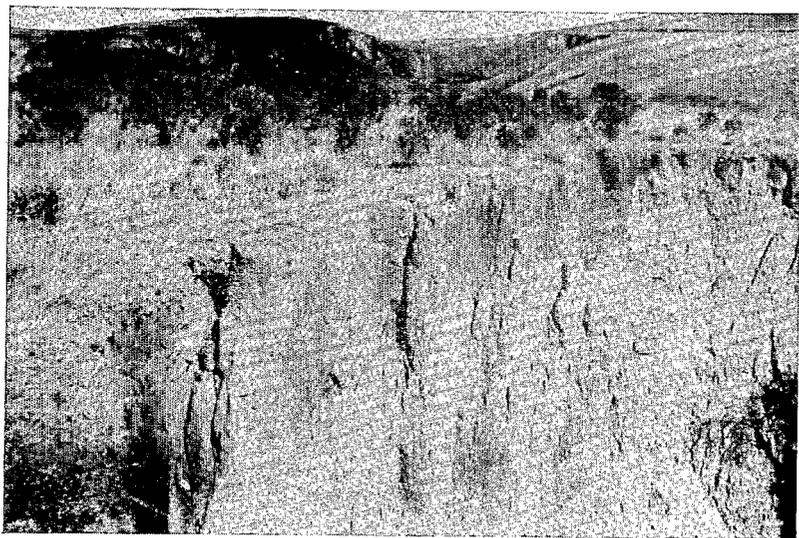
A. — Cheminées de fée (piton au premier plan et bloc parallélépipédique au second plan), vestiges de l'ancienne surface topographique (région du Lac Alaotra).



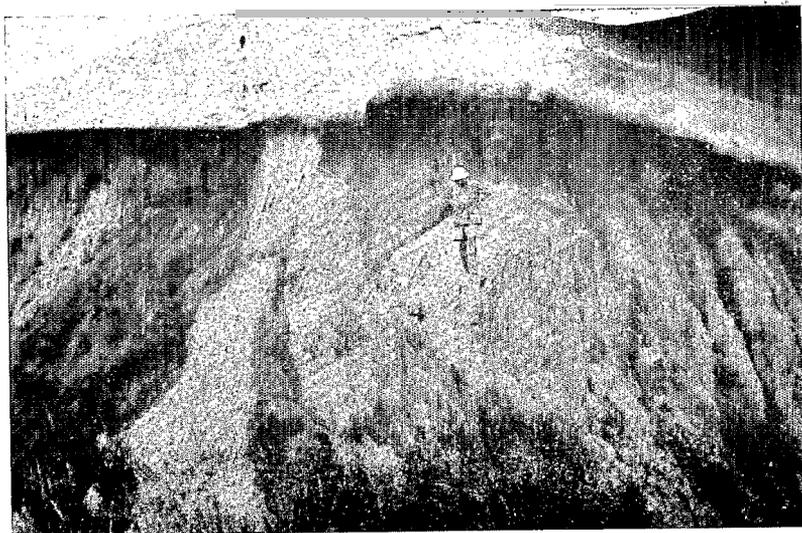
B. — Lavaka de forme parfaite provenant d'une érosion en nappe encore visible sur la croupe de la colline (région Ouest du Lac Alaotra).



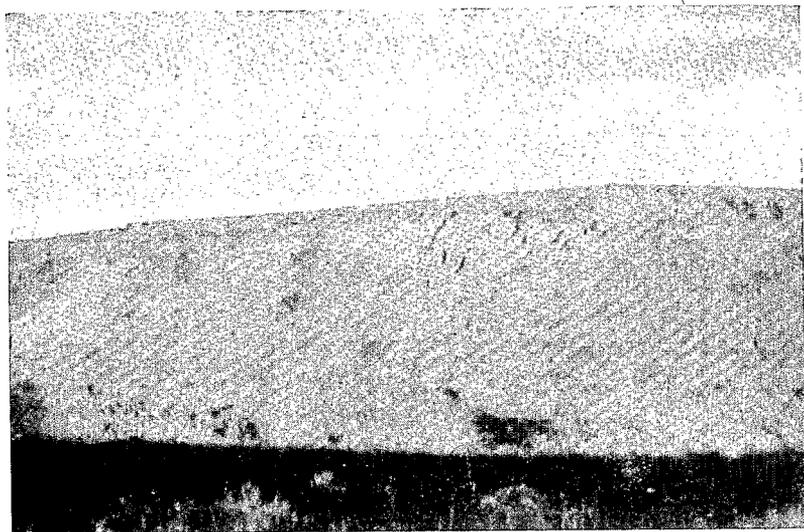
A. — Zone d'altération de la roche, attaquée par l'érosion dans le fond d'une lavaka (partie blanche de la photo) (région du Lac Alaotra).



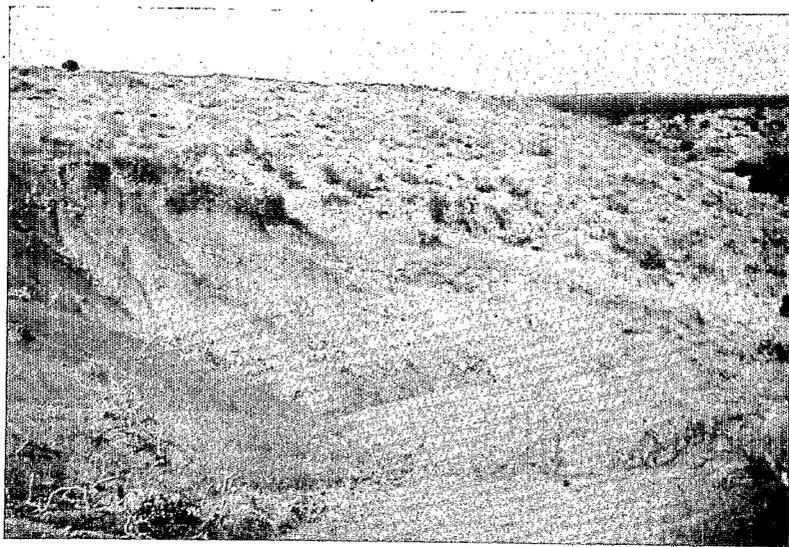
B. — Paroi verticale avec fentes et blocs en voie de détachement en tête de lavaka (région Est du Lac Alaotra).



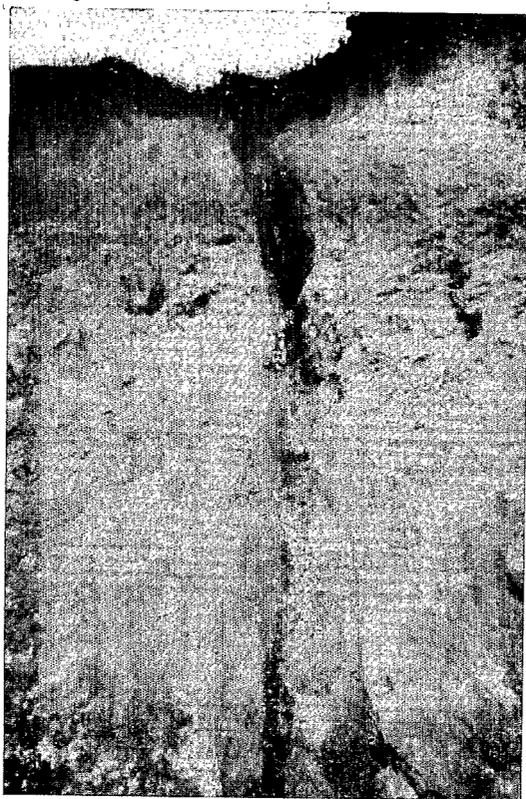
A. — Deux lavaka se sont rejointes sur la crête, l'érosion continue à l'intérieur de chaque lavaka (région Est du Lac Alaotra).



B. — Érosion en nappe intense dégénéralant en érosion en rigoles, avec ressaut dû à des différences dans la compacité du terrain (région Ouest du Lac Alaotra).



A. — Ravins à parois inclinées sur roches volcaniques (Anjouan).



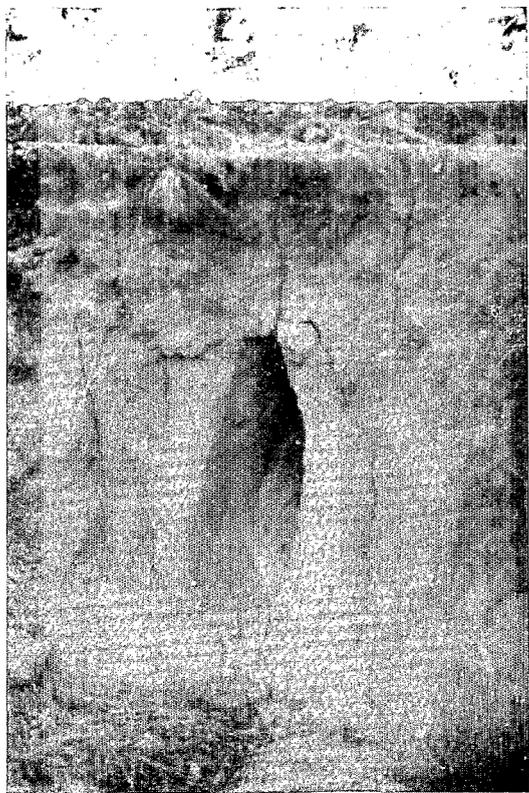
B. — Cascade de tête de lavaka sciant la paroi verticale et échancrure de la lèvre supérieure (région Ouest du Lac Alaotra).



A. — Racines d'arbres protégeant de l'érosion en cascade. Excavation à la base de la paroi verticale dans la partie non protégée. Blocs effondrés avec arbuste. Lavaka progressant à partir d'un talus de route (tranchée de la Mort à Tananarive).



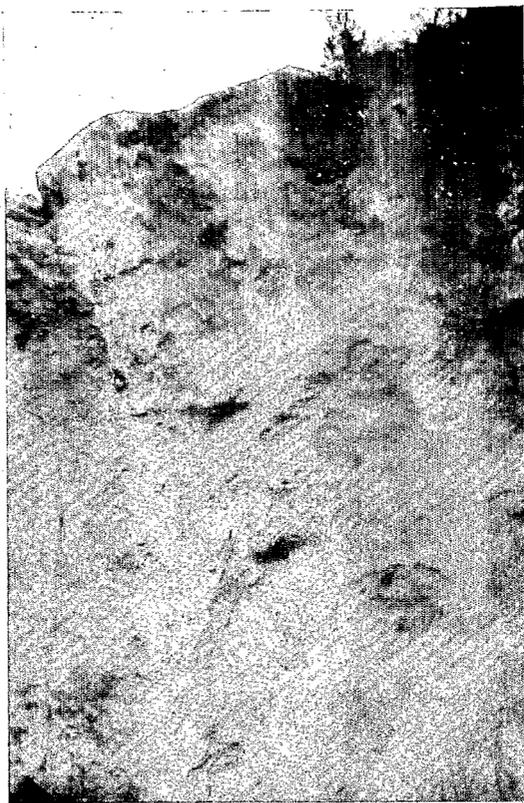
B. — Fente en tête de lavaka (région Ouest du lac Alaotra).



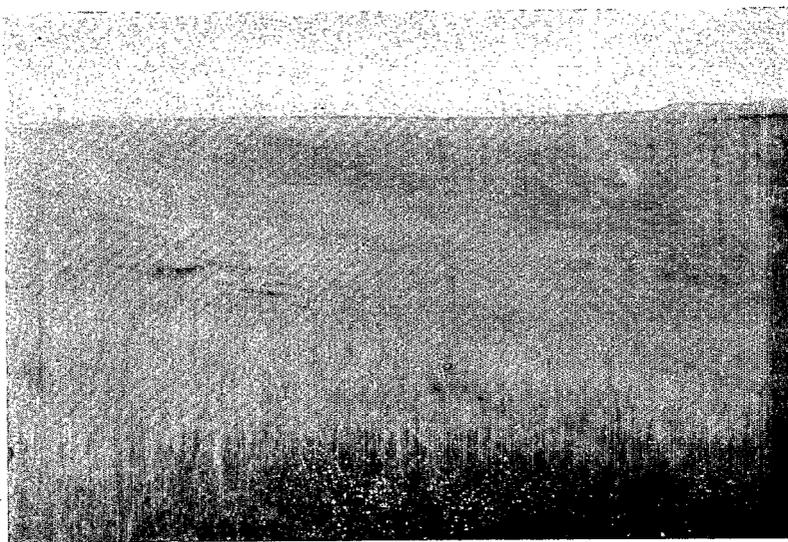
A. — Fentes. Excavation due à un bloc détaché par l'eau et infiltration (route de Tananarive à Ambatolampy).



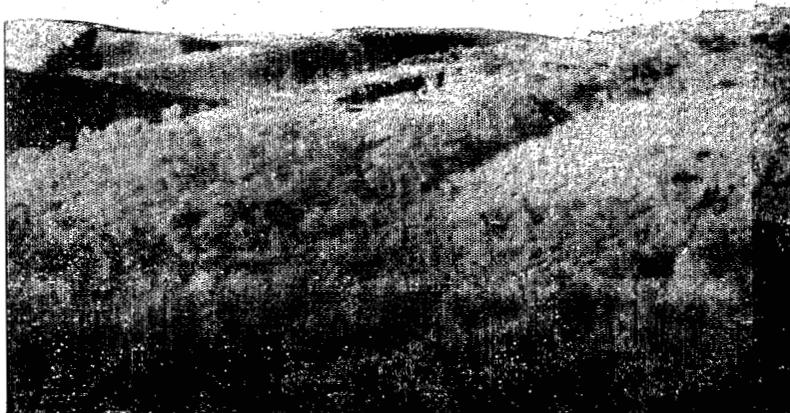
B. — Grande lavaka provoquée par un chemin. Érosion interne des éboulis et de la zone départ par des rigoles (région Ouest du Lac Alaotra).



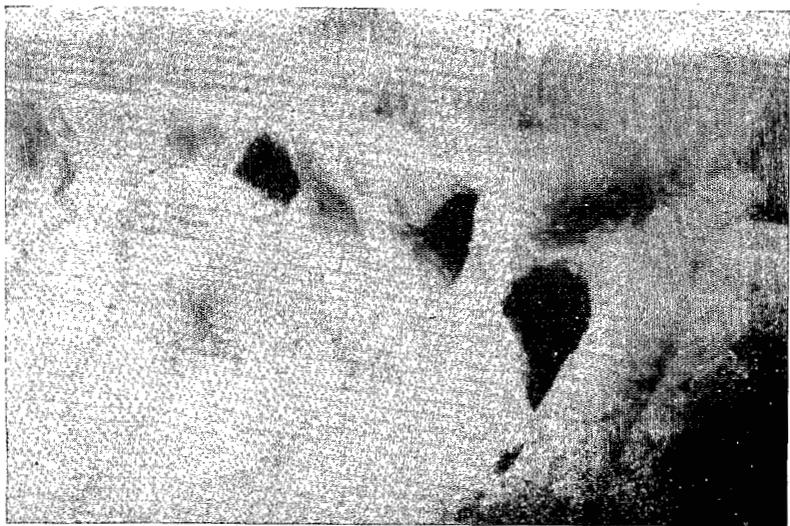
A. — Décollement de plaques de sol sur la paroi verticale (bas de la photo). Revêtement par des colloïdes ruisselant sur la paroi (bandes sombres de la photo) (route de Tananarive à Ambatolampy).



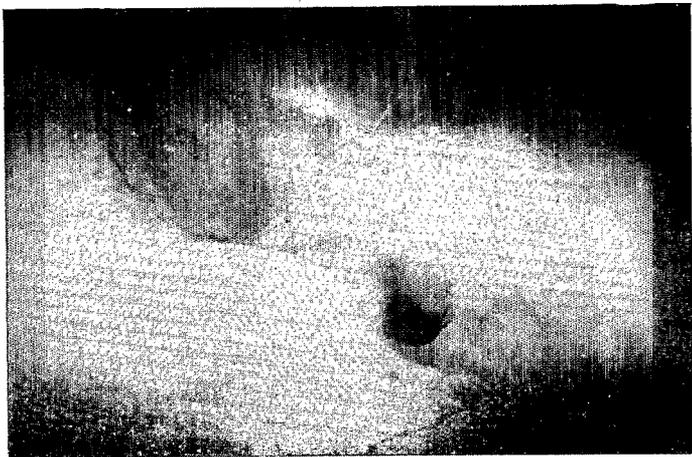
B. — Vieille lavaka stabilisée (région Est du Lac Alaotra).



A. — Début de lavaka à mi-pente (région Ouest du Lac Alaotra).



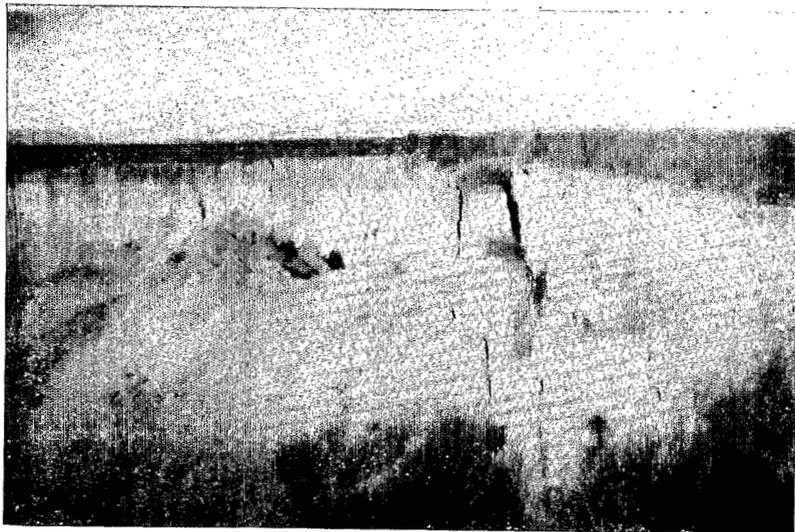
B. — Ressaut en marche-d'escalier dû à une érosion en nappe intense sur un horizon supérieur peu érodable et un sous-sol moins résistant (région Ouest du Lac Alaotra).



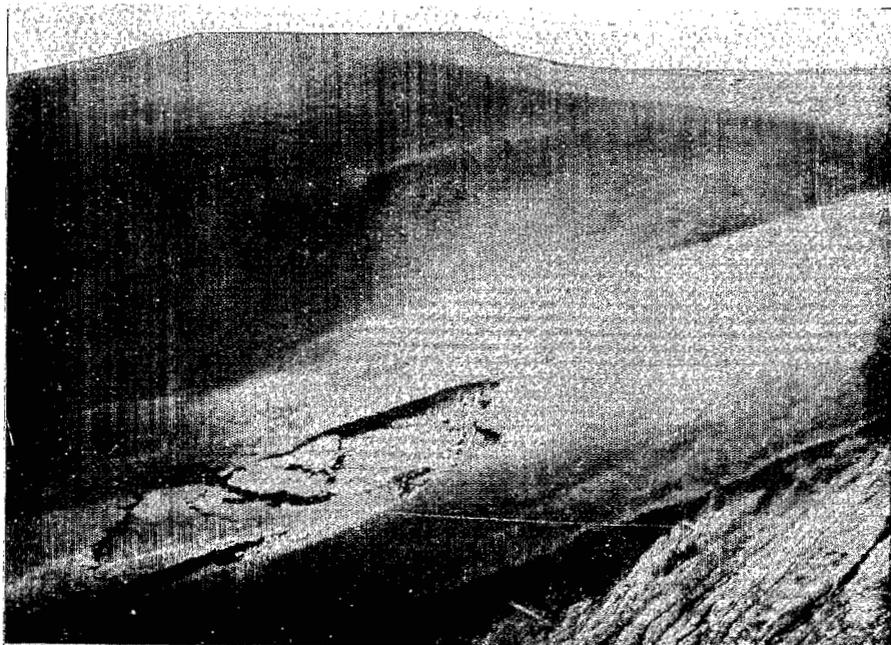
A. — Érosion en « marmite de géant » sur un sentier à sol compact (Ouest du Lac Alaotra).



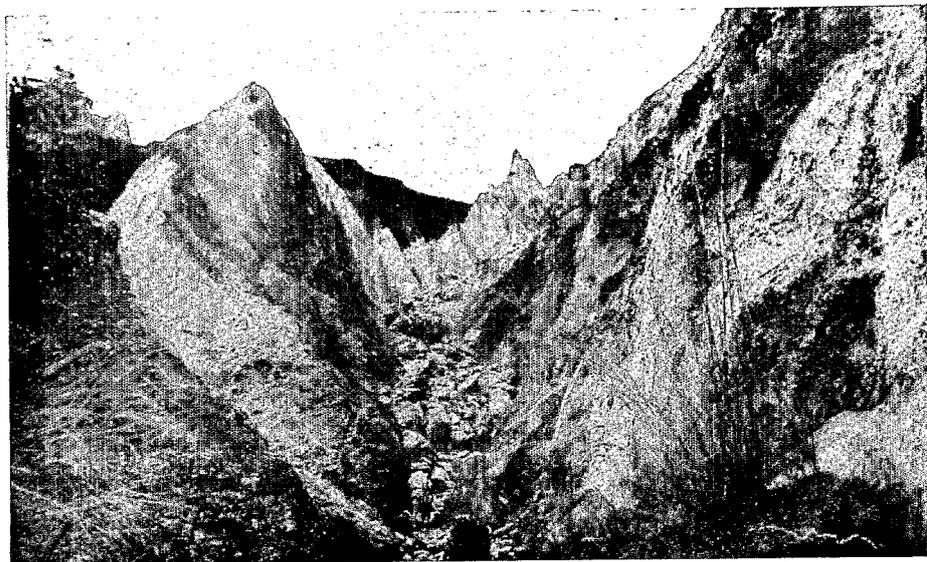
B. — L'eau, ruisselant en cascade sur la paroi verticale en tête de lavaka, creuse des sillons et des excavations (route de Tananarive à Ambatolampy).



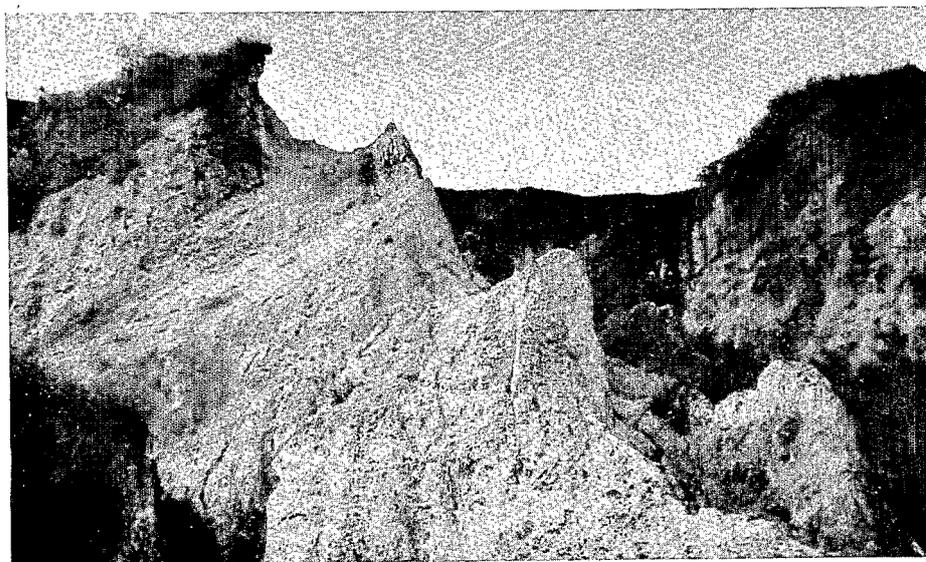
A. — Blocs séparés par des fentes, s'affaissant sur place ou s'écroutant pour former des éboulis (Ouest du Lac Alaotra).



B. — Glissement et affaissement dus à une nappe phréatique. Attaque du talus friable selon les processus ordinaires (Menaloha, Est du Lac Alaotra).



A. — Arête entre deux lavaka formée de la masse blanchâtre et friable de la zone d'altération de la roche (Est du Lac Alaotra).



B. — Lit torrentiel avec gros blocs de quartz dans le fond d'une lavaka. Persistance sous forme d'arêtes des parties plus résistantes à l'érosion. Érosion interne considérable dans cette masse friable sans consistance (Ouest du Lac Alaotra).

dale. Elle provoque donc des vides par disparition de matière. Des pans de latérite peuvent s'affaisser sur place sans basculer. La partie affaissée garde sa couverture herbacée et son horizon compact superficiel, elle est donc protégée contre l'érosion et forme des colonnes de terre en relief au milieu des éboulis. Mais la nappe phréatique n'est pas toujours la cause de cette forme d'érosion, les blocs détachés de la paroi verticale par fente et excavation à la base peuvent présenter le même aspect s'ils sont assez gros et non démantelés par leur chute.

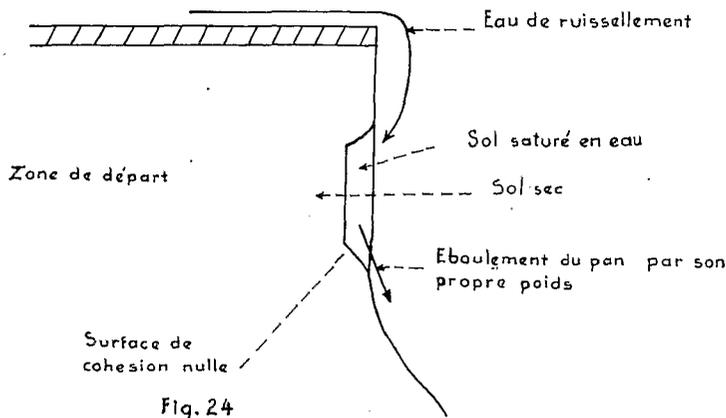


FIG. 24. — Un des phénomènes élémentaires expliquant les excavations à la base de la paroi verticale.

Nous avons noté personnellement trois modes de formation de ces espèces de cheminée de fée : 1) affaissement d'un bloc terreux détaché de la paroi verticale sans basculement (Pl XII A). L'eau s'insérant dans la fente contourne la colonne de terre et la sape à la base (fig. 22) ; 2) une nappe phréatique dissout les éléments à la base du bloc, c'est le cas envisagé dans le paragraphe précédent ; 3) la cohésion est suffisante pour maintenir les parois verticales, il n'y a pas eu écoulement. La progression de la lavaka continue de chaque côté et passe derrière le bloc qu'elle isole (Pl. III A). Contrairement aux cas précédents, le niveau supérieur de la cheminée de fée reste au niveau de la surface topographique préexistante, il n'y a pas affaissement.

Ces cheminées de fée persistent tant que la surface supérieure couverte de végétation la protège de la pluie et tant que l'érosion de ruissellement sur les éboulis ne provoque pas des pertes de matériaux à la base de la colonne (l'écroulement survient d'ailleurs plus ou moins rapidement).

La présence de la nappe phréatique déclenche d'autres phénomènes. Elle transforme la zone de départ en masse visqueuse. Si la roche possède

une déclivité, il se produira des glissements de toute la masse de terre le long de la roche. Ces glissements sont encore facilités par des lits micacés sur lesquels le frottement est très faible, les surfaces étant lubrifiées par l'eau. L'action de la nappe phréatique peut donc, si elle est proche de la surface, causer le glissement et l'affaissement initial générateur de la lavaka (cause de formation A,1<sup>o</sup>c) (fig. 7, Pl. XII B).

Les sources à la base de la paroi verticale, peuvent, si elles sont assez abondantes entraîner les éboulis et niveler le fond de la lavaka qui est alors à fond plat (fig. 1 et 2).

Il existe de fausses sources intermittentes qui ne sont pas en relation avec la nappe phréatique. Elles résultent du simple égouttage de la masse des éboulis après une pluie. Leur orifice de sortie se trouve alors dans le cône de déjection qui s'épand en dehors de la lavaka.

Nous soulignons que l'action de la nappe phréatique peut manquer entièrement ou n'agir qu'en fin d'évolution. La présence de la nappe n'est pas obligatoire. Les sources ne sont pas la cause de la lavaka, mais la conséquence d'un approfondissement de cette dernière (si nous exceptons le cas de formation A,1<sup>o</sup>c).

La ramification de la lavaka peut s'expliquer facilement. Dans son recul, elle coupe des endroits de passage privilégiés pour l'eau de ruissellement. Celle-ci tombe dans l'excavation, provoquant une érosion régressive. L'érosion est d'autant plus intense que l'eau de ruissellement est plus abondante. La lavaka progresse plus rapidement dans l'axe de légères dépressions de la surface topographique (fig. 23).

Il se forme ainsi des lavaka secondaires faisant avec la lavaka principale, des angles aigus (Pl. IV A et XIII A). Ces angles, plus ou moins fragiles peuvent ou persister (on obtient alors une série de digitations souvent en éventail) ou disparaître par écroulement d'où un élargissement de la lavaka principale (il reste cependant des indentations sur la lèvre supérieure correspondant aux écoulements et aux cascades les plus actives).

Nous sommes donc arrivés à la suite de tous les processus décrits : ruissellement sur les parois, effondrement, érosion sur les talus d'éboulis, glissement, etc..., à une lavaka parfaitement évoluée, ayant atteint son stade maximum compatible avec la surface du bassin versant, la profondeur de la roche, la hauteur du niveau de base. Le vieillissement va survenir dans le sens d'une stabilisation de tous ces processus.

### 3<sup>e</sup> STADE

La progression de la lavaka diminue de plus en plus l'aire de drainage ; par suite, les phénomènes, agissant sur les parois verticales, deviennent de moins en moins actifs. L'eau ruisselant de la colline devient presque nulle, les murailles sont moins attaquées, les cascades érodent moins ou même cessent d'éroder la partie supérieure des éboulis. Ceux-ci s'accumulent, atteignent bientôt la surface topographique, font disparaître la paroi verticale et sup-

priment ainsi les éboulements. Leur amoncellement dans le fond rétablit un profil d'équilibre normal d'autant plus facilement que la longueur de la dépression s'est accrue, d'où une diminution de la pente entre la tête de lavaka et le niveau de base de la vallée ou le niveau de base local de la roche mère. La nappe phréatique s'assèche ou disparaît en profondeur sous les éboulis. Elle est presque inexistante si l'excavation a atteint la ligne de crête. Le canal de sortie s'obstrue parfois par les éboulements latéraux se produisant dans la partie basse. Les sédiments sont retenus, relèvent le niveau de base et bouchent peu à peu l'excavation.

Les talus ayant atteint leur équilibre, la végétation peut s'établir. Des mousses, des lichens, des graminées, enfin des arbustes et arbres s'installent, profitant de l'humidité relative des fonds de lavaka, de la richesse du sol (les éboulis renferment de nombreux minéraux en voie d'altération provenant de la zone de départ), profitant aussi de la protection des feux de brousse par les parois verticales. La végétation commence par coloniser le fond (elle forme souvent une petite forêt galerie le long de l'exutoire) et gagne peu à peu tous les talus. Si des lambeaux de forêt persistent dans le thalweg principal ce sont des arbres qui pousseront. On peut parler d'une véritable régénération de la forêt grâce à l'érosion régressive. Si aucun arbre ou arbuste n'existent à proximité, ce sont les graminées qui couvrent les pentes.

Tous les angles s'arrondissent, les abrupts disparaissent, il reste une vaste dépression (Pl. IX B). Lorsque cette dépression ne protège plus la végétation par son humidité et ses parois abruptes, les feux l'envahissent et une prairie à graminées remplace le boisement.

Pratiquement toutes les dépressions en cirque sont d'anciennes lavaka cicatrisées. Un nouveau cycle d'érosion peut recommencer par abaissement du niveau de base du thalweg, par érosion accélérée due à l'homme, par approfondissement du sol à la suite de l'altération continue de la roche mère. La nouvelle lavaka se formera de préférence à la place de l'ancienne, car la dépression collecte l'eau de ruissellement. Divers cycles d'érosion sont souvent visibles sur les pénélaines.

Nous avons vu cependant des lavaka stabilisées avec des parois verticales. Le cas est plus rare et peut n'être que transitoire. Ce phénomène nécessite plusieurs conditions : suppression presque complète de l'eau ruisselant sur la paroi verticale (en général lavaka arrivée en haut d'une colline), sol très cohérent, revêtement de la paroi par une couche d'argile colloïdale rouge, protection par les lichens et les mousses.

Durant le stade 2, l'érosion est en effet souvent ralentie par deux faits que nous allons examiner. Ce ralentissement peut aller jusqu'à l'arrêt complet de la progression.

1° Si le sol est boisé à l'origine ou, tout au moins, couvert d'une prairie dense, des racines peuvent pendre le long de la lèvres supérieure de la lavaka et jouer le rôle de gargouille, l'eau de ruissellement suit de préférence ces racines et ne mouille pas la paroi (Pl. VII A), donc pas de recul de la muraille.

2° L'eau ruisselant sur la pente de la colline entraîne avec elle de l'argile dispersée, surtout si l'érosion en nappe est déjà sévère. Elle dépose cette argile sur la paroi verticale sous forme d'un revêtement rouge, marquant les coulées empruntées par l'eau (Pl. IX A). Le dépôt se fait en forme de larmes visqueuses sur une épaisseur de quelques millimètres. Ce revêtement cache la vraie nature de l'horizon pédologique. Il faut gratter cet enduit pour trouver la roche pourrie sous jacente. Il protège efficacement la zone de départ friable, surtout lorsqu'il est renforcé par une végétation de lichens. L'eau glisse sur cet ensemble sans l'entamer. Si la cohésion du sol le permet, la paroi, soustraite désormais à l'érosion, peut rester verticale.

## V. IDÉES GÉNÉRALES SUR LA LUTTE CONTRE LES LAVAKA

On doit prévenir leur formation et non chercher à les arrêter en pleine évolution. Il est en effet très facile de bloquer un petit ravin de 1 m de profondeur au maximum avant qu'il ait atteint la zone critique. Des petits barrages en pierres sèches, des fascines, etc... contrôlent facilement l'approfondissement. Il est aussi facile de boucher les ornières qui se forment dans les chemins. Il faut d'autre part éviter l'amincissement de la couche protectrice par l'érosion en nappe. La lutte contre les feux de brousse, le surpâturage, etc... sont des moyens de prévention. Les ravins ne prennent naissance que lorsque l'érosion en nappe est déjà intense.

En général, le coût du contrôle d'une lavaka dépasse largement la valeur du terrain protégé. Elle ne s'attaque qu'aux terrains très pauvres, incultivables. Par contre, les limons ou « baiboho » qui naissent de ces érosions sont relativement fertiles. La lutte ne s'impose et n'est rentable que dans des cas particuliers : lavaka coupant une route par exemple. Les moyens envisagés sont multiples, le choix de ces moyens dépend du stade d'évolution et des processus d'érosion les plus influents. Il faut mettre en action plusieurs moyens à la fois. Citons les plus courants : éviter le ruissellement sur la partie supérieure par reboisement, dériver les eaux de ruissellement par des fossés de protection à la tête de la lavaka, développer la végétation sur les talus, barrer l'exutoire pour relever le niveau de base.

Beaucoup d'écueils doivent être évités. Un reboisement juste au-dessus de la lavaka a peu d'effet. Les racines facilitent les fentes de dessiccation, le poids de l'arbre écroule les parois. Le fossé de protection ne doit pas causer lui-même une autre lavaka : il doit être très large, peu profond, enherbé ou cimenté. La lavaka continuera cependant à progresser tant que le profil d'équilibre du talus ne sera pas atteint. Il faut avancer ce moment, en écrêtant les parois verticales, en comblant l'excavation au bull-dozer, en barrant l'exutoire. La stabilisation par la végétation ne peut s'envisager que lorsque les talus sont en équilibre.

Les procédés de lutte ne sont pas standards. Une étude détaillée préalable

de chaque lavaka permettra à un spécialiste de préconiser les remèdes les plus appropriés.

## VI. RÉSUMÉ

La lavaka naît de l'entame du mince manteau (horizon rouge compact de la latérite) qui protège la zone de départ sous-jacente très friable, très érodable. Elle progresse rapidement en s'approfondissant et en s'élargissant. Les parois verticales érodées, sapées à la base, excavées par l'eau, s'écroulent. Nous insistons particulièrement sur les phénomènes de cascade, érosion en nappe, excavation, qui provoquent des éboulements et le recul des parois verticales. La lavaka prend une forme de demi-cercle ou une forme dendritique suivant la concentration des eaux de ruissellement. Les éboulis sont évacués au fur et à mesure, par érosion, en nappe et en ravins ; lorsqu'ils commencent à s'accumuler, la stabilisation est proche.

La nappe phréatique agit tardivement et dans des processus secondaires. Le manque d'observations pendant les pluies violentes a fait négliger jusqu'à présent les dégâts causés par les cascades, réparties plus ou moins régulièrement sur le pourtour de la lèvres supérieure (Pl. VI B). Quant aux causes de formation (exemple : le long sillon raviné qui a déclenché le processus), elles sont souvent passées sous silence, car leur rôle est éphémère. Elles ne servent que d'amorce et disparaissent rapidement sous la grande surface affectée par la lavaka elle-même. La lutte contre ce genre de dégradation est très difficile et constitue des cas d'espèces. Elle est en général non économique.

## BIBLIOGRAPHIE

- BENNETT, 1939. — Soil Conservation. — Mc Graw Hill, New-York.  
IRELAND, SHARPE and EARGLE. — Principles of gully erosion in the piedmont of South Carolina. — *US Department of agriculture, Bull.* n° 633.
-