

Caractérisation du comportement physique de deux types de faciès de sol ferrallitique ferritique issus de roches ultramafiques

E. BOURDON, T. BECQUER, S. EDIGHOFFER et B. BONZON

Laboratoire d'Agropédologie, Centre ORSTOM, BP A 5, 98848, Nouméa, Nouvelle-Calédonie

Résumé

Cette note montre qu'il existe un lien entre la structuration, le volume des vides, la granulométrie et la compacité de deux faciès de sols ferrallitiques ferritiques. Le premier est situé sur un piedmont et le second sur une plaine. Cette caractérisation physique est ensuite comparée avec l'enracinement des associations végétales présentes sur ces deux faciès. Cette comparaison indique également que la compacité de certains sols, en particulier celui de piedmont, limiterait le développement des racines. Toutefois, il semble prématuré de préciser quels sont les rôles respectifs des caractéristiques physiques et chimiques sur la limitation de l'enracinement. En effet, les horizons les plus compacts sont ceux de la zone de piedmont qui sont les plus évolués et chimiquement les plus pauvres. D'après ces premières observations, il semblerait que le comportement physique de ces sols puisse également intervenir dans la zonation des associations végétales comme le potentiel chimique ou les teneurs en métaux de transition (Ni, Mn, Co...) plus généralement mentionnées. Enfin, ces comportements sont à prendre en compte lors de la mise en culture mais également lors de reforestation ou de réhabilitation de zones dégradées.

Introduction

Depuis quelques années, l'agriculture se développe sur les sols ferrallitiques ferritiques (ferrallisols) du Sud de la Nouvelle-Calédonie. Ces sols représentent plus du tiers de la surface cultivable de cette région. A leur mise en valeur s'oppose leur faible fertilité chimique (Latham *et al.* 1978 ; Gourdon *et al.* 1991) mais également certaines de leurs contraintes physiques.

Une caractérisation morphologique et physique de différents faciès de sols potentiellement cultivables a été entreprise en milieu naturel afin de définir leur état initial. L'objectif de ce travail est, d'une part d'établir un lien entre les caractères morphologiques de ces sols et leur comportement physique, d'autre part d'évaluer l'incidence de ces caractéristiques sur l'enracinement des plantes.

Présentation du milieu

PAYSAGE ET MODELE

Le site se compose d'un piedmont à l'amont et d'une terrasse alluviale à l'aval avec une zone intermédiaire de transition constituée par un glacis alluvio-colluvial (Fig. 1). La cartographie de la zone a permis d'identifier cinq unités de sols (Bourdon *et al.* 1994). Elle montre des proces-

sus de rajeunissement (décapage) sur les piedmonts et d'accumulation de matériaux en bas de pente. Par ailleurs, en bas de pente, ces matériaux peuvent être soumis à un battement de nappe temporaire à semi-permanente. Ce modèle se caractérise, de l'amont vers l'aval, par des pentes à profil convexe d'environ 15 % passant latéralement à des pentes à profil rectiligne comprises entre 3 et 8 %.

La végétation (Jaffré 1980) suit en grande partie la zonation morphopédologique. Elle est constituée : d'un maquis ligno-herbacé fortement dégradé sur le piedmont, d'un maquis para-forestier sur le glacis alluvio-colluvial et d'un maquis ligno-herbacé semi-humide sur la terrasse alluviale.

LES SOLS

Les sols, issus des formations ultrabasiqes, sont dominés par les ferrallitiques ferritiques (C.P.C.S. 1967) ou ferrallisol (R.P.F. 1990). C'est sur ce type de topographie que les ferrallisols sont les mieux représentés.

Schématiquement, ces sols se différencient de la façon suivante en fonction du modèle (Fig. 1) :

- sur le piedmont, des sols fortement désaturés, riches en nodules (OUE 1),
- en plaine, des sols peu évolués, non clima-

tiques, d'apport colluvio-alluvial riches en nodules (OUE 2) et d'apport alluvial (OUE 3 à OUE 4).

Ces sols présentent des capacités d'échanges cationiques limitées aux horizons organiques (Becquer *et al.* 1997). La somme de leurs bases échangeables (calcium, magnésium, potassium, sodium) reste faible à nulle. Leur pH est généralement acide. Leur minéralogie est constituée essentiellement d'oxydes et d'hydroxydes de fer associés à des métaux de transition et dans une moindre proportion de silicates magnésiens (Quantin *et al.* 1997).

Matériel et méthodes

A l'échelle du modelé, la méthode de cartographie des différentes unités morpho-pédologiques a été réalisée à partir de sondages à la tarière en suivant la méthode proposée par Boulet *et al.* (1982). Ces observations permettent de suivre les variations latérales et verticales de chaque volume de sol qui définissent une plage cartographique (Brabant 1991).

Chaque unité cartographique est caractérisée par des descriptions morphologiques (de Blic 1976) réalisées à l'échelle du profil pédologique. A cette échelle, différents volumes sont

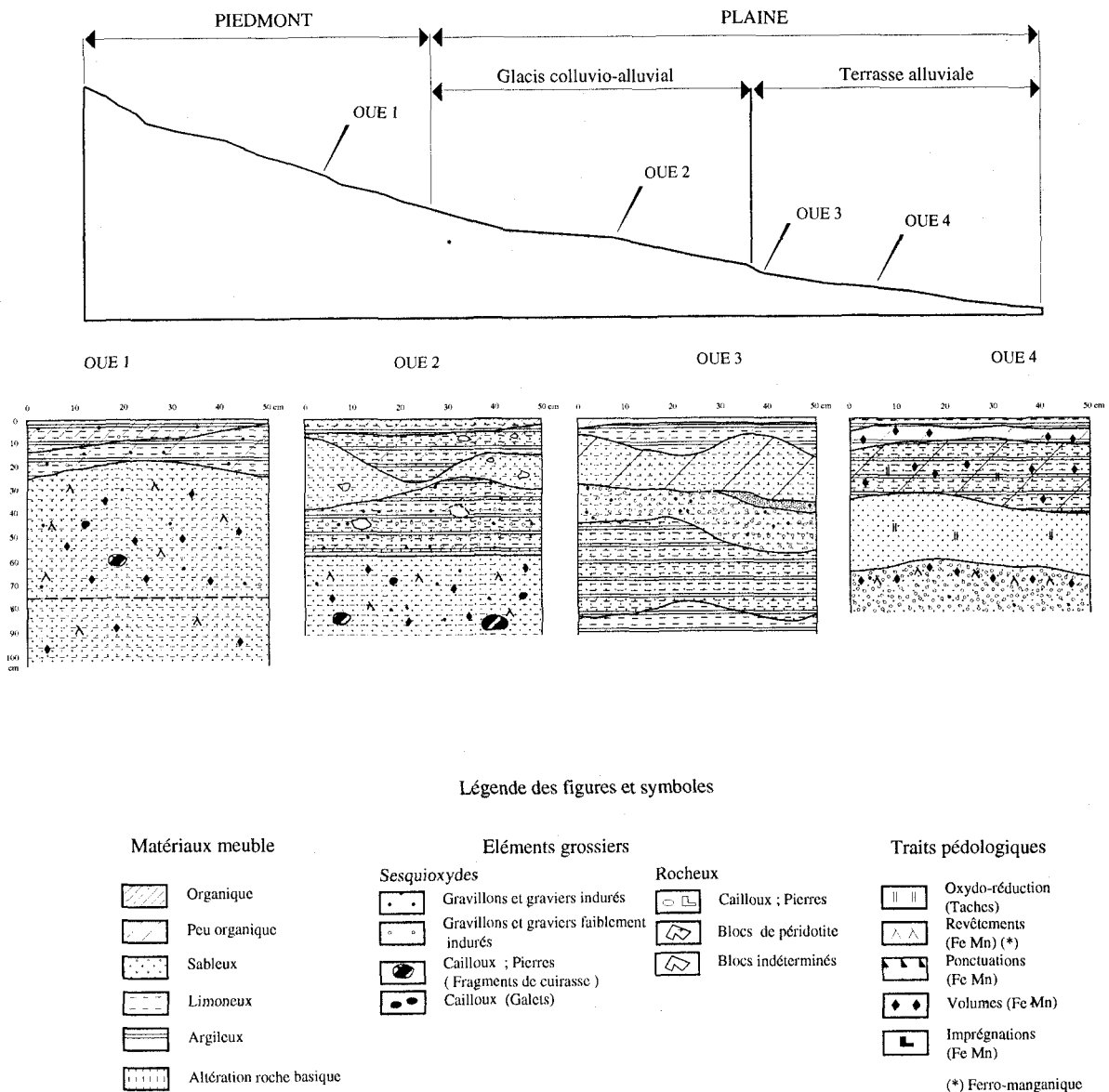


Fig. 1 Modelé et profils de sol

définis en fonction de leurs diverses composantes tels que les assemblages des éléments structuraux, l'agencement des vides et la répartition des racines. L'ensemble de ces méthodes de caractérisation s'insèrent dans une démarche associant différents niveaux d'observation (du modelé aux relations sol-plante) à partir d'une toposéquence.

Ces méthodes ont permis de sélectionner une toposéquence représentative des sols sur roches ultramafiques. Celle-ci est constituée de quatre profils pédologiques (OUE 1 à OUE 4). Des déterminations physiques ont été effectuées sur les deux profils les plus représentatifs : OUE 1, pour le faciès du piedmont, et OUE 3, pour les faciès de la plaine.

La porosité totale (Pt) est calculée d'après la relation $Pt \% = (1 - Da / Dr) * 100$ où Da et Dr sont respectivement les densités apparentes et réelles du sol (Humbel 1974). La micro et la mésoporosité sont obtenues par des mesures des humidités volumiques aux pF 4,2 et 2,5. La macroporosité est déduite de la porosité totale et de ces valeurs de pF. La conductivité hydraulique a été obtenue à partir de mesures d'infiltration sur le terrain avec un infiltromètre à disques T.R.I.M.S (Triple Ring Infiltrometer under Multiple Suction). Celles-ci ont été effectuées avec un disque de 40 mm de diamètre pour 3 succions différentes (0,5, 5 et 15 hPa) correspondant à des valeurs pF comprises entre 0 et 1,2. La «dureté» du sol (Moreau & Nagumo 1995) a été mesurée par un pénétromètre de poche à aiguille conique (type Yamanaka) selon un carroyage (par maille de 10 cm) sur l'ensemble du profil.

Des comptages racinaires ont été réalisés. La répartition des racines, pour chaque horizon et pour chaque classe de racines est exprimée en pourcentage du total de racines présentes dans le sol.

Relation entre la morphologie des sols et l'enracinement

De l'observation des profils sur la toposéquence se dégage quatre types d'assemblages structuraux et deux types d'arrangements poraux qui s'organisent de la façon suivante :

- *sur piedmont*, dans l'horizon de surface (0-10 cm), deux types de structures se juxtaposent ; la première est particulière et la seconde grume-

leuse. L'agencement de ces deux structures définit des vides d'entassement entre les agrégats et/ou les particules. Cet assemblage a une très faible cohésion. Dans les horizons de profondeur (à partir de 15 cm), l'emboîtement d'une structure fine à polyèdres réguliers aboutit à une sur-structure massive à l'état humide. Cet emboîtement a une très forte cohésion d'ensemble et ne permet pas l'individualisation soit de vides d'entassement et/ou d'arrangement. Cependant ces derniers peuvent être observés lors de phases de forte dessiccation. Par ailleurs, la porosité est tubulaire et intra-agrégats.

Le comportement des racines semble suivre l'organisation structurale de ces horizons. En effet, seul l'horizon de surface est colonisé par un lacis racinaire qui pénètre peu dans les horizons de profondeur (jusqu'à 20 cm).

- *sur plaine*, dans les horizons de surface (0 à 25 cm), deux types de structures se juxtaposent. La première, fine à moyenne, est constituée de polyèdres à arêtes vives et de formes irrégulières. Elle domine la seconde qui est grumeleuse. L'agencement de ces deux structures définit des vides d'entassement mais également d'arrangement. Une porosité tubulaire fine, intra-agrégats, est associée à la structure polyédrique. Dans les horizons de profondeur (au-delà de 25 cm et jusqu'à 60 cm), la structure est massive. Les types de vides sont étroitement liés à la nature des matériaux d'apport. Dans un premier cas, les apports à texture plutôt sableuse se caractérisent par des vides d'entassement. Dans un second cas, une porosité tubulaire, fine à moyenne, se développe dans des matériaux à texture plutôt limoneuse. La cohésion de ces matériaux est très faible pour le premier cas et faible à assez forte pour le second.

Dans les horizons de surface, les racines se développent entre et dans les éléments structuraux. Elles pénètrent assez fortement les horizons sous-jacents et participent à la structuration. Il faut également noter que sur ces zones de bas de pente l'activité faunique du sol n'est pas négligeable et intervient de façon prépondérante sur l'agrégation. La limite de la pénétration racinaire se situe vers 40 à 60 cm.

Enfin, l'enracinement des différentes plantes constituant les associations végétales suit, en partie, l'organisation morphologique de ces différents horizons. En effet, le passage à

une structure plus massive et surtout à la disparition des vides interagrégats se traduit généralement par une forte réduction de l'enracinement.

Caractérisation de la porosité des sols de piedmont et de plaine

LES SOLS DE PIEDMONT

Le volume poral total (Fig. 2a) est de 70% pour les horizons de surface (0-20 cm) et de 60 % pour les horizons sous-jacents. La porosité de ces sols se décompose de la façon suivante :

- la *microporosité* (ou porosité matricielle) occupe environ 20% du volume du sol et reste relativement constante sur l'ensemble du profil,
- la *mésoporosité* (ou porosité utile), de 10%, reste sensiblement constante sur l'ensemble du profil,
- la *macroporosité* est de 40% dans l'horizon de surface et diminue à partir de 20 cm pour atteindre 30% du volume du sol.

Par ailleurs, la granulométrie de ce profil indique des variations texturales suivantes :

- la texture est limono-argilo-sableuse (L.A.S)

effectuées sur le terrain confirment le caractère drainant de ce sol et soulignent les variations de l'espace poral, en particulier, celles concernant la macro-porosité. En effet, les conductivités hydrauliques mesurées aux différentes pressions (0,5, 5 et 15 hPa) indiquent une diminution des vitesses d'infiltration à partir de 20 cm. Ce comportement rhéologique de l'eau dans ce type de profil semble également induit par une augmentation de la fraction fine du sol, en particulier celle des limons.

LES SOLS DE PLAINE

Le volume poral total est également de 70% et varie peu sur l'ensemble du profil (Fig. 2b). La porosité de ces sols se répartie de la façon suivante :

- la *microporosité* (ou porosité matricielle) occupe environ 20% du volume du sol. Elle reste relativement constante sur l'ensemble du profil,
- la *mésoporosité* (ou porosité utile) varie fortement de 20 à 25% sur les 40 premiers centimètres. Elle atteint 30% à 50 centimètres,
- la *macroporosité* varie inversement à la mésoporosité (entre 30% et 25% sur les 50 premiers

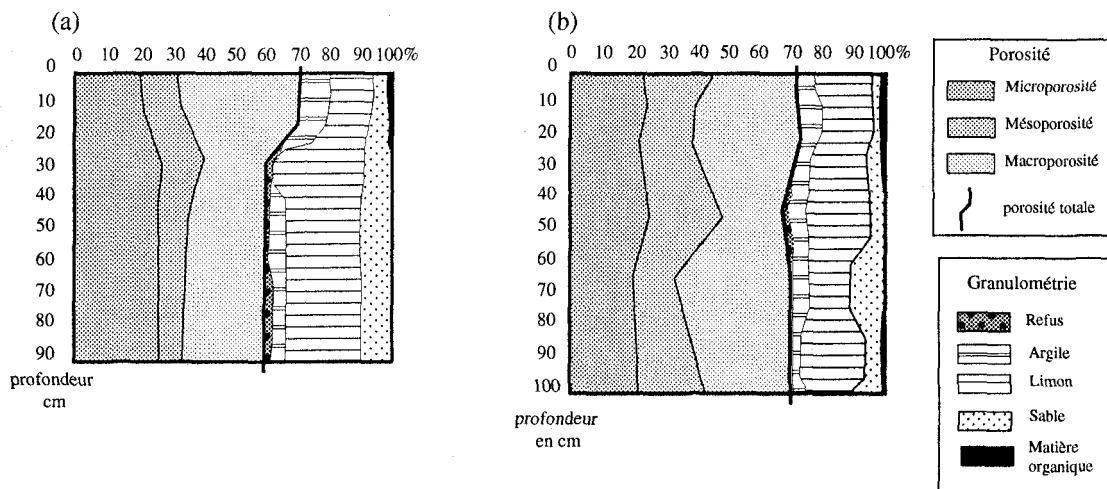


Fig. 2 Caractérisation de la porosité et de la granulométrie du sol de piedmont (a), du sol de plaine (b)

de 0 à 10 cm,

- limono-sableuse (L.S), à partir de 10 et jusqu'à 20 cm, avec une teneur en limons supérieure à 60%,
- limono-sablo-argileuse (L.S.a) de 20 à 40 cm.

L'ensemble de ces données mettent en relief la faible réserve en eau de ce type de sol. Les mesures de conductivité hydraulique (Fig. 3a)

centimètres).

La granulométrie de ce profil indique également les variations texturales suivantes :

- la texture est limono-argileuse (L.a), de 0 à 10 cm, avec une teneur en limons supérieure à 60%,
- limono-sablo-argileuse (L.S.a) de 10 à 20 cm,

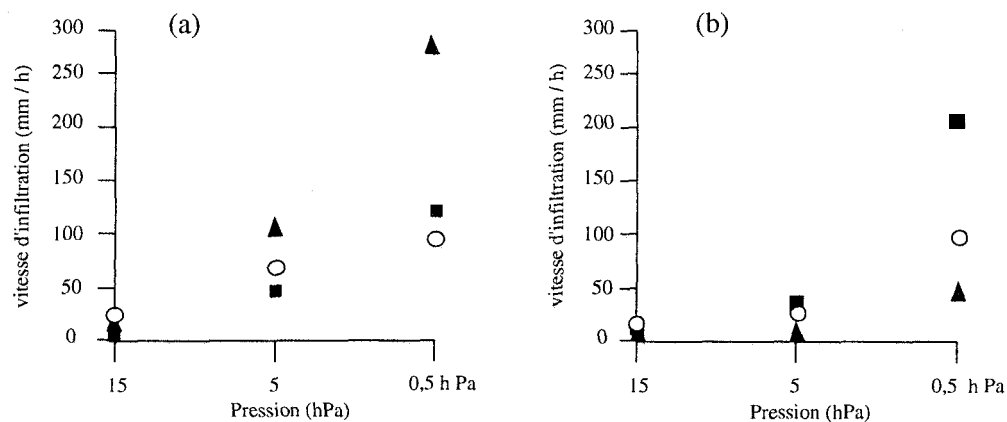


Fig. 3 Conductivité hydraulique (a) du sol de piedmont (b) du sol de plaine mesurée à différentes profondeurs (▲) de 0 à 10 cm, (○) de 10 à 20 cm, (■) de 20 à 40 cm

- limono-sablo-argileuse (L.S.a) de 20 à 40 cm.

Ces données indiquent une réserve en eau du sol de plaine plus importante que celle du piedmont. Les variations de la macroporosité sont également mises en évidence par les mesures de conductivité hydraulique (Fig. 3b) et confirment le caractère drainant de ce sol. Le comportement rhéologique de l'eau dans ce type de profil montre des vitesses d'infiltration de l'eau plus lentes dans les horizons de surface que dans les horizons de profondeur. Par ailleurs, l'analyse granulométrique montre une texture limoneuse dans les 10 premiers centimètres qui passe à une texture plus sableuse en profondeur.

Relation entre la compacité et l'enracinement

Les mesures pénétrométriques ont permis de réaliser des cartes pénétrométriques des profils de sol (Fig. 4a & c). La comparaison entre les valeurs de compacité (exprimées en mm ou kg cm⁻²) et les comptages racinaires (Fig. 4b & d) donne globalement le volume maximal de sol exploré par les racines.

En effet, l'arrêt du développement racinaire correspond à des valeurs pénétrométriques supérieures à 20 mm (6,29 kg cm⁻²) pour des teneurs en limons situées au-delà de 50%.

Par ailleurs, les valeurs d'humidités volumiques obtenues, lors des mesures de terrain, sont proches de la capacité au champ (Tableau 1) sur l'ensemble des deux profils observés à l'exception des horizons de surface compris entre 0 et 5 cm. Cette différence d'état

d'humectation du sol montre que la mesure de la «dureté» des horizons de profondeur est probablement sous évaluée par rapport à des conditions plus sèches. En effet, les mesures pénétrométriques varient de façon inverse à la teneur en eau. Enfin, on peut admettre que les différences de compacité entre le sol de piedmont et celui de plaine ne sont pas liées à des différences d'humidité du sol.

Discussion

En première analyse, il semble qu'il existe une relation de cause à effet entre le comportement physique, hydrique de ces sols et l'enracinement. En effet, la comparaison entre les variations de porosité totale et les valeurs pénétrométriques (Fig. 5) montre qu'il existe une bonne concordance entre ces deux mesures. Cela s'exprime par une étroite relation entre la diminution du volume poral et l'accroissement de la compacité des horizons. Le coefficient de corrélation ($r = 0,755$ pour $n=15$) entre ces deux paramètres est significatif.

Toutefois, les porosités et les vitesses d'infiltration sont relativement élevées dans les horizons compacts. Il nous semble aléatoire d'attribuer les variations de compacité à de simple modification de la porosité du sol. Nous avons pu observer par ailleurs que les horizons compacts ont toujours des teneurs en limons supérieures à 50%. L'organisation de ces particules limoneuses en petits agrégats polyédriques, très cohérents, avec des vides d'arrangement très réduits pourrait expliquer la faible plasticité et la forte cohésion d'ensemble de ces

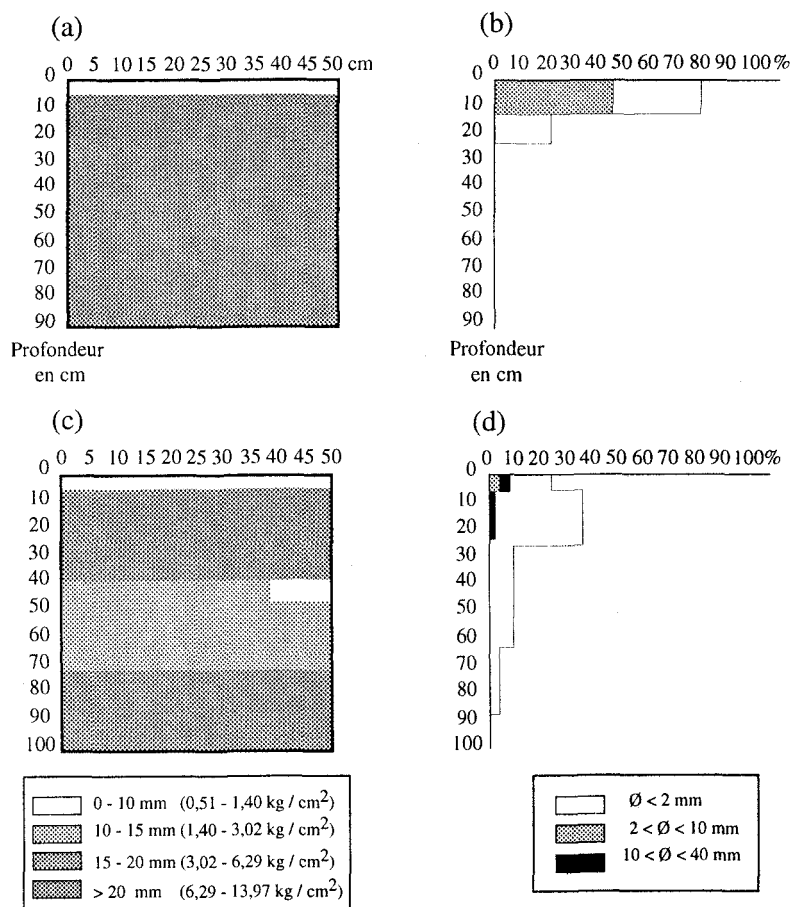


Fig. 4 Comparaison entre la «dureté» du sol et le développement des racines : carte pénétrométrique (a) et comptages racinaires (b) du sol de piedmont OUE 1 ; carte pénétrométrique (c) et comptages racinaires (d) du sol de plaine OUE 3.

volumes. Il conviendra de compléter ces mesures par une analyse de l'organisation micro-morphologique de ces sols afin de mieux comprendre l'incidence des caractéristiques physiques sur l'enracinement.

Les caractéristiques physico-chimiques des sols telles que la teneur en carbone, en base échangeable et en phosphore assimilable peuvent être également des facteurs prépondérants sur le développement des racines. De ce fait, il est difficile, actuellement, de préciser quels sont les rôles respectifs des caractéristiques physiques et chimiques sur la limitation de l'enracinement. En effet, les horizons les plus compacts sont ceux de la zone de piedmont qui sont les plus évolués et chimiquement les plus pauvres.

Conclusion

Les mesures sur l'état physique initial des sols ferrallitiques ferritiques concordent avec les observations morphologiques et elles mettent en

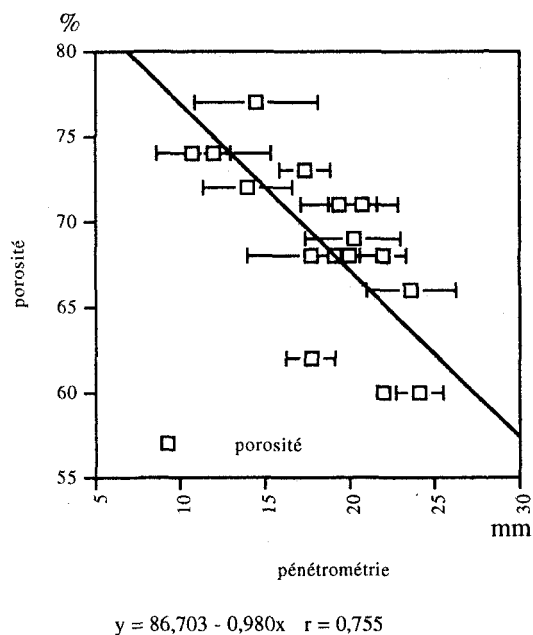


Fig. 5 Comparaison entre les valeurs de porosité et de pénétrométrie sur les horizons de la toposequence.

relief des différences de comportement physique entre les sols de piedmont et ceux de glaciais ou de plaine. En particulier, les premiers, contrairement aux seconds, présentent un horizon très compacte dès 15 à 20 cm de profondeur qui est susceptible de limiter le volume de sol exploitable par les racines malgré une forte porosité et des vitesses d'infiltration sensiblement identiques dans les deux sites observés.

D'après ces premières observations, il semblerait que leur comportement physique puisse également intervenir dans la zonation des associations végétales comme le potentiel chimique ou les teneurs en métaux de transition (Ni, Mn, Co...) plus généralement mentionnés.

Enfin, ces comportements sont à prendre en compte lors de la mise en culture mais également lors de reforestation ou de réhabilitation de zones dégradées.

Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre du programme de recherche sur « l'étude des facteurs de la fertilité et des conditions de mise en valeur des sols ferrallitiques des massifs du Sud de la Grande Terre » ; à cette occasion qu'il nous soit permis de remercier la Province Sud pour son soutien financier.

Bibliographie

- Becquer, T., Bourdon, E. & L'Huillier, L. (1997) Mobilité du nickel dans les sols ferrallitiques ferritiques du Sud de la Nouvelle-Calédonie. *Écologie des milieux sur roches ultramafiques et sur sols métallifères* (eds T. Jaffré, R.D. Reeves & T. Becquer), ORSTOM, Nouméa, ce volume.
- Blic, Ph. de (1976) Le comportement de sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire après défrichement et mise en culture mécanisée : rôle des traits hérités du milieu naturel. *Cahiers ORSTOM, série Pédologie, XIV(2)*, 113-130.
- Boulet, R., Chauvel, A., Humbel, F.X. & Lucas, Y. (1982) Analyse structurale et cartographie en pédologie. *Cahiers ORSTOM, série Pédologie, XIX(4)*, 323-339.
- Bourdon, E., Becquer, T., Edighoffer, S. & Bonzon, B. (1994) Evaluation de la compacité des sols ferrallitiques ferritiques de Nouvelle-Calédonie (relation avec l'enracinement). *Rapport de Convention Science de la Vie, Agropédologie, 26*, 32 pp. ORSTOM, Nouméa.
- Brabant, P. (1991) *Le sol des forêts claires. Exemple d'étude d'un site représentatif en vue d'une cartographie des sols et de l'évaluation des terres*. ORSTOM - MESIRE, 2 volumes, 530 + 278 pp.
- C.P.C.S. (1967) *Classification des sols*. Grignon. 87 pp.
- Gourdon, F., Pujol, G., Boucaron, C., Bonzon, B., L'Huillier, L., Collet, L. (1991) Mise en valeur des sols ferrallitiques ferritiques des massifs du Sud de la Grande Terre. Carence en phosphore et en silice : résultats des deux premières études expérimentales en serre. *Rapport de Convention Science de la Vie, Agropédologie, 9*, 53 pp. ORSTOM, Nouméa.
- Humbel, F.X. (1974) La compacité de sols ferrallitiques du Cameroun : une zonalité dans ce milieu en relation avec la dessiccation saisonnière. *Cahiers ORSTOM, série Pédologie, XII 1*, 73 - 101.
- Jaffré, T. (1980) Végétation des roches ultrabasiques en Nouvelle-Calédonie. *Travaux et Documents 124*, 275 pp. ORSTOM, Paris.
- Latham, M., Quantin, P. & Aubert, G. (1978) Etude des sols de la Nouvelle-Calédonie. Nouvel essai sur la classification, la caractérisation, la pédogenèse et les aptitudes des sols de Nouvelle-Calédonie. *Notice explicative 78*. 138 pp. ORSTOM, Paris.
- Moreau, R. & Nagumo, F. (1995) Le pénétromètre et son utilisation pour l'évaluation des possibilités d'enracinements dans les horizons des sols cultivés. *Deuxième réunion du groupe thématique structure et fertilité des sols tropicaux*. Montpellier, 12 - 13 septembre 1994.
- Quantin, P., Bourdon, E. & Becquer, T. (1997) Minéralogie et contraintes édaphiques des sols dérivés de roches ultrabasiques en Nouvelle-Calédonie. *Écologie des milieux sur roches ultramafiques et sur sols métallifères* (eds T. Jaffré, R.D. Reeves & T. Becquer), ORSTOM, Nouméa, ce volume.
- R.P.F. (1990) *Référenciel Pédologique Français*. 3ème proposition, avril 1990. INRA.

Écologie des milieux sur roches ultramafiques
et sur sols métallifères

The ecology of ultramafic and metalliferous areas



Éditeurs scientifiques - *Scientific editors*

T. Jaffré
R. D. Reeves
T. Becquer

L'Institut
français
de recherche
scientifique
pour le
développement
en coopération

ORSTOM

CENTRE DE NOUMÉA