

Communication au troisième Congrès International de
Géomorphologie - 23-28 août 1993 Hamilton Canada

EVOLUTION ET OUVERTURE DES DEPRESSIONS FERMEES FORMEES SUR
SUBSTRAT QUARTZO-KAOLINIQUE DANS LE BASSIN DE TAUBATE - SAO
PAULO, BRESIL.

Heloisa F. FILIZOLA et René BOULET

I - INTRODUCTION

Les dépressions fermées sont des formes en cuvette qui ne
présentent pas d'exutoire externe. Elles se forment par
exportation de matière en profondeur, matière qui migre
essentiellement en solution. Les plus connues sont les dolines
des pays calcaires, mais elles ne sont pas exclusives de ces
roches et existent sur de nombreux substrats.

Au Brésil, on observe de telles dépressions sur des roches
sédimentaires quartzo-kaoliniques dans le Vale de Paraíba (SP) où
elles sont très nombreuses, dans la région de Paulinia (SP), dans
la région de Boa Vista (RR). Elles existent également sur
migmatites, comme dans la Serra do Mar de la région de Sorocaba
do sul (SC) (QUEIROZ NETO, 1993). De plus, dans le Vale de
Paraíba, où se situe notre étude, de nombreuses têtes de vallée
présentent une forme en amphithéâtre, analogue à celle des
dépressions fermées. Il semble difficile d'expliquer ces formes
autrement qu'en admettant que ces têtes de vallée ont commencé
par fonctionner comme des dépressions fermées. Se pose dès lors
la question de savoir si ces dépressions ont été "capturées" par
les vallées, qui les ont ainsi ouvertes, ou si cette ouverture
est due à un autre mécanisme.

En Afrique, des dépressions fermées ont été observées au
Niger, sur Continental terminal cuirassé (BOULET, 1964), dans le
Sud de la Côte d'Ivoire, également sur Continental Terminal
(HUMBEL, 1964), sur les arénites Batéké du Congo (SCHWARTZ, 1988),
sur le socle cristallin de Madagascar (SOUBIES, 1974).

Au Brésil, bien que reconnues comme des formes d'origine
géochimique (RUELLAN, 1943, AB'SABER & BERNARDES, 1958, SUGUIO,
1969 et COLTRINARI, 1975), ces dépressions n'ont jamais fait
l'objet d'études détaillées.

II - MATERIEL ET METHODE

1 - Caractérisation de la zone d'étude

Le Bassin de Taubaté, où se situent les dépressions fermées
que nous avons étudiées, appartient au Graben du Paraíba, dont
l'origine est liée à l'évolution du système de rifts continentaux
qui bordent le bassin de Santos (ALMEIDA, 1976). Les formations

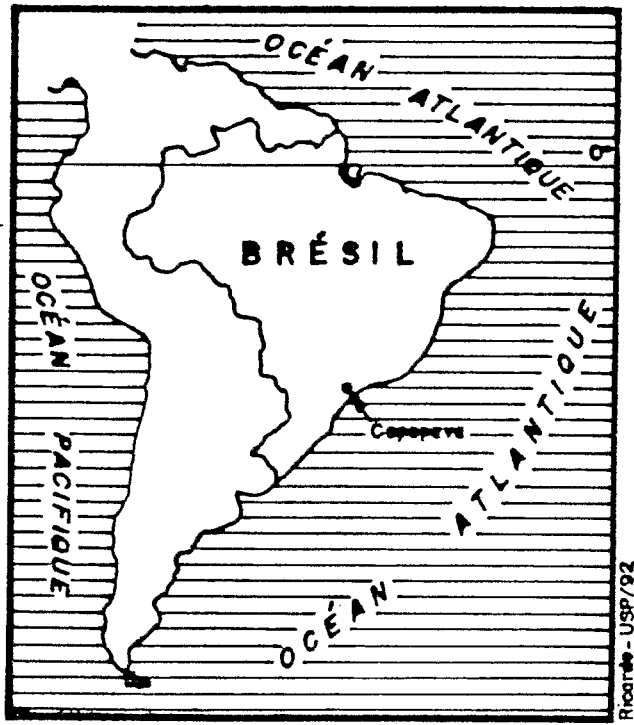


Figure 1 - Carte de localisation

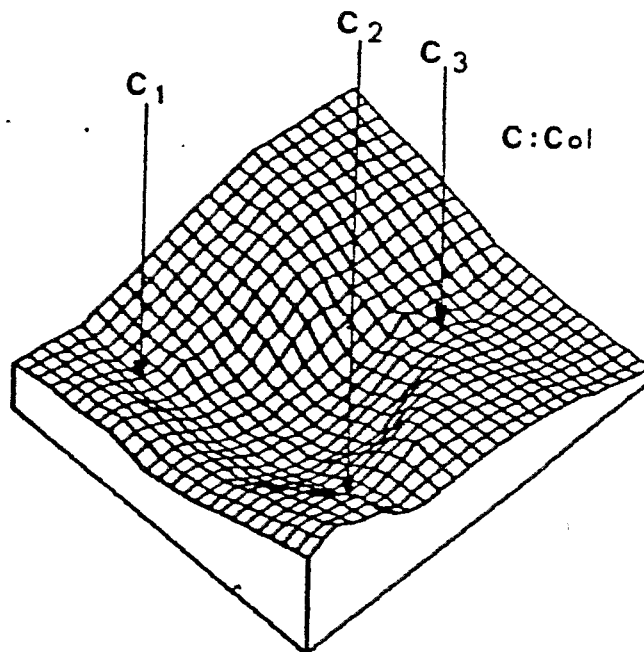


Fig.2. - Bloc diagramme de la dépression D₁

sédimentaires qui comblent ce graben appartiennent au Tertiaire et au début du Quaternaire. La formation la plus récente (Formation Pindamonhangaba - RICCOMINI, 1989), qui constitue le substrat des dépressions étudiées, est constituée d'un complexe fluviatile où dominent les sédiments quartzo-kaoliniques fins (argilites), intercalés avec des niveaux plus grossiers (sables, niveaux de galets). L'activité tectonique fut intense durant tout le tertiaire et a diminué au cours du Quaternaire (RICCOMINI, 1989, SUGUIO et al, 1986).

Les dépressions fermées sont localisées au sommet de collines ou d'interfluves, qui sont considérés comme des reliefs de dissection d'une surface plus ancienne. Celles que nous avons étudiées sont localisées dans la région de Caçapava (fig 1).

Le climat est de type tropical humide avec une pluviosité annuelle variant de 1 000 à 1 500 mm. Les températures annuelles varient de 25 à 30 degrés C pour les maxima et de 5 à 10 degrés C pour les minima.

2 - Méthode

Nous avons étudié la couverture meuble des dépressions et les matériaux sédimentaires immédiatement sous-jacents par la méthode des toposéquences, qui consiste à reconstituer, par approximation géométrique, l'organisation de cette couverture le long de transects orientés selon la ligne de plus grande pente. L'organisation selon le plan horizontal est étudiée en localisant sur ce plan, également par interpolation géométrique, la projection des limites latérales des horizons délimités dans les toposéquences.

III - ORGANISATION ET EVOLUTION DES DEPRESSIONS

1 - Etude d'une dépression fermée: la dépression D1

La dépression D1 est située à une altitude de 607m et présente un fond presque plat, de forme elliptique (80x100m). Les versants qui l'entourent sont convexo-concaves avec des pentes maximum de 16%. Ces versants sont séparés par des cols d'importance inégale, le plus bas, C1 (Fig 2 et 5), dominant le fond de la dépression de 1,7m. Il s'agit donc bien d'une dépression topographiquement fermée. Les versants de la dépression sont cultivés en canne à sucre et le fond épisodiquement en haricots ou maïs.

a - Organisation de la couverture meuble et des matériaux sédimentaires immédiatement sous-jacents

A la verticale de la toposéquence D1T1, la couverture pédologique (fig 3 et 5) est épaisse à l'amont (4,5m), jaune au sommet, rouge en profondeur, de type latosolique, argilo-sableuse, microagrégée. Elle passe à sa base, avec une transition de 30cm, à une argilite blanche à volumes

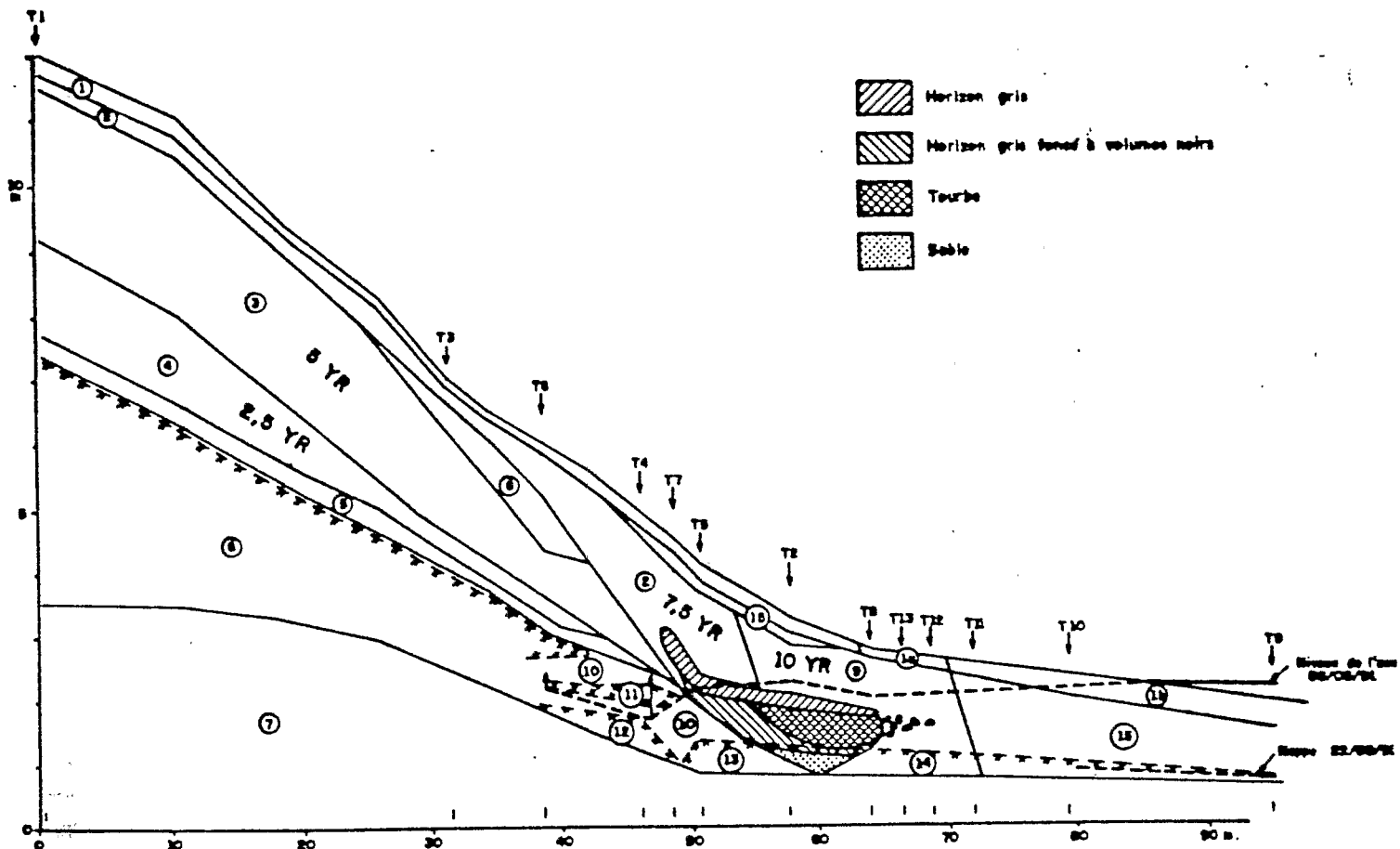


Figure 3 - Toposéquence DIT1

Légende de la figure 3

- 1 - Horizon humifère brun foncé, devenant plus sombre vers l'aval. Comporte des taches ocre dans le fond de la dépression sablo-argileux
- 2 - Horizon brun, argilo-sableux
- 3 - Horizon rouge jaunâtre, argilo-sableux
- 4 - Horizon rouge, argileux
- 5 - Horizon de transition entre le latosol et l'argilite
- 6 - Argilite blanche et violette
- 7 - Argilite verte
- 8 - Horizon brun rougeâtre, argilo-sableux
- 9 - Horizon brun jaune à taches brun rouge, argilo-sableux
- 10 - Argile jaune à taches rouges, plastique
- 11 - Argile violette et jaune, "sèche au toucher"
- 12 - Argile blanche et violette, "sèche au toucher"
- 13 - Argile gris clair à taches ocre, "sèche au toucher"
- 14 - Argile gris clair à taches rouges
- 15 - Horizon gris clair à taches rouges, argileux

π π

Limite du matériel "sec au toucher"



Remontée de la nappe en charge

centimétriques violets, qui présente de rares niveaux sableux. Sous cette argilite bicolore et en haut de pente, on passe, à partir de 8,5m, à une argilite verte à volumes violets, qui disparaissent 1 mètre plus bas. On a vérifié, sur des coupes de route, que cette argilite verte, à morphologie de gley, fait partie de la formation Pindamonhangaba et n'est pas liée à la pédogenèse actuelle. Au centre de la dépression, elle est atteinte à 1,5m de profondeur.

Les variations latérales ont trait principalement à la couleur. La couleur rouge (2,5 YR) des horizons profonds passe progressivement vers l'aval à une couleur brun clair (10 YR), tandis qu'aux abords du fond de la dépression apparaissent des taches brun rouge, puis rouges. Vers le quart inférieur de pente, on rencontre, à 1,4m de profondeur, au sein de l'ensemble brun vif (7,5 YR), bien drainé, un horizon grisâtre, plus riche en matière organique que ses encadrants, épais d'une trentaine de centimètres, devenant plus foncé et s'épaississant vers l'aval, en même temps qu'apparaissent des volumes noirs, d'aspect tourbeux. Environ 6m plus à l'aval, apparaît, au milieu de cet horizon sombre, une tourbe fine noire. L'extension latérale de cette tourbe n'est que d'une dizaine de mètres sur le transect considéré (D1T1). En effet, elle s'achève abruptement en tant qu'horizon continu, en direction du centre de la dépression. Elle persiste, sous forme de volumes isolés, de moins en moins noirs et nombreux, sur environ 4m, pour disparaître complètement ensuite.

b - Observations sur la nappe phréatique

Dans la toposéquence D1T1 (fig 3), le toit de la nappe phréatique observé le 8-5-91, le lendemain d'une forte pluie (40 mm), succédant à une période de sécheresse, est très légèrement incliné à contre pente par rapport au versant (0,5%). Il s'agit d'une nappe perchée. En effet, elle se termine en biseau et les sondages profonds, dépassant la profondeur de ce biseau à l'amont, n'ont pas rencontré d'eau libre. La dépression était à ce moment couverte d'une lame d'eau de 20cm. Le magasin de la nappe, au sein du matériel sédimentaire, est complexe. En effet, on y rencontre des niveaux à porosité très fine, peu perméables, sous lesquels la nappe est légèrement en charge et remonte, après ouverture du sondage, de 25 à 65cm. La légère contrepente du toit de la nappe indique probablement que, lors des fortes pluies, la dépression se remplit sous l'effet du ruissellement, puis que la lame d'eau superficielle s'infiltré dans le versant. 14 jours plus tard, la lame d'eau superficielle avait disparu et la nappe s'était abaissée de 135cm à l'aval de la toposéquence D1T1. A ce moment, le toit de la nappe était incliné vers le centre de la dépression, ce qui indique que, après s'être rechargée, cette nappe s'écoule vers la dépression où elle est drainée dans une direction que nous allons rechercher maintenant.

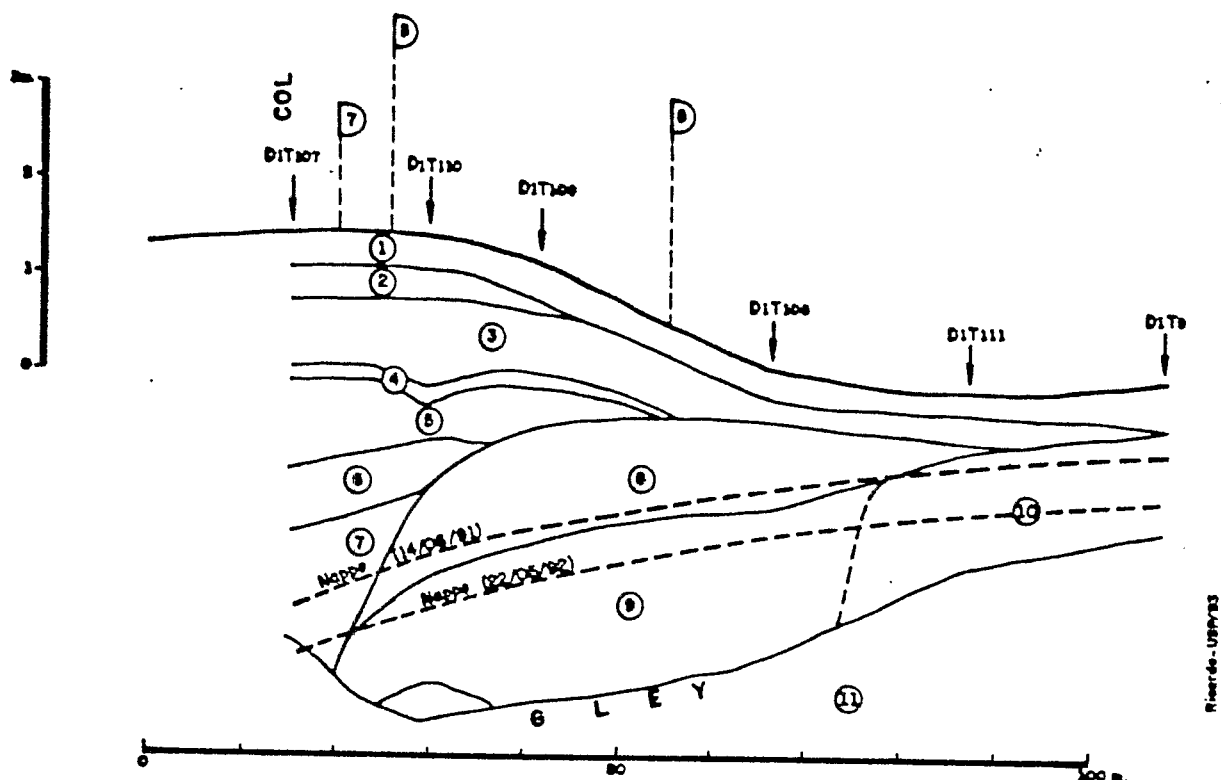


Figure 4 - Toposéquence DIT7

LEGENDE DE LA FIGURE 4:

NB Tous les horizons présentent une texture argilo-sableuse.

- 1 - Horizon humifère brun foncé
- 2 - Horizon brun vif, homogène
- 3 - Horizon à fond brun vif et taches rouges
- 4 - Horizon brun vif homogène
- 5 - Horizon brun vif à taches rouges
- 6 - Horizon jaune à taches rouges
- 7 - horizon à fond beige, à volumes rouges et ocre à aspect d'argilite, augmentant vers la base.
- 8 - Horizon brun grisâtre clair à taches rouges
- 9 - Horizon gris clair à taches ocre
- 10 - Horizon gris clair à taches rouges
- 11 - Argilite gris verdâtre

Lors de l'étude des premières toposéquences, nous avons observé que le toit de la nappe dans le col C1, et dans ce col seulement, était plus bas qu'au centre de la dépression. Pour analyser ce phénomène, nous avons étudié une toposéquence (D1T7 fig 4)), allant du centre de la dépression au col C1.

Au sommet du col C1, le sol comporte, sous des horizons supérieurs brun foncé en surface (1), brun jaune ensuite (2), épais au total de 70 cm, un ensemble d'horizons présentant une différenciation ferrugineuse croissante vers le bas. Il s'agit d'abord de taches brun rouge(3) puis rouges sur fond brun (5) et, à la base, de taches rouges sur fond jaune (6). Ceci indique une certaine mobilité du fer sous l'effet d'un excès d'eau, probablement dû à la convergence des flux hydriques issus des versants adjacents au col, mais aussi au passage de la nappe perchée, qui, comme nous le verrons plus loin, s'écoule à travers l'horizon 7 et, probablement, à travers l'horizon 6. Les horizons sont sensiblement parallèles à la surface topographique. A la base du sol, le siltite blanc et violet est en partie pédogénisé (7) et l'on passe très rapidement à l'argilite verte (11).

En allant vers le fond de la dépression, apparaît en biseau, au contact de l'argilite verte, un horizon gris clair à réseau brun et à taches jaunes (9), surmonté d'un horizon à fond légèrement plus jaune et à taches rouges (10). Cet ensemble présente une hydromorphie croissante du haut vers le bas. Vers l'aval, il monte rapidement dans la couverture pédologique du col, dont il recoupe successivement la majeure partie des horizons, pour rejoindre ensuite l'horizon à pseudogley du fond de la dépression (10). Cette discordance montre que l'ensemble hydromorphe transforme la couverture pédologique du col à partir de sa base et lui est postérieur. En effet, la couverture pédologique du col est une couverture à horizons parallèles à la surface topographique; sa différenciation est verticale, chaque horizon se formant aux dépens de l'horizon qu'il surmonte et étant transformé à son sommet par l'horizon qui lui est susjacent. En t 109, par exemple, les horizons 3,4 et 5, n'ont pu se former que quand les horizons 6 et 7 existaient à leur base, donc quand le sol du col existait à cet endroit. Actuellement ils sont coupés de leur source par l'ensemble hydromorphe.

On a mesuré à deux reprises le niveau de la nappe le long de cette toposéquence, la première fois un mois après la pluie de 40mm citée plus haut, le 14-6-91, la seconde fois pendant une période plus sèche, le 22-5-92. Dans les deux cas, le toit de la nappe présentait une pente inverse à celle de la topographie d'environ 2%. Ceci indique que cette nappe s'écoule du fond de la dépression vers le col. Lors de la première mesure, le toit de la nappe dans le col était 15cm au dessus de son plancher, constitué, ici, par l'argilite verte; la nappe s'écoulait donc hors de la dépression. Lors de la seconde mesure, la nappe venait buter sur ce plancher. Au moment de ces mesures, la dépression était sèche. On imagine aisément que, lorsque la dépression est

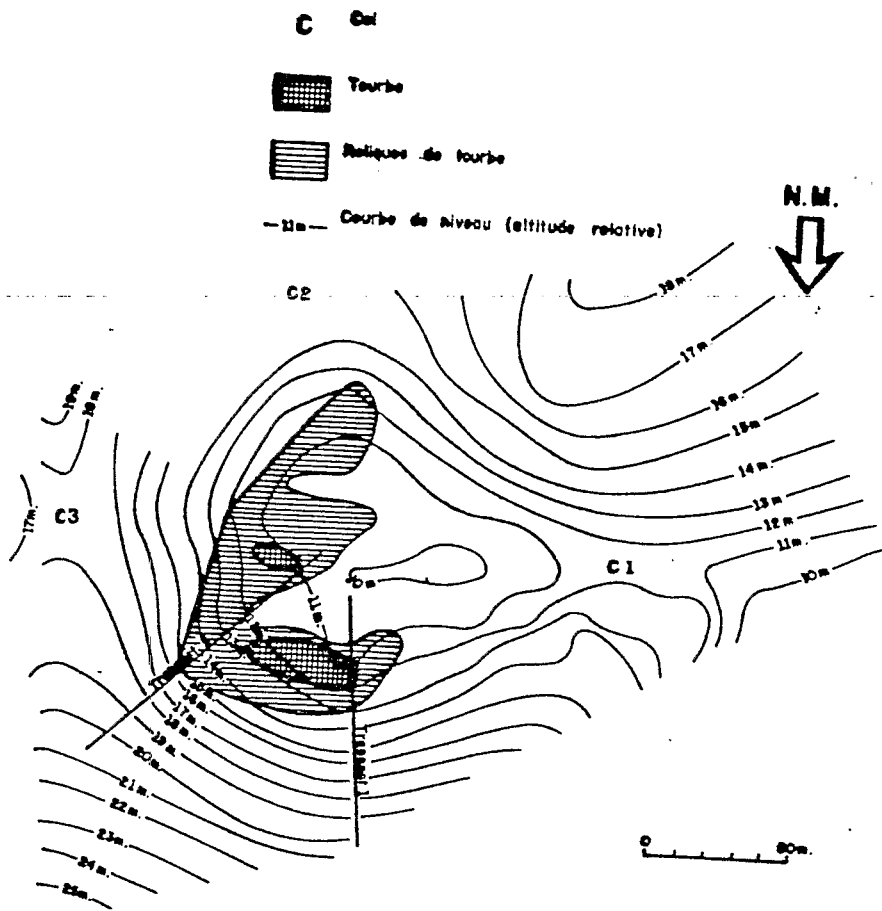


FIGURE 5: Topographie de la dépression D1 et extension de la tourbe et de ses reliques

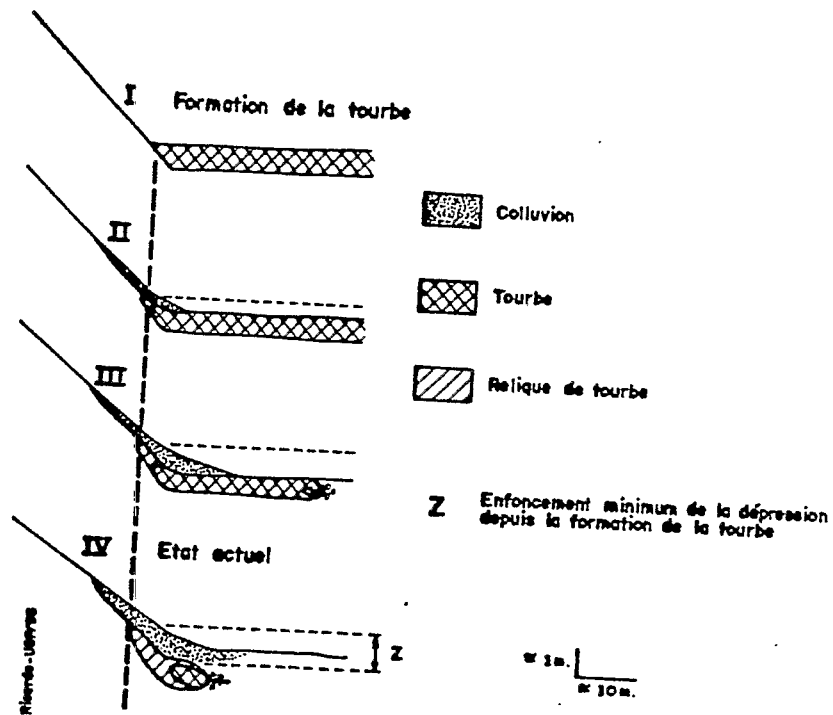


Figure 6 - Reconstitution de l'évolution probable de la dépression D1 depuis la formation de la tourbe

en eau, ce qui est rare et que nous n'avons observé qu'une seule fois (le 8 - 5 - 91, avant de percevoir le problème piézométrique), le niveau de cette nappe atteint sans doute le sommet de l'horizon 6. On constate également que le toit de la nappe présente une pente à peu près identique à celle du sommet de l'horizon hydromorphe profond (9), ce qui signifie que l'hydromorphie est ici liée à cette nappe.

De l'autre côté du col, il existe une vallée peu marquée, en forme de berceau, où l'écoulement superficiel n'apparaît, sauf lors des périodes très pluvieuses, que nettement plus à l'aval, lorsque sourd la nappe phréatique.

c - Evolution de la tourbe et de la dépression

La continuité du volume organique enfoui dans le versant nous montre qu'il s'agit d'une même formation, tourbeuse à l'origine. Par analogie avec les tourbes de bas-fond actuelles, on peut admettre qu'elle était initialement sensiblement horizontale. Cette tourbe monte au sein de la couverture pédologique du versant où elle disparaît progressivement par minéralisation. Plus curieusement, elle disparaît aussi dans la dépression; elle est même absente du centre et de la moitié ouest de celle-ci (fig 5). L'étude d'autres dépressions et, en particulier de la dépression Sony, que nous envisagerons ci-après, nous montre que la tourbe se maintient au fond de la dépression quand celle-ci est en eau de façon permanente. Sa disparition partielle dans D1 serait alors due aux périodes de bon drainage, qui dominent, comme nous l'avons vu, dans le régime hydrique de cette dépression, et permettent la minéralisation aval de la tourbe.

Il est possible, à partir de l'état actuel, de reconstituer l'évolution probable de D1, depuis la mise en place de la tourbe (fig 6). Au stade I, la dépression était plus étendue qu'actuellement, allant jusqu'à la verticale des limites les plus à l'amont des reliques de tourbe (transect 5, fig 6). Cette limite est minimale, car la séquence de dégradation de la tourbe étant très progressive, elle a probablement eu une extension plus importante dont la trace a disparu. Puis la dépression continue de s'enfoncer en rétrécissant (stade II à IV). Une autre hypothèse explicative serait d'admettre l'existence, dans le passé, d'une tourbière de pente, mais ceci aurait nécessité une sortie d'eau dans le versant, ce qui serait en contradiction avec la dynamique hydrique de la couverture latosolique. De plus, le fait que la relique de tourbe amont se trouve actuellement dans un horizon bien drainé, implique que la couverture latosolique soit descendue à travers la tourbe par suite d'un abaissement de son niveau de base, donc de la dépression.

Les datations effectuées sur la tourbe (FILIZOLA & BOULET, 1993) montrent que celle-ci est inactuelle et correspond à une période se situant entre 12 500 et 17 000 ans BP. Il est donc possible d'évaluer la vitesse moyenne d'enfoncement de la

dépression depuis la mise en place de la tourbe à partir de l'âge de celle-ci et de la différence d'altitude entre la relique de tourbe la plus élevée et le fond de la dépression (3,9m). On obtient ainsi une vitesse d'enfoncement moyenne de 0,23 mm par an (FILIZOLA & BOULET, 1993). Une telle valeur est de beaucoup supérieure aux vitesses d'enfoncement du front d'altération généralement calculées et qui tournent autour de 1m pour 100 000ans dans les régions tropicales humides (LENEUF, 1959; TARDY, 1993). Il convient alors de remarquer que ces vitesses sont généralement calculées à partir des exportations de matière hors de bassins versants, ce qui suppose une descente horizontale du front d'altération. Si l'on tient compte du fait que l'amont de la couverture pédologique est sous-alimenté en eau par suite du ruissellement, tandis que l'aval est suralimenté par la part de l'eau ruisselée qui s'y infiltre et par le drainage oblique (nappe phréatique), on perçoit que les exportations de matière, par des eaux toujours sous-saturées en silice sous ces climats, sont plus importantes à l'aval qu'à l'amont. Cette vitesse moyenne d'enfoncement que nous avons calculée ne nous renseigne donc pas sur la vitesse d'abaissement moyen du front d'altération, mais sur le rôle de l'érosion géochimique dans l'augmentation des pentes.

L'importance du colluvionement depuis la même période peut également être évaluée, puisque les matériaux qui surmontent la tourbe sont nécessairement apportés de l'amont. Leur épaisseur maxima est de 1,5m. Ils diminuent d'autant l'enfoncement géochimique et ont tendance à combler la dépression. Le bilan entre les deux mécanisme apparaît cependant au net avantage de l'érosion géochimique, ce dont témoigne évidemment l'existence même de la dépression. On constate également que la courbe isochrome qui sépare les matériaux brun vif (7,5 YR) et brun jaune (10 YR) recoupe ces colluvions. Cela signifie que la pédogénèse intègre rapidement les apports colluviaux dans la différenciation toposéquentielle et qu'il n'est pas possible de distinguer, comme on l'a souvent fait au Brésil, les colluvions par leur couleur (MOUSINHO & BIGARELLA, 1965; JOURNAUX, 1975).

d - Mécanisme probable d'ouverture des dépressions fermées

La dépression D1 est, comme nous l'avons vu, une dépression topographiquement fermée. Toutefois, l'étude piézométrique sommaire nous montre que l'assèchement étonnamment rapide de D1 après les fortes pluies, est dû à un écoulement latéral de sa nappe perchée à travers le col C1. Ce drainage latéral a logiquement pour effet, un abaissement du col et, sans doute, la formation de la petite vallée en berceau qui lui fait suite par suite des exportations en solution qu'il entraîne. On peut donc penser que cette fuite latérale interne, par débordement de la nappe, piégée par la dépression, à travers le col le plus bas, va finir par effacer le col et ouvrir la dépression. Ainsi pour répondre à la question posée dans l'introduction, il semble très probable que ce soit la dépression fermée qui crée son propre exutoire et non cet exutoire qui la capture.

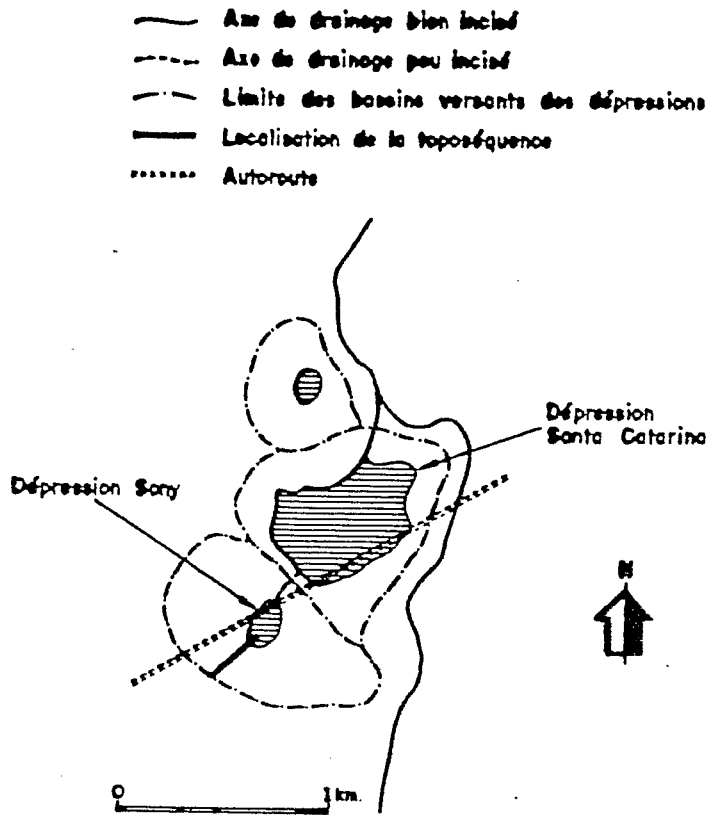


Figure 7 - Plan des dépressions Sony et Santa Catarina

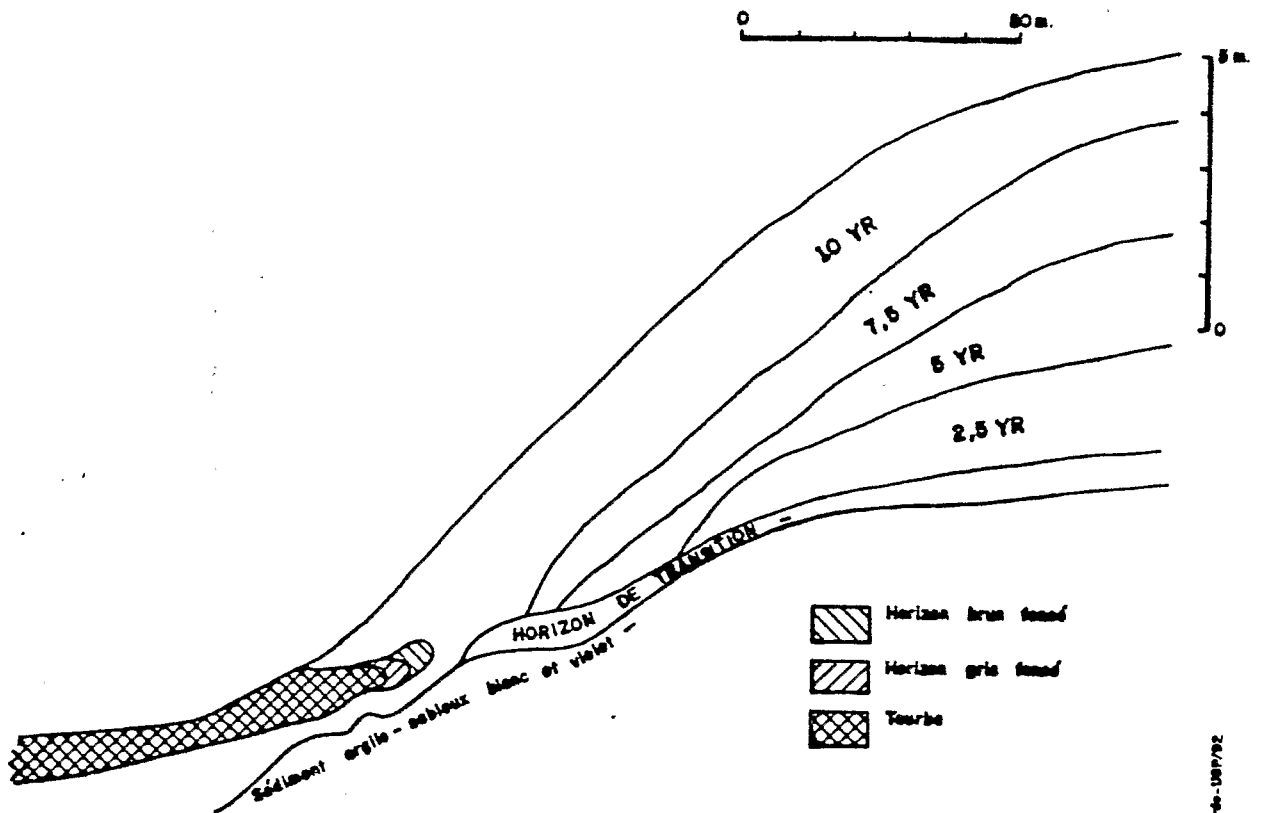


FIGURE 8: Coupe d'un versant de la dépression Sony

2 - Etude d'une dépression "ouverte"

La dépression Sony est localisée en bordure de l'autoroute reliant Sao Paulo à Rio de Janeiro. Elle est plus vaste que D1 et présentait un exutoire, actuellement masqué topographiquement par l'autoroute, mais bien visible sur les photos aériennes antérieures aux travaux (fig 7). Par cet exutoire, elle se déverse dans une autre dépression ouverte (dépression Santa Catarina), que nous avons également étudiée.

Les versants de la dépression Sony sont convexo-concaves, leur pente maximum est de 10%. La couverture pédologique (fig 8) est analogue à celle de la dépression D1; elle est toutefois plus épaisse et les horizons rouges y sont moins étendus. A l'aval du versant apparaît, vers 1,5m de profondeur, comme en D1, un horizon plus sombre et plus organique, devenant progressivement plus foncé vers l'aval où il passe à une tourbe fine. Cette tourbe fine affleure une quinzaine de mètres avant le fond de la dépression et est en partie tronquée par la base du versant. A la différence de D1, cette tourbe existe, avec une épaisseur inférieure à 1m, jusqu'au centre de la dépression, sous une lame d'eau atteignant une cinquantaine de centimètre et que l'on a observée en toutes saisons.

On retrouve donc ici, bien que la dépression soit drainée (imparfaitement) par un exutoire, une organisation analogue à celle de D1. La tourbe qui affleure au fond de la dépression s'enfouit et monte dans le versant. La dénivelée entre le sommet de la relique de tourbe et le fond de la dépression est inférieur au maximum observé en D1 et permet de calculer un enfouissement moyen de 0,12mm par an, la tourbe étant datée de 12 500 ans BP. Cependant, pour avoir une évaluation plus exacte, il faudrait, comme en D1, faire une analyse tridimensionnelle afin de déterminer la cote maximum des reliques de tourbe. Enfin, le fait que la tourbe soit en partie recoupée par la base du versant indique que le colluvionnement est ici moins actif qu'en D1. On signalera pour mémoire que la dépression ouverte Santa Catarina présente une organisation analogue à celle de Sony; elle est en eau en toute saison et la tourbe couvre tout le fond de la dépression.

3 - Origine de ces dépressions

On vérifie ici le fait déjà connu que le développement de formes de type karstique n'est pas l'apanage des régions à substrat particulièrement soluble, puisque le quartz et la kaolinite, qui constituent le soubassement de la zone d'étude, sont réputés très résistants à la dissolution. Le développement des dépressions fermées est alors logiquement conditionné par l'existence de "fuites" verticales à travers les sédiments peu perméables sous-jacents (argilite). Lorsqu'on regarde une carte de répartition de ces dépressions (fig 9), on constate qu'elles se distribuent selon des alignements remarquables dont les plus

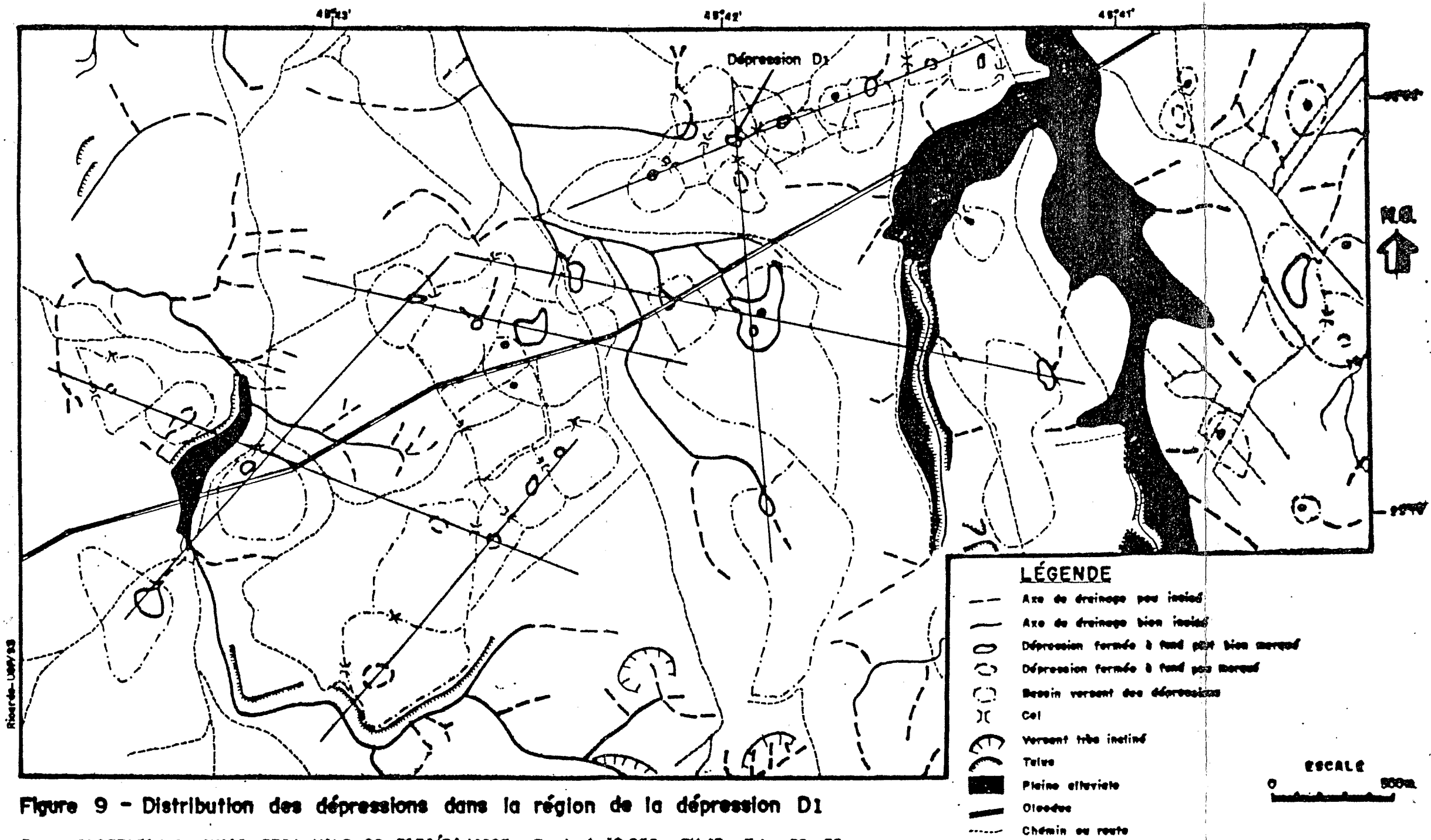


Figure 9 - Distribution des dépressions dans la région de la dépression D1

Fonte: ELETROPAULO - SIMAC PROJ. VALE DO PARÁIBA/1966, Escala 1:10.000 - FX 43 - Fotos 29 e 32

nets sont orientés dans les directions 70 et 100 degrés. C'est particulièrement le cas de la série très serrée à laquelle appartient la dépression D1. Il semble difficile d'expliquer ces alignements autrement que par l'intervention de failles. On a vérifié par l'étude d'une coupe de route (coupe rodoviaria Carvalho Pinto, Filizola à paraître) traversant un interfluve présentant une faille, que les brèches tectoniques qui bordent la faille sur une largeur d'une vingtaine de mètres favorisent la filtration profonde de l'eau, alors que les strates argileuses intactes adjacentes bloquent cette filtration. Ceci n'explique pas cependant le phénomène dépression fermée, car il est classique de voir le réseau de drainage orienté par des failles. Sans avoir pu le vérifier, on est dès lors amené à admettre que ces dépressions se forment à la verticale de croisements de failles, où la bréchification, localement plus intense, favoriserait une filtration profonde quasi ponctuelle.

IV - CONCLUSION

Notre but était de montrer l'importance de l'érosion géochimique dans la formation d'un modelé sur sédiment quartzo-kaolinique en milieu tropical humide et de donner une idée de la vitesse d'évolution de ce modelé. Les dépressions fermées sont d'excellents modèles naturels pour cet objectif car elles constituent des pièges pour la majeure partie des matières solides. Nous avons constaté que, dans le cadre de ce modèle, il est possible d'évaluer approximativement la vitesse d'enfoncement de ces dépressions grâce à des tourbes anciennes, bien localisées dans le temps. Ce résultat concerne seulement le rôle de l'érosion géochimique dans l'accroissement des pentes et non dans celui de l'enfoncement moyen du front d'altération, ce qui explique que les chiffres obtenus soient très supérieurs (10 à 20 fois) aux valeurs calculées de cet enfoncement moyen, telles qu'on les trouve dans la littérature.

Les résultats des mesures piézométriques montrent d'autre part que la nappe perchée piégée par la dépression fermée que nous avons étudiée présente un débordement interne à travers le col le plus bas, ce qui sous-tend l'hypothèse que l'ouverture des dépressions et la création d'un exutoire résulte de la dynamique interne de ces dépressions et qu'il ne s'agit pas d'une capture.

Enfin le déterminisme de ces dépressions serait tectonique et elles se localiseraient à la verticale de croisements de failles, dont les brèches tectoniques favorisent la filtration profonde de l'eau alors que les strates argileuses non perturbées environnantes la ralentissent considérablement. L'abondance des dépressions fermées et des têtes de vallée en amphithéâtre dans le Vale de Paraíba s'expliquerait alors par l'activité tectonique intense qui a affecté cette région.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AB'SABER, A.N. & BERNARDES, N. -1958- Vale do Paraíba, Serra da Mantiqueira e arredores de São Paulo. In: CONGR. INTERN. GEOGR., 18, Rio de Janeiro, 1958, Guia de Excursões, 4.
- ALMEIDA, F.F.M. -1976- The systems of continental bordering the Santos Basin, Brazil. An. Acad. Bras. Cienc., 48: 15- 26 (Suplemento).
- BOULET, R. -1964- Etude pédologique du Niger Central. ORSTOM-Dakar, 211 p. (Mimeogr.).
- COLTRINARI, L. -1975- Contribuição à Geomorfologia da região de Guaratinguetá-Aparecida. São Paulo, IGEOG - USP. 156p. Série Teses e Monografias, 17, 156p..
- FILIZOLA, H.F. & BOULET, R. -1993- Une évaluation de la vitesse de l'érosion géochimique à partir de l'étude de dépressions fermées sur roches sédimentaires quartzo-kaoliniques au Brésil. C. R. Acad. Sci. Paris, 316, sér. II: 693-700.
- HUMBEL, F.X. -1964- Etude de quelques dépressions circulaire à la surface d'un plateau sédimentaire au Côte d'Ivoire. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., II(3): 27-42.
- JOURNAUX, A. -1975- Recherches géomorphologiques en Amazonie brésilienne. Bull. C.N.R.S-Caen, 20, 67p..
- LENEUF, N. -1959- L'altération des granites calco-alcalins et des granodiorites en Côte d'Ivoire forestière et les sols qui en sont dérivés. Thèse Sci. Paris, 210p.
- MOUSINHO, M.R. & BIGARELLA, J.J. -1965- Movimentos de massa no transporte dos detritos da meteorização das rochas. Bol. Paran. Geogr., 16 e 17: 43-84.
- QUEIROZ NETO, J.P. -1993- Présentation des travaux franco-brésiliens en analyse structurale. Bull. Assoc. Géogr. Français, 2: 93-107.
- RICCOMINI, C. -1989- O Rift Continental do Sudeste do Brasil. Tese de Doutorado. IG/USP, 256 p. (mimeografado).
- RUELLAN, F. -1943- A região meridional de Minas Gerais e a evolução do Vale do Paraíba. Bol. Geogr., 1(8):95-102.
- SCHWARTZ, D. -1988- Histoire d'un paysage: le lousséké. Paleoenvironnements quaternaires et podzolization sur sable Batéké. ORSTOM, col. Etude de thèse, Paris. 285p.

SOUBIES, F. -1974- Contribution à l'étude de la
pedogenèse ferrallitique: morphologie, mineralogie et
evolution géochimique des sols de la cuvette d'Ambalavao,
Madagascar. Thèse 3eme cycle, Université Paul Sabatier,
Toulouse.

SUGUIO, K. -1969- Contribuição à geologia da bacia de Taubaté,
vale do Paraíba, estado de São Paulo. Fac. Fil. Ciênc.
Letr.- USP, 120p. Boletim Especial.

SUGUIO, K. & VESPUCCI, J.B.O. -1986- Tectonismo pós-deposicional
na Bacia de Taubaté, SP. In: CONGR. BRAS. DE GEOL., 34,
Goiânia, Resumos e Breves Comunicações. Goiânia, SBG, p.
139.

TARDY, Y. -1993- Pétrologie des latérites et des sols tropicaux.
Paris, Masson. 461 p.