

Enregistrement scientifique n° : 135

Symposium n° : 15

Présentation : Poster

Fragipans et duripans des plateaux littoraux du Nordeste brésilien. Stades d'évolution

Fragipans and duripans from Northeast Brazil coastal plateaus. Evolution stages

BOULET René¹, FRITSCH E.¹, FILIZOLA H.F.², ARAUJO FILHO J.C.³, SILVA F.B.R.³, LAMOTTE M.¹, LEPRUN J.C.⁴

¹ ORSTOM, USP, Instituto de Geociências, CP11348, 05422-970 São Paulo, Brazil

² EMBRAPA, CP 69, 13820-000 Jaguariúna - SP, Brazil

³ EMBRAPA, rua Antônio Falão 402, Boa Viagem, 50 020-240 Recife - PE, Brazil

⁴ ORSTOM, Institut de Géologie, 1 rue Blessig, 67 084 Strasbourg, France

Les plateaux littoraux du nordeste du brésilien sont associés, pour l'essentiel à des latosols et des sols podzolicos (Ultisols). Des horizons indurés (fragipans et duripans) apparaissent dans des dépressions et leur développement augmente avec l'extension de ces dernières. L'organisation, la genèse et la nature des ciments de ces horizons indurés restent peu connues. L'induration est généralement attribuée à la silice, par analogie avec les études réalisées dans des régions arides. Deux sites ont été retenus, Boca da Mata (État de l'Alagoas) et Goiana (État du Pernambuco). Le climat est chaud et humide. L'étude a concerné les sols à horizons indurés associés aux dépressions des plateaux et a porté sur quatre toposéquences (20 à 7m de longueur et 2 m de profondeur).

Les résultats permettent d'identifier quatre stades d'évolution :

I - Dans une dépression peu profonde (30cm), n'apparaît que le fragipan et l'on peut reconnaître une séquence verticale de différenciation allant de bas en haut d'un horizon latosolique (argileux et microagrégé) à un fragipan jaune cohérent puis à un fragipan brun très clair, très cohérent, qui est séparé du précédent par une bande ferrugineuse. Celle-ci apparaît comme un front de déferruginisation.

II - Dans une dépression plus profonde (1,5m), existe à l'amont un fragipan brun clair qui passe latéralement à un duripan blanc, épais, mais qui reste perméable en grand. Sous le duripan, le fragipan persiste et s'épaissit. Il est séparé du duripan par une bande ferrugineuse qui apparaît comme un front de transformation fragipan-duripan.

III - Dans une dépression encore plus profonde (6m) et partiellement ouverte mais incomplètement drainée, s'observe un duripan blanc, très induré, imperméable et qui constitue le plancher d'une nappe perchée. Il est surmonté par un podzol. La partie amont du duripan qui n'est plus visitée par la nappe se dégrade.

IV -Dans une large dépression, aplanie et complètement drainée, un sol sableux au sommet, argilo-sableux et microagrégé à la base se développe à partir du duripan complètement fragmenté.

Dans le contexte chaud et humide des plateaux littoraux du Nordeste, la formation des horizons indurés est attribuée aux mécanismes successifs suivants : l'hydromorphie, la migration du fer et l'hydrolyse de la kaolinite, qui, de plus en plus accentuée, aboutit à la différenciation d'un podzol en même temps que le duripan acquiert son développement maximum (stade III).

Mots clés : Nordeste, Brésil, dépression, bande ferrugineuse, fragipan, duripan, sols lessivés, podzol

Keywords : Northeast Brazil, depression, iron tape, fragipan, duripan, leached soils, podzol

Enregistrement scientifique n° : 135

Symposium n° : 15

Présentation : Poster

Fragipans et duripans des plateaux littoraux du Nordeste brésilien. Stades d'évolution

Fragipans and duripans from Northeast Brazil coastal plateaus. Evolution stages

BOULET René¹, FRITSCH E.¹, FILIZOLA H.F.², ARAUJO FILHO J.C.³, SILVA F.B.R.³, LAMOTTE M.¹, LEPRUN J.C.⁴

¹ ORSTOM, USP, Instituto de Geociências, CP11348, 05422-970 São Paulo, Brazil

² EMBRAPA, CP 69, 13820-000 Jaguariúna - SP, Brazil

³ EMBRAPA, rua Antônio Falão 402, Boa Viagem, 50 020-240 Recife - PE, Brazil

⁴ ORSTOM, Institut de Géologie, 1 rue Blessig, 67 084 Strasbourg, France

Les plateaux littoraux du Nordeste brésilien portent des latosols (Oxisols) encore appelés *podzólicos* dans la classification brésilienne (Oliveira *et al.*, 1992) ou ultisols (Survey Staff, 1975) ou à des sols lessivés (CPCS, 1967). Ces plateaux sont étendus, peu élevés et peu disséqués et comportent de nombreuses dépressions dont les sols présentent fréquemment des horizons indurés (fragipan et duripan). En outre, des podzols sont localement associés aux dépressions. L'extension verticale et latérale des horizons indurés augmente avec celle des dépressions. La végétation primitive, une forêt dense a été presque entièrement défrichée pour la mise en culture intensive de canne à sucre. Les horizons indurés et, principalement les duripans constituent un facteur limitant important pour l'agriculture. L'organisation, la genèse et la nature des ciments restent peu connues. L'induration est généralement attribuée à la silice, par analogie avec les études réalisées dans des régions arides (Etats-Unis, Australie), à l'exception de Jacomine (1974), qui attribue un rôle à la silice et à l'aluminium « libre ». Récemment, Silva *et al.* (1997) ont mis en évidence le rôle principal à l'aluminium dans la formation des duripans des régions humides et ils rendent responsables de l'induration, la précipitation d'aluminium sous forme d'hydroaluminosilicates. En s'appuyant sur une étude détaillée de l'organisation des horizons indurés présents dans les différentes dépressions (Boulet *et al.*, 1996), l'objectif ici est de montrer que l'on peut envisager une séquence d'évolution des sols en fonction du développement des dépressions.

I - MATÉRIEL ET MÉTHODE

Les plateaux littoraux du Nordeste sont développés sur la formation détritique Barreiras (Kistler, 1954; Mabesoone & Alheiros, 1988), constituée essentiellement de kaolinite et de quartz avec quelques minéraux lourds (zircon, anatase et sphène). L'étude concerne deux sites, situés non loin de Boca da Mata (Etat de l'Alagoas) et Goiana (Etat du Pernambuco). Au total, quatre toposéquences ont été étudiées dans quatre dépressions différentes (D1 à D4). En s'appuyant sur une carte pédologique à grande échelle (Usina Triunfo Agro-Industrial, 1991), trois toposéquences ont été étudiées à Boca da Mata dans des tranchées longues de 20 à 70 m

(dépressions D1, D2, D4). Une autre toposéquence (D3) a été étudiée dans une dépression à Goiana grâce à des sondages à la tarière puis des fosses. Des échantillons ont été prélevés dans les toposéquences et les analyses (D1 à D3) ont porté sur la granulométrie, le pH, le fer, les bases échangeables et le Ki (EMBRAPA, 1979). Le climat de Boca da Mata est tropical humide avec une pluviométrie moyenne de 1 640 mm, la température moyenne mensuelle varie de 23 à 27 °C, l'humidité relative de l'air varie de 85 à 93 %. Le climat de Goiana est plus humide, la pluviométrie moyenne étant de 2 250 mm. La température moyenne est de 25 °C. L'humidité moyenne de l'air est de 78 %.

II - RESULTATS. FRAGIPANS ET DURIPANS ASSOCIÉS AUX DÉPRESSIONS

2.1 Dépression D1. *Podzólico* à fragipan

La dépression D1 est fermée, large de 30 m et profonde de 30 cm (Fig. 1.I). Le sol du plateau, en bordure de la dépression est un *podzólico* (Ultisol). Il comporte de 0 à 30 cm, un horizon Ap brun foncé (10 YR 4/2), sablo-argileux, à structure en mottes, de cohésion moyenne à faible, poreux. De 27 à 50 cm, un horizon AB1 brun clair (10 YR 6/3), argilo-sableux, à structure polyédrique peu développée, de cohésion faible, poreux. De 50 à 85/100 cm, un horizon B1, brun jaune clair (10 YR 6/5), argileux, de même structure et porosité. Entre 85 et 100 cm, sinue une ligne de plaquettes ferrugineuses, discontinues, dures, de 1 cm d'épaisseur, brun rouge foncé (2,5 YR 3/4), à limite supérieure nette et limite inférieure légèrement diffuse. Ces plaquettes sont longues de 2 à 3 cm et séparées par un matériau identique à celui de l'horizon sus-jacent. De 85/100 à 135 cm, apparaît un horizon B2, argileux, constitué de volumes fragiques de forme irrégulière, décimétriques, de couleur jaune brunâtre (10 YR 6/7), cohérents, compacts, séparés par un matériau poreux brun jaune (10 YR 5/7), de cohésion moyenne. Une seconde ligne de plaquettes se situe à 135 cm et se dédouble localement. De 1,35 à plus de 2 m, le sol présente un horizon brun jaune (10 YR 6/4) argileux, microagrégé, contenant des volumes fragiques (<7 cm) moins vifs (10 YR 6/6).

En allant vers le centre de la dépression, la ligne de plaquettes supérieure passe à une bande ferrugineuse large de 2 à 5 cm, continue, moins dure et plus diffuse que les plaquettes et qui dessine des creux de 2 à 3 m de longueur et de 20 à 40 cm de profondeur. Dans les creux, qui s'approfondissent vers le centre de la dépression, apparaît un fragipan de couleur brun clair (10 YR 7/5). Ce fragipan est parcouru de fentes subhorizontales d'espacement variable. Au dessous de la bande ferrugineuse se développe un fragipan discontinu, de couleur brun jaune, et nettement moins dur que le fragipan supérieur. En saison humide, les bandes ferrugineuses ralentissent le drainage vertical, l'horizon sus-jacent étant fortement humide alors que les horizons sous-jacents sont secs au toucher.

La texture est sableuse à sablo-argileuse (11-24 %) dans les horizons de surface (Ap), argileuse dans l'horizon B1 et le fragipan (38-45 %), situés au dessus de la bande ferrugineuse, argileuse dans les horizons situés sous la bande ferrugineuse (40-59 %). Latéralement, la variation de texture est très faible. Les valeurs du Ki sont supérieures ou égales à 2 dans les horizons humifères et B1 ; ailleurs, elles varient entre 1,6 et 1,9. La teneur en Fe₂O₃ des plaquettes ferrugineuses est de 6,9 %, celle du fragipan de 2,2 %, celle de la bande ferrugineuse de 8,6 % et celle du fragipan discontinu de 2,5 %.

2.2 Dépression D2. *Podzólico* à fragipan et duripan

La dépression D2 (fig. 1.II) est entièrement fermée, large d'une centaine de mètres et profonde de 1,5 m. Sur la bordure de la dépression, le sol est analogue à celui de D1 et, vers le centre, il passe à un *podzólico* gris. En outre, la même différenciation ferrugineuse est

observée : passage de la ligne supérieure de plaquettes ferrugineuses à une bande ferrugineuse continue, plus large et moins cohérente que les plaquettes. Au dessus de cette bande, se développe latéralement d'abord un fragipan, puis un duripan. Au centre de D2, l'épaisseur de ce dernier atteint plus de 4 m. Le duripan présente des volumes décimétriques de matériau argilo-sableux, brun clair (10 YR 7/2) microagregé, poreux, d'orientation verticale et horizontale (chenaux de racines de la forêt primitive, dont certaines persistent encore). Ces volumes confèrent au duripan une forte porosité grossière. Toutefois, en saison humide, au dessus des volumes de duripan continu et des bandes ferrugineuses, une saturation en eau se produit. Au dessous de la bande ferrugineuse, apparaît d'abord près du bord de la dépression un horizon à volumes fragiques discontinus, à la vertical du fragipan supérieur, puis vers le centre de la dépression, un fragipan continu. Les variations texturales sont les mêmes qu'en D1. Les valeurs du Ki sont analogues à celles de D1. La teneur en Fe₂O₃ du duripan est de 1 %, celle de la bande ferrugineuse de 19,8 %, celle du fragipan de 2,7 %.

2.3 Dépression D3. Podzol à duripan

La dépression D3 (Fig. 1.III) est large d'environ 1 km et profonde de 5 m. Elle est incomplètement drainée par un exutoire. Sur le plateau, le sol est un *podzólico* analogue à celui de Boca da Mata et comportant des bandes de plaquettes ferrugineuses. Sur le bord de la dépression, le sol présente un horizon humifère de 30 cm gris foncé (10 YR 4/1), sableux, poreux, devenant plus clair et plus argileux vers le bas. Suit un horizon B, de 30 à 90 cm, brun clair (10 YR 6/4), argilo-sableux, polyédrique, qui prolonge le B, du *podzólico* amont. Au dessous apparaît un horizon brun clair (10 YR 6/3), argilo-sableux, microagregé, poreux, peu cohérent contenant de petits volumes de duripan et des fragments de bandes ferrugineuses. A la base de cet horizon apparaissent des volumes décimétriques de duripan brun très clair (10 YR 8/3) moyennement indurés, coiffés de bandes ferrugineuses et surmontés de matériau brun rouge, organo-ferrugineux (7,5 YR 6/2,5). Les volumes de duripan, plus ou moins alignés augmentent de taille vers le centre de la dépression atteignant plusieurs mètres de largeur et 50 cm d'épaisseur. De même, les horizons supérieurs deviennent de plus en plus sableux et, au centre de la dépression, apparaît un podzol dont l'horizon albique a une forme en biseau. A la base de l'horizon albique apparaît un horizon Bh noir au sommet du duripan qui est continu, extrêmement dur et imperméable. Ce dernier présente également une imprégnation de matière organique. Au maximum de la saison des pluies, le duripan continu constitue le plancher d'une nappe perchée, qui est absente immédiatement à son amont, quand le duripan se réduit à des volumes discontinus. Les résultats analytiques montrent une très nette transition texturale à mi-versant, lors du passage du *podzólico* au podzol, passant en 5 m de 22 à 6 % puis à 2 % dans le podzol. En surface, le Ki varie de 2,5 à 1,5 à l'amont ; en profondeur, il diminue jusqu'à 1,2 et atteint 0,9 au contact du Bh. Fe₂O₃ varie de 0,1 à 0,3 % en surface, de 0,6 à 1,1 % vers la profondeur et de 1,1 à 3,2 % au contact de l'horizon Bh.

2.4 Dépression D4. *Podzólico* et podzol à volumes de duripan

Dans une grande dépression ouverte, très aplanie s'étendant sur plusieurs kilomètres et de profondeur métrique (fig. 1.IV), le sol est différent du *podzólico* du plateau, bien qu'il présente une variation texturale verticale analogue (sableux en surface, argilo-sableux en profondeur). Le profil comporte de 0 à 30 cm un horizon humifère brun grisâtre foncé (10 YR 4/2), très sableux au sommet, sableux à sa base. La structure est massive, la cohésion très faible à nulle. La porosité intergranulaire est forte. La cohésion est plus forte vers la base (horizon *adensado* des pédologues brésiliens). De 30 à 54 cm, apparaît un horizon *adensado*

brun jaune (10 YR 5/4), sablo-argileux; y alternent des volumes massifs et des volumes polyédriques. La cohésion est moyenne à forte, la porosité est tubulaire moyenne à faible. A partir de 40 cm de profondeur apparaissent des volumes blanc jaunâtre, duriques. De 54 à 120/140 cm, on passe à un horizon brun jaune plus vif (10 YR 5,5/5), argilo-sableux de structure polyédrique peu nette, à microagrégation bien développée, à cohésion faible. La porosité tubulaire et intermicroagrégats est bien développée. Cet horizon montre la présence de nombreux volumes de duripan (<5 cm) dont la taille et la cohésion augmentent vers le bas. Certains des plus grands comportent à leur sommet une bande ferrugineuse brune, analogue à celles que l'on trouve dans les volumes de duripan de l'horizon inférieur. De 120/140 à 220 cm apparaît un horizon constitué de 60 à 80 % de volume de duripan (<10 cm), fréquemment en plaquettes plus ou moins alignées horizontalement, de couleur brun clair (10 YR 8/4) et irrégulièrement parcourues de bandes ferrugineuses brunes. Le matériau interstitiel est sablo-argileux, brun (10 YR 5/3), peu cohérent, poreux. A 70 cm de profondeur, on observe divers volumes discontinus de Bh puis, à partir de 200 cm, un matériau fragique jaune avec des bandes ferrugineuses brun rouge, analogues à ceux qui existent sous le duripan de D2.

III. DISCUSSION. STADES D'EVOLUTION DES FRAGIPANS ET DURIPANS

Dans les trois toposéquences D1 à D3, des lignes de plaquettes sont présentes dans les sols *podzólicos* du plateau. Nous pensons que leur origine peut être due à la ferruginisation de joints de sédimentation au sommet de la formation Barreiras, lors de sa phase d'altération. Des sondages profonds ont d'ailleurs montré l'existence de ces lignes jusqu'à plus de 7 m de profondeur. Dès que l'hydromorphie augmente par suite de la formation de la dépression, les plaquettes constituent des niveaux d'arrêt localisés du drainage, provoquent une dissolution et une migration du fer, et finalement induisent la transformation de la ligne de plaquettes en bande ferrugineuse continue.

Par ailleurs, l'observation morphologique suggère qu'il existe dans la dépression D1 une séquence de différenciation associant les volumes fragiques discontinus, la bande ferrugineuse et le fragipan. Des indices montrent en effet que la bande ferrugineuse descend dans l'horizon à volumes fragiques en développant au dessus d'elle un fragipan de couleur brun clair, appauvri en fer. La bande ferrugineuse, siège d'un ralentissement du drainage, favorise la dissolution du fer et sa migration vers le bas, provoquant ainsi la déferruginisation de l'horizon sous-jacent. Elle constitue le front de transformation de l'horizon à volumes fragiques en fragipan. La déferruginisation apparaît alors comme un facteur de formation de ce dernier, bien que la différence entre les teneurs en Fe₂O₃ du fragipan (2,2 %) et du fragipan discontinu (2,5 %) soient faibles. La teneur en Fe₂O₃ des bandes ferrugineuses est de 8,6 %. Ceci traduit le rôle de l'hydromorphie, qui va croissant vers le centre de la dépression et apparaît comme un facteur important dans la formation du fragipan et dans la migration vers le bas de la bande ferrugineuse associée.

Dans la dépression D2, la séquence de différenciation latérale débute comme celle de D1 mais elle est plus complète. Les plaquettes ferrugineuses supérieures passent à une bande ferrugineuse continue au dessus de laquelle apparaît un fragipan et, au dessous un horizon à volumes fragiques discontinus. Le fragipan supérieur passe latéralement à un duripan qui s'épaissit jusqu'à atteindre plus de quatre mètres au centre de la dépression. L'horizon à volumes fragiques sous-jacent passe à un fragipan continu, séparé du duripan supérieur par une bande ferrugineuse. Celle-ci, provoque, ici aussi, un ralentissement du drainage vertical, et apparaît comme le front de transformation du fragipan en duripan, cette transformation s'accompagnant d'une perte importante de fer (2,7 % dans le fragipan et 1 % dans le duripan),

alors que les bandes ferrugineuses sont plus riches en Fe_2O_3 (19,8 %). L'hydromorphie, qui augmente avec l'agrandissement et l'approfondissement de la dépression joue un rôle prépondérant dans cette évolution. Cependant, cette hydromorphie n'est pas totale car le duripan et, à un moindre degré, le fragipan, présentent des fissures délimitant des volumes décimétriques constitués de matériau argilo-sableux microagrégé, poreux et perméable. Ces volumes confèrent au duripan une perméabilité en grand non négligeable qui empêche l'installation d'une nappe perchée continue pendant la saison des pluies. La formation des horizons fragiques et duriques serait induite par la migration verticale du fer qui se concentre provisoirement dans des bandes ferrugineuses, sous forme de gels alumino-ferrugineux, puis de goethite. Les bandes induisant des ralentissements du drainage provoqueraient la déferruginisation et l'hydrolyse de la kaolinite, source de gels alumineux ou siliceux, finalement cause de l'induration.

Dans la dépression D3, le duripan présente un développement maximum (très grande dureté, continuité, imperméabilité) dans le fond aplani de la dépression où il est surmonté par une nappe perchée en saison des pluies. La nécessité de cette nappe perchée, à l'équilibre dynamique du duripan est démontrée par la dégradation de ce dernier immédiatement à l'amont du niveau maximum de la nappe. Ceci correspond vraisemblablement à l'abaissement de la nappe liée à l'ouverture partielle de la dépression. Les mécanismes qui interviennent successivement dans l'évolution sont l'hydromorphie et la podzolisation (migration du fer, hydrolyse de la kaolinite, qui est probablement responsable de la variation texturale), qui, de plus en plus accentuée, aboutit à la formation d'un podzol, en même temps que le duripan acquiert son développement maximum. D'ailleurs, l'horizon Bh noir, continue, dur et imperméable qui apparaît à la base de l'horizon albique dans la dépression D3 s'apparente aux horizons de type ortstein décrits dans des contextes climatiques différents (McKeague & Wang, 1980)

Dans la dépression D4, le duripan se fragmente et se transforme en un matériau sablo-argileux et microagrégé. En témoignent les restes de duripan, de plus en plus petits et de plus en plus fragiles vers le haut, jusqu'à 40 cm de profondeur, certains conservant des caractéristiques propres au duripan (bandes ferrugineuses). Le sol qui en résulte s'apparente au *podzólico* du plateau par sa forte variation texturale verticale, mais en diffère par une microagrégation accentuée de l'horizon B, résultant de la destruction du duripan.

Finalement, il existe donc une séquence évolutive des fragipans aux duripans, allant de leur formation (petites dépressions avec hydromorphie modérée), à leur évolution maximale lorsque l'hydromorphie est très accentuée (présence d'une nappe perchée) et enfin à leur destruction lorsque la dépression est complètement ouverte et aplanie et que l'hydromorphie a disparu. Cette évolution est liée à celle des dépressions dont le déterminisme est probablement d'origine tectonique. En effet, l'interprétation des photographies aériennes montre l'alignement des dépressions, parfaitement orientées selon trois directions (13° , 93° , 117°), qui correspondent sensiblement aux directions de failles de la région. Les dépressions se localisent le plus souvent au croisement de ces axes et pourraient correspondre à des fuites verticales de l'eau dues aux brèches tectoniques, comme cela a déjà été montré ailleurs dans l'Etat de São Paulo (Filizola et Boulet, 1996).

IV. CONCLUSIONS

Les sols des plateaux littoraux du Nordeste brésilien présentent déjà, selon les pédologues brésiliens des processus de podzolisation. La séquence évolutive qui va de l'apparition au développement des duripans puis à leur destruction est liée à celle des

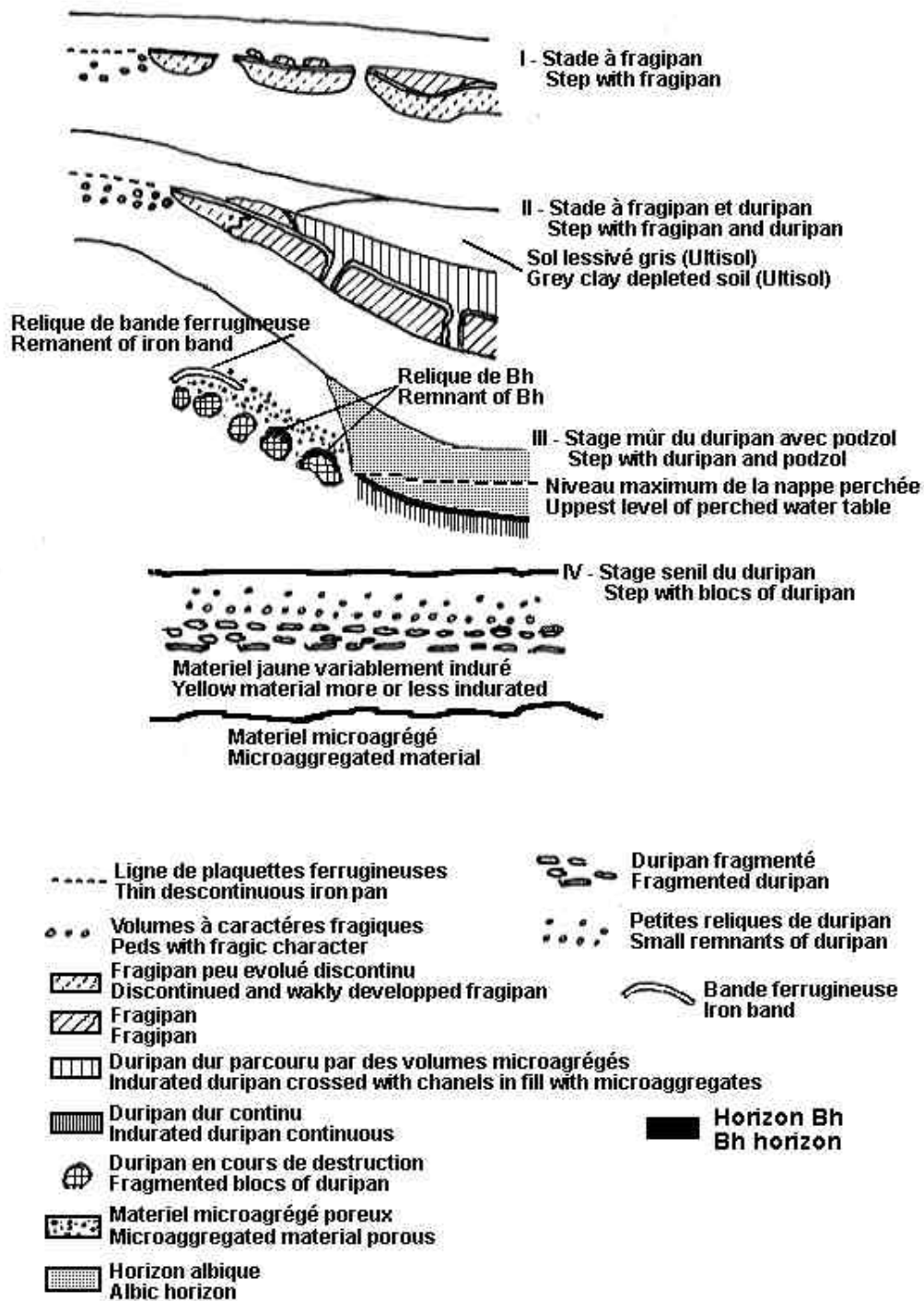
dépressions, à leur approfondissement et à leur extension. Ces dépressions très nombreuses sur ces plateaux ont très probablement un déterminisme tectonique. Le rôle de l'hydromorphie, causé par ces dépressions, est prépondérant par la migration du fer qu'elle provoque. De même est prépondérante la présence initiale de plaquettes ferrugineuses, qui ralentissent le drainage vertical, constituent des sources de fer qui, migre même s'il se concentre temporairement sous forme de bandes ferrugineuses. Les phénomènes d'hydromorphie et de podzolisation seraient responsables de l'hydrolyse de la kaolinite, source des gels alumineux et/ou siliceux. La nature des ciments qui donnent leurs propriétés aux fragipans et leur dureté aux duripans est maintenant mieux connue mais leur étude doit être approfondie. Le podzol qui apparaît dans la tranchée D3 au stade le plus évolué du fragipan, lorsque celui-ci est surmonté d'une nappe perchée, joue sans aucun doute, un rôle important dans l'évolution du duripan. Les restes de Bh dans le duripan en cours de destruction (D4) témoignent que le podzol y a été présent. Il manque cependant un stade intermédiaire qui correspond à la disparition de l'horizon albique. Le processus de podzolisation apparaît dès les tranchées D1 et D2 par l'hydrolyse de la kaolinite, la migration du fer, de la silice et la libération de l'aluminium.

Remerciements : Etude financée par la FAPESP (Processo 94/247-8). Le travail de terrain a été grandement facilité par l'aide de l'usine Triunfo (Boca da Mata)

Bibliographie

- BOULET R., FRITSCH E., FILIZOLA H.F., ARAÚJO FILHO J.C., LEPRUN J.C., SILVA F.B.R. e, BALAN E. 1996 - Fragipãs, duripãs e bandas feruginosas dos Tabuleiros Costeiros do Nordeste do Brasil: distribuição, mineralogia e gênese. Congresso Americano de Ciência do Solo, 13 (Águas de Lindóias, SP, Brasil)
- CPCS, 1967 - Classification des sols. INRA (Grignon), 96 p.
- EMBRAPA, 1979 - Manual de análise de solo. Serviço Nacional de Levantamento e conservação dos solos (Rio de Janeiro, RJ., Brasil)
- FILIZOLA H.F. et BOULET R., 1996 - Evolution and opening of closed depressions developed in a quartz-kaolinitic sedimentary substratum at Taubaté basin (São Paulo, Brazil), and analogy to the slope evolution. *Geomorphology* 16 p.77-86.
- JACOMINE P.K.T., 1974 - Fragipans em solos de Tabuleiros: características, gênese e implicações no uso do agrícola. Tese livre doc.. Univ. Fed. Rur. de Pernambuco. 83p.
- KLISTER P., 1954 - Historical resume of the Amazon basin. Petrobras (104 -A), Bélem
- MABESOONE J.M., ALHEIROS M.M., 1988 - Origem da bacia sedimentar costeira Pernambuco. *Rev. Bras. Geo.*, 18, 476-482
- MCKEAGUE J.A., WANG C., 1980 - Micromorphology and energy dispersive analysis of ortstein horizons of podzolic soils from New Brunswick and Nova Scotia, Canada. *Can. J. Soil Sci.*, 60, 9-21
- OLIVEIRA J. B. de, JACOMINE P.K.T., CAMARGO M.N., 1992 - Classes gerais de solos do Brasil. Guia auxiliar para seu reconhecimento. FUNEP-UNESP, 201p.
- SILVA F.B.R. e, LEPRUN J.C., BOULET R., 1997 - Duripãs em solos dos tabuleiros costeiros do Nordeste do Brasil : Mineralogia, micromorfologia e gênese. *Cong. Bras. de Ciencia do Solo*, 26, Rio de Janeiro, CD-ROM
- SOIL SURVEY STAFF, 1975 - Soil Taxonomy. A basic systeme of soil classification for making and interpreting soil survey.
- USINA TRIUNFO AGROINDUSTRIAL, 1991 - Levantamento detalhados dos solos da Usina Triunfo na escala de 1/10 000. Relatório geral.

Figure 1: Schéma des stades d'évolution des fragipans et duripans étudiés.
 Cross sections showing different steps of development of fragipans and duripans.



Mots clés : Nordeste, Brésil, dépression, bande ferrugineuse, fragipan, duripan, sols lessivés, podzol

Keywords : Northeast Brazil, depression, iron tape, fragipan, duripan, leached soils, podzol