L'action déterminante de l'homme et du climat actuel sur l'évolution des sols et des savanes du sud du Venezuela, Territoire fédéral de l'Amazone[1]

Philippe BLANCANEAUX (2), Jose ARAUJO (3)

(2) *Pédologue O.R.S.T.O.M., Conseiller technique près MARNR-DGIIA, Division des Sols, Caracas (Venezuela)*
(3) *Ingénieur Agronome, MARNR-DGIIA, Division des Sols, Caracas (Venezuela)*

RÉSUMÉ

L'action de l'homme et l'alternance saisonnière qui règne actuellement dans le sud du Venezuela sont fondamentales dans l'établissement, le maintien et l'extension des différentes formations végétales de savane qui y ont été reconnues. En relation avec différentes unités géomorpho-pédologiques, cinq types de « savanes » ont été distingués. Selon les caractéristiques texturales des sols développés sur ces unités, deux processus pédogénétiques induits par l'action simultanée de l'homme et du climat semblent jouer actuellement un rôle dans l'évolution de ces sols et, corrélativement, de leur végétation.

Le premier processus d'évolution pédologique concerne les sols de granulométrie sableuse dérivant des produits de l'altération et de la désagrégation des granites du soubassement cristallin ou des grès et quartzites de la couverture sédimentaire du Roraima. Sur ces matériaux sableux, les horizons subsuperficiels des sols sont exagérément perméables et présentent une capacité de rétention en eau extrêmement faible. L'évolution joue dans le sens de l'appauvrissement, du lessivage et de la lixiviation intense de ces sols. Durant la saison sèche, le déficit hydrique est très marqué et l'humidité du sol descend en dessous du point de flétrissement des végétaux (pF 4,2). Pendant la saison des pluies, deux cas se distinguent: celui des savanes inondables de la plaine d'érosion et celui des glacis sableux sur le contact des Llanos et du Massif Guyanais aux sols peu ou pas inondables. Dans les deux cas, la durée de la saison sèche est suffisante pour permettre le flétrissement de la végétation et le brûlis annuel active le processus d'appauvrissement des sols et permet l'extension des savanes aux dépens de la forêt qui les entoure.

Le deuxième processus concerne les sols sablo-argileux, argileux et argilo-limoneux appartenant soit au bas piémont ou pénéplaine d'érosion-altération, soit au complexe alluvial Parucito-Manapiare.

Dans le cas des sols argileux non inondables de la pénéplaine d'érosion-altération, aussitot déforestée, la saison sèche nettement marquée conduit à une dessiccation extrêmement forte des horizons subsuperficiels. Un processus d'évolution pédologique irréversible intervient dans la modification de la microstructure interne du sol et détermine une altération du fonctionnement hydrique par compaction des horizons de moyenne profondeur et une diminution de leur perméabilité et porosité. L'apparition d'une hydromorphie temporaire secondaire se manifeste. Ces sols dont le point de flétrissement est dépassé durant la saison sèche sont voués à supporter une maigre végétation de savane arbustive que l'homme brûle chaque année.

Dans le cas des sols développés sur les formations alluviales du complexe Parucito-Manapiare, la nature minéralogique du matériau parental à montmorillonite, conduit à une structure prismatique; toutefois, dès que la couverture forestière est enlevée, les conditions de dessiccation très fortes durant la saison sèche conduisent également à un processus pédologique similaire. L'évolution de ces sols vers les Planosols est assez nettement visible.

---

(1) Étude réalisée dans le cadre de la convention signée entre l'O.R.S.T.O.M. et le MARNR (Ministère de l'Environnement des Ressources Naturelles renouvelables vénézuélien).

Dans tous les cas, l'homme, par son action directe de déforestation et de brûlis semble déterminer ou renforcer l'orientation pédologique du milieu. En modifiant indirectement et d'une manière irréversible le fonctionnement hydrique des sols par l'accentuation d'un contraste saisonnier déjà marqué, il conditionne définitivement et surtout dans la mesure où il maintient son activité, la couverture végétale.

Resumen

La acción determinante del hombre y del clima actual en la evolución de los suelos y de las sabanas en el sur del Venezuela, es decir en el Territorio Federal del Amazonas

La acción del Hombre y la alternancia estacional que existen actualmente en el sur de Venezuela son fundamentales en el establecimiento, mantenimiento y extensión de las diferentes formaciones vegetales de sabanas reconocidas en la zona. Cinco tipos de « sabanas » en relación con diferentes unidades geomorfo-pedológicas fueron distinguidas. Según las caracteristicas texturales de los suelos desarrollados en estas unidades, dos procesos pedológicos inducidos por acción simultanea del Hombre y del clima juegan actualmente un papel en la evolución de estos suelos y correlativamente de su vegetación.

El primer proceso de evolución pedológica interviene en los suelos de granulometria gruesa, originados de los productos de alteración y desagregación de granitos del basamento cristalino o de areniscas de la cobertura sedimentaria del Roraima. Sobre este material arenoso los horizontes subsuperficiales son exageradamente permeables y poseen una capacidad de retención de agua extremadamente baja. El proceso pedológico actúa en el sentido del empobrecimiento y liximiación intensa de estos suelos. Durante la estación seca, el deficit hídrico es muy acentuado y la humedad del suelo esta por debajo del punto de marchitez permanente (pF 4,2). Durante la estación lluviosa, dos casos se pueden observar: el caso de las sabanas de la planicie de erosión y el de los glacis arenosos sobre el contacto Llanos-Macizo Guayanés cuyos suelos son poco o no inundables. En los dos casos la duración de la estación seca es suficiente para permitir la marchitez de la vegetación, y las quemas anuales activan el proceso de empobrecimiento de los suelos y permiten la extensión de las sabanas a expensas de la selva que las rodean.

El secundo proceso se refiere a los suelos franco-arcillosos, arcillosos, y arcillo-limosos que pertenecen sea a la unidad fisiográfica de penillanura de erosión-alteración, sera al complejo aluvial Parucito-Manapiare.

En el caso de los suelos arcillosos no inundables de la penillanura de erosión-alteración, en seguida que desaparece la cobertura forestal, la estación seca netamente marcada provoca una desecación extremadamente fuerte de los horizontes subsuperficiales que determina por modificación de la micro-estructura interna del suelo, una modificación del funcionamiento hídrico por compactación de los horizontes a media profundidad y correlativamente la disminución de su permeabilidad y porosidad.

En el caso de los suelos desarrollados sobre las formaciones aluviales del complejo Parucito-Manapiare, la naturaleza mineralógica del material original rico en montmorillonita conduce a una estructura prismática; sin embargo, en seguida que desaparece la cobertura forestal, las condiciones de desecación muy fuertes durante la estación seca conducen igualmente a un proceso pedológico similar. La evolución de estos suelos hacia los Planosoles es netamente observable.

En todos los casos, el Hombre, por su acción directa de desmonte y quema parece determinar o reforzar la orientación pedológica del medio. Modificando indirectamente y de una manera irreversible el funcionamiento hídrico de los suelos por intermedio de un contraste estacional marcado, el hombre condiciona definitivamente y sobre todo si mantiene su actividad, la cobertura vegetal.

Summary

The decisive action of man and the current climate on the evolution of soils and savannas in South Venezuela, say the Federal Territory of the Amazon

The action of man and the seasonal alternance of climatic conditions prevailing in the southern part of Venezuela are the main factors that control the establishment, endurance and extension of the different vegetal formations of "savanna" recognized in that zone. Five types of "savanna" related to different geomorpho-pedologic units were recognized. According to the textural characteristics of the soils developed on those units two pedological processes brought about by man action and climatic conditions play an important role in the evolution of these soils and their related vegetation.

The first process of pedological evolution affect the soils of coarse texture (sand) originated from the weathering and treaking down of the granitic basement, or from the sandstone of the sedimentary cover of the Roraima formation. In this sandy material the upper horizons of the soil are extremely permeable and have a very low water holding capacity. The pedological process act over the material producing and intense lixiviation of these soils. During the dry season, the deficit of water is intense and the soil moisture is below the permanent wilting point (pF 4.2). During the rainy season, two situations can be observed: The situation of the savannas of the erosion plain and the situation of the sandy fans on the Llanos-Guayanes shield. In both cases the soils are little or not flooded and the duration of the dry season is enough to let the vegetation dry out. The annual burning of the vegetation activate the impoverishment process of the soils and permit the savanna to take over the areas left by the surrounding forest.

The second process take place on the clay loamy, silty clay and clayey soils formed on the physiographic unit of the erosion-alteration peneplain or on the alluvial complex of Parucito-Manapiare.

In the case of the non flooded clayey soils of the erosion-alteration peneplain, as soon as the forest cover disappears the dry season permits the complete dessication of the upper horizons. This fact determines through the modification of the soil micro-structure, a change of the hydric conditions due to compactation of the horizons producing the reduction of their porosity and permeability.

Regarding the soils developed on the alluvial complex of Parucito-Manapiare, the mineralogical nature of the original material rich in montmorillonite leds to the formation of a prismatic structure. However, as soon as the vegetal cover disappears, the dry conditions leds equally towards a similar pedological process. The development of these soils towards Planosols is clearly observable.

In all cases, man through his direct action of forest cutting and burning seems to determine or contribute to the pedological orientation of the environment. Altering indirectly and in an irreversible manner the hydric function of the soils through a strong seasonal contrast, man definitively conditions, more so if he maintains his activity, the vegetal cover.

INTRODUCTION

Les savanes couvrent approximativement 20.000 km² soit 12 % du Territoire Fédéral de l'Amazone (180.000 km²) et sont particulièrement bien représentées au nord du 2e parallèle de latitude nord. Certains auteurs d'articles publiés au cours de la dernière décennie, entre autres Ducke et Black, 1953, Van Donselaar, 1965, Zonneveld, 1968, Bigarella, Mousinho et Da Silva, 1969, Eden, 1974, Tricart, 1974, Journaux, 1975, Blancaneaux *et al.*, 1976, ont insisté sur les conditions paléoclimatiques du quaternaire et leurs incidences sur la végétation et la géomorphologie. Eden, 1974, considère même les savanes du sud du Venezuela comme des reliques de zones beaucoup plus étendues au cours de la période aride qui a coïncidé avec la dernière régression préflandrienne. Journaux, 1975, distingue un balancement des zones climatiques en Amazonie ; ses observations ont porté sur la frontière entre le Brésil et le Surinam dans les savanes des « Tirios ». Selon cet auteur, avant l'holocène, le domaine forestier s'étendait plus au nord qu'actuellement tandis qu'au sud les savanes occupaient largement les plateaux jusqu'aux abords de l'Amazone ; au cours des 13.000 dernières années, la forêt aurait reconquis le domaine méridional tandis que les savanes auraient progressé dans le nord. Ces observations coïncident avec celles de Tricart, 1974. D'autres auteurs (Hitchkock, 1948) suggèrent que ces savanes pourraient avoir une origine anthropique et qu'elles seraient principalement pyrogéniques. Ce point de vue s'accorde avec l'hypothèse sur l'origine de certaines savanes en Amérique Tropicale, proposée par Budovski, 1956 ; Sauer, 1958. De rares chercheurs ont par contre attribué l'existence de certaines savanes amazoniennes aux conditions défavorables du sol et du drainage (Beard, 1953 ; Cole, 1960).

1. LOCALISATION

L'étude présentée ici repose sur les observations faites lors du levé des sols actuellement en cours dans tout le Territoire Fédéral de l'Amazone (fig. 1 et 2). La région située au nord du 3e parallèle de latitude nord a jusqu'ici été plus particulièrement étudiée et certains secteurs ont été levés à une échelle semi-détaillée ou préliminaire (1/50.000-1/100.000-1/125.000). Les figures 3 et 4 d'interprétation des images de satellite NASA-LANDSAT 2080-13571 et 13574 du 12 avril 1975 (composition de couleur des canaux 4, 5 et 7), montrent la distribution des principales savanes rencontrées entre les parallèles 3°30′ et 6°30′ de latitude N et 65°00′ et 67°00′ de longitude Ouest.

Une mosaïque physiographique complète de toute la zone située au nord du parallèle 3°30′ de latitude nord a été établie au 1/250.000 par stéréointerprétation des images RADAR. Au cours de la

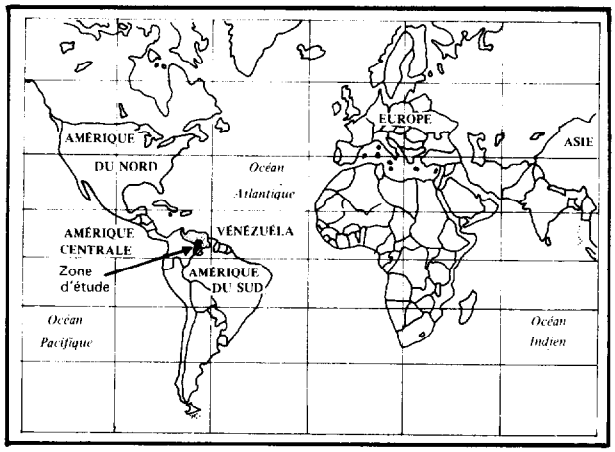


Fig. 1. — Situation dans le monde

vérification au sol des unités physiographiques reconnues, cinq grands types de formations végétales de savanes étroitement associés aux unités géomorpho-pédologiques ont été identifiés. Ces différents types de savanes ont été plus particulièrement étudiés dans les secteurs de Puerto Ayacucho-San Pedro, Santa Barbara-Yapacana, Manapiare-Parucito, Cacuri-Asita-Paru et Duida-La Esmeralda.

2. CONDITIONS DU MILIEU

2.1. **Le climat**

La figure 5 des isohyètes moyennes annuelles pour la période 1971-1974 montre la distribution des pluies au sud du Venezuela. Celles-ci augmentent régulièrement le long de l'Orénoque du nord (Caicara del Orinoco, 1548 mm) au sud (San Carlos de Rio Negro, 3694 mm). Le climat est du type équatorial à tropical humide caractérisé par une saison sèche nettement marquée (fig. 6 et 7). Cette dernière dure en moyenne de septembre à avril et se singularise par un fort déficit hydrique des sols durant les mois de décembre à avril. Les déterminations de bilan hydrique effectuées pour les stations de Puerto Ayacucho et San Fernando de Atabapo montrent la diminution progressive du nord vers le sud de la demande nette en eau et l'augmentation corrélative des excédents durant la saison pluvieuse. En ce qui concerne le régime d'humidité des sols tel qu'il est défini dans la Soil Taxonomy (Formule de F. Newhall, 1974), on passe du nord au sud d'un régime Ustic à un régime Udic puis Perudic (fig. 8).

2.2. **La géomorphologie**

Les cinq grands types de savanes associés aux

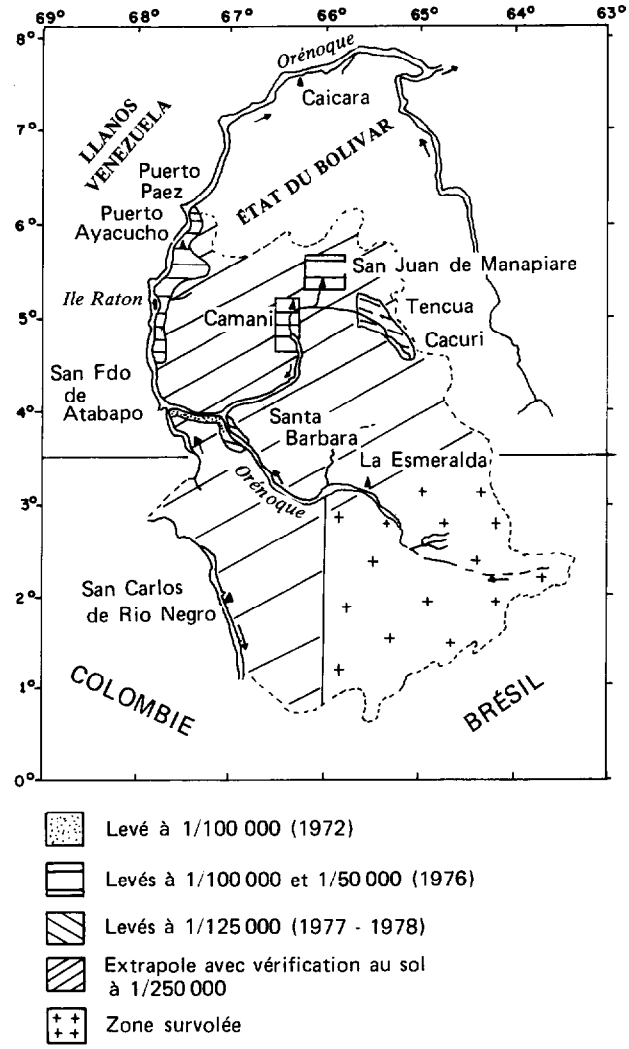


Fig. 2. — État actuel des levés de sols dans la région sud du Venezuela, Territoire fédéral de l'Amazone

unités géomorpho-pédologiques reconnues dans le Territoire Fédéral de l'Amazone sont (fig. 9) :

2.2.1. Les savanes des glacis sableux de la région de Puerto Ayacucho sur le contact des Llanos et du Massif Guyanais (massifs granitiques du Parguaza et de Santa Rosalia) ; peu ou pas inondables.

2.2.2. Les savanes des grandes plaines d'érosion sableuses, d'origine résiduelle, granitique ou gréseuse ; particulièrement représentées en bordure de l'Orénoque, du Ventuari et dans la pénéplaine du Casiquiare ; inondables.

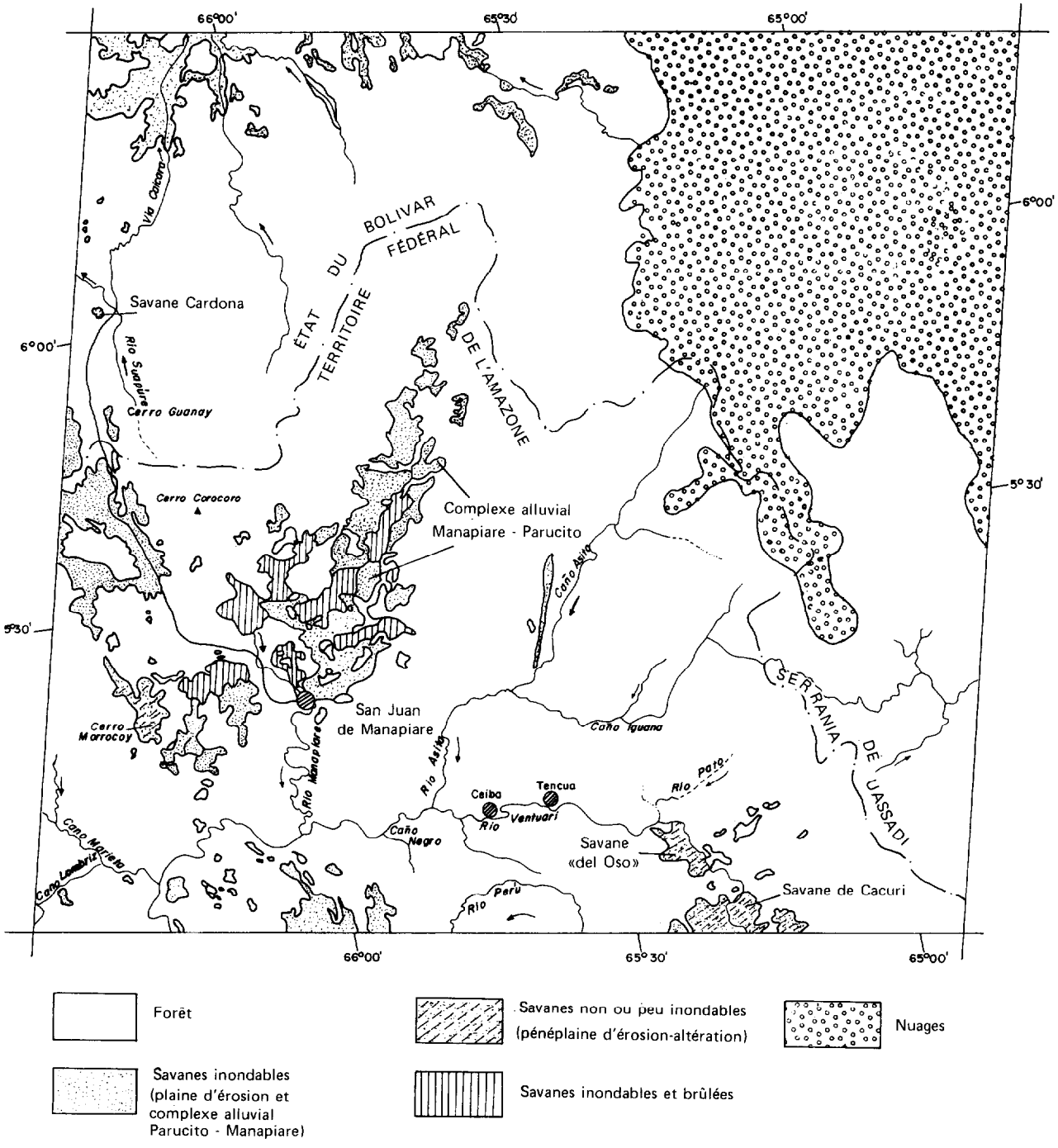


Fig. 3. — Secteur Manapiare - Parucito - Ventuari

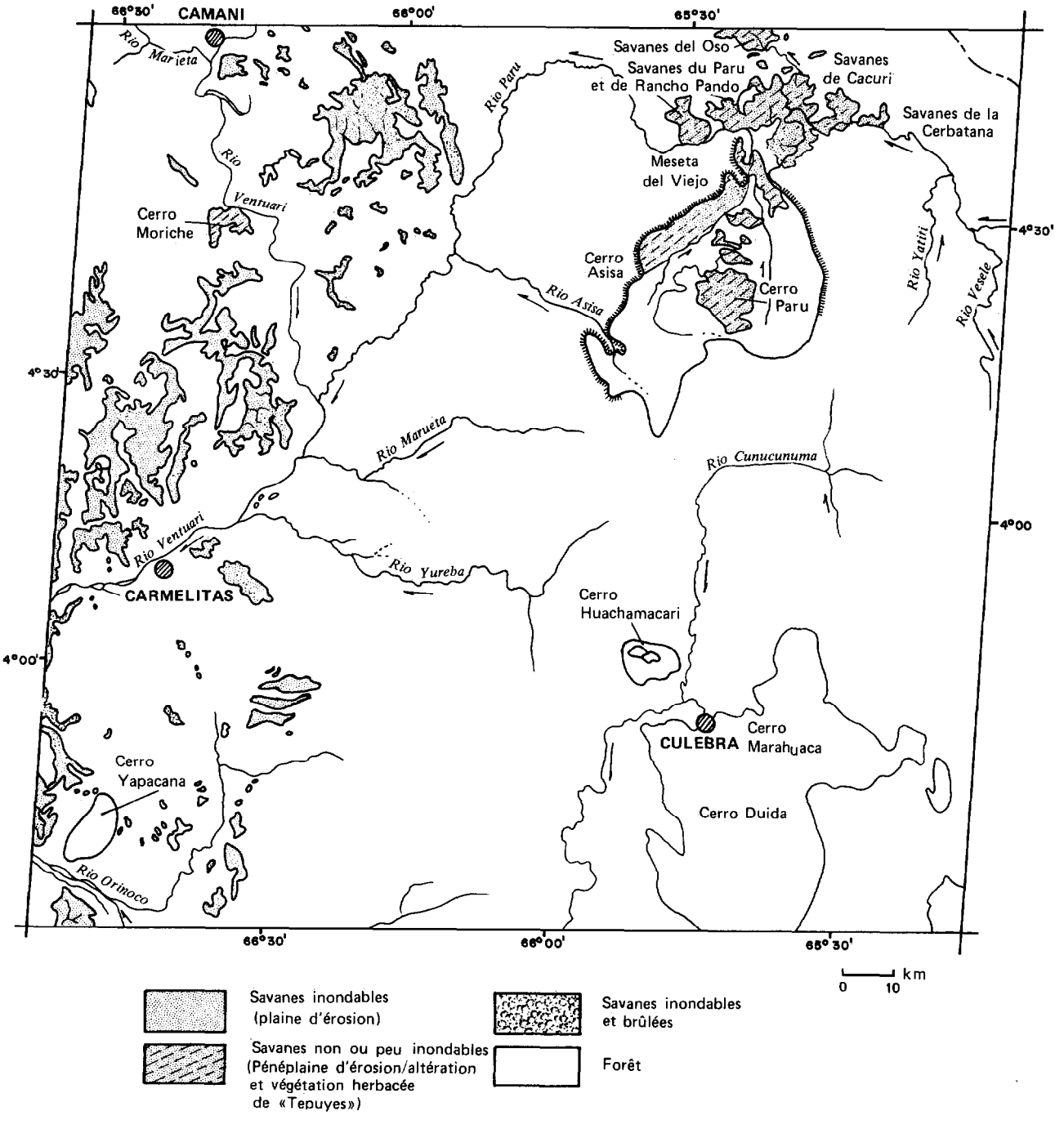


Fig. 4. — Secteur Ventuari - Parú - Duida

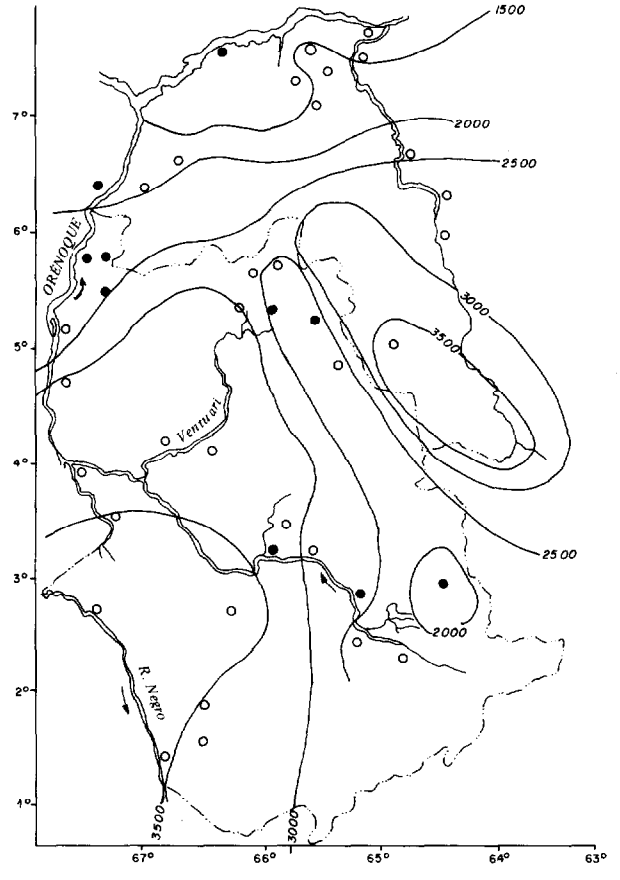


Fig. 5. — Isohyètes moyennes annuelles période 1971-1974. T. F de l'Amazone. Venezuela

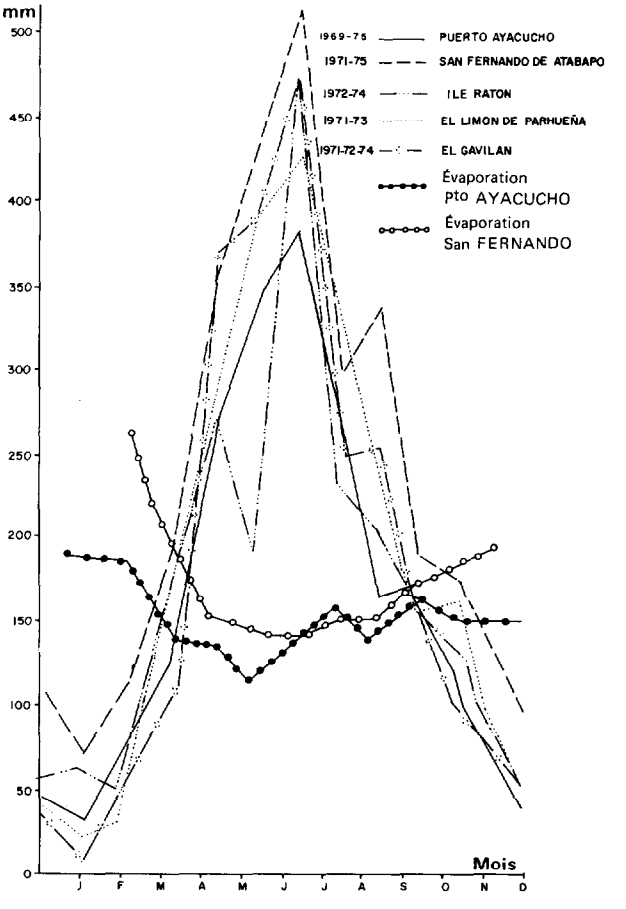


Fig. 6. — Précipitation moyenne pour 5 stations en relation avec l'évaporation

2.2.3. Les savanes de la pénéplaine d'érosion-altération

D'origine granitique ou gréseuse

Elles sont principalement rencontrées sur la bordure occidentale du massif de Parguaza et dans la région de Caicara. On les rencontre également dans le secteur Cacuri-Paru (haut Ventuari), dans la région de Santa Barbara, la Esmeralda. Non ou très peu inondables.

D'origine volcanique acide (rhyolite essentiellement)

Elles ont été surtout observées sur le haut Ventuari dans la région du Parucito, de l'Asita, de la « Meseta del Viejo », au cerro Churuata. Non ou très peu inondables.

2.2.4. Les savanes du complexe alluvial fluviatile subrécent Manapiare-Parucito. Inondables.

2.2.5. Les formations végétales de savane des hauts plateaux gréseux, ou « Tepuyes », du Roraima (grès et quartzites). Elles ont été observées sur le Paru, le Morrocoy, l'Autana, le Sipapo, le Duida. Non inondables sauf dans certaines cuvettes d'accumulation des produits de la désagrégation des grès.

Dans les cinq cas, le facteur physique limitant directement décelable sur le terrain a été le drainage, interne ou externe. Ce sont les conditions texturales du matériau qui liées à la position topographique, géomorphologique et au climat, semblent conditionner la dynamique de l'eau dans le sol et induire son évolution ainsi que celle de la végétation qu'il supporte.

2.3. Les sols et la végétation

2.3.1. Les sols et la végétation des savanes des glacis sableux sur le contact Llanos-Massif Guyanais

Il s'agit d'une zone de transition entre les Llanos qui se développent à l'ouest, et le Massif Guyanais

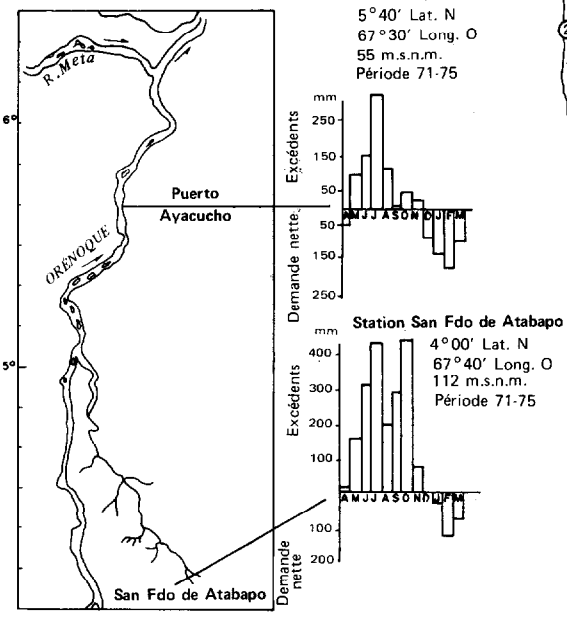


Fig. 7. — Bilan hydrique (mm)

Source : M.A.R.N.R. division hydrologie

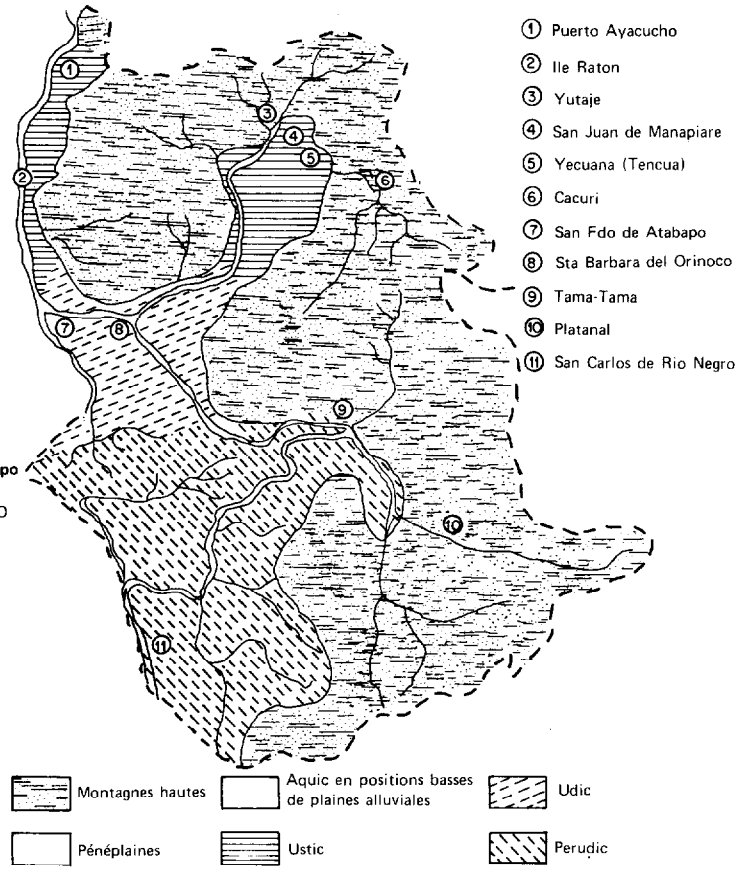


Fig. 8. — Localisation des stations météorologiques du T.F. de l'Amazone et zonification approximative du régime d'humidité des sols

(massif de Parguaza et batholite de Santa Rosalia) à l'est (BLANCANEAUX *et al*, 1977). Le paysage général est celui de larges savanes ouvertes, quasi planes ; le matériau est sableux à sablo-argileux et repose sur le soubassement cristallin qui perce en de nombreux endroits sous forme de coupoles en dômes, d'inselbergs et d'affleurements fortement érodés où prédominent les formes pseudokarstiques (BLANCANEAUX et POUYLLAU, 1977). Les sols les plus fréquemment observés sont des Entisols (Typic Ustipsamments, Typic Quartzipsamments (*) ou Sols minéraux bruts, non climatiques, d'érosion, régiques sur matériau d'érosion des roches du socle (**). Toutefois on y a également observé des Oxisols (Quartzipsammentic Haplorthox (*) ou Sols ferrallitiques fortement désaturés en B, extrêmement appauvris, quartzopsammitiques, sur matériau d'érosion des roches du socle (**). Nous présentons ici le profil PTY 102, typique de ces savanes sableuses excessivement drainées.

Profil PTY 102 (voir résultats analytiques, tableau n° I).

Classification ; Typic Ustipsamment (*).

Situation : 33 km au nord de Puerto Ayacucho.

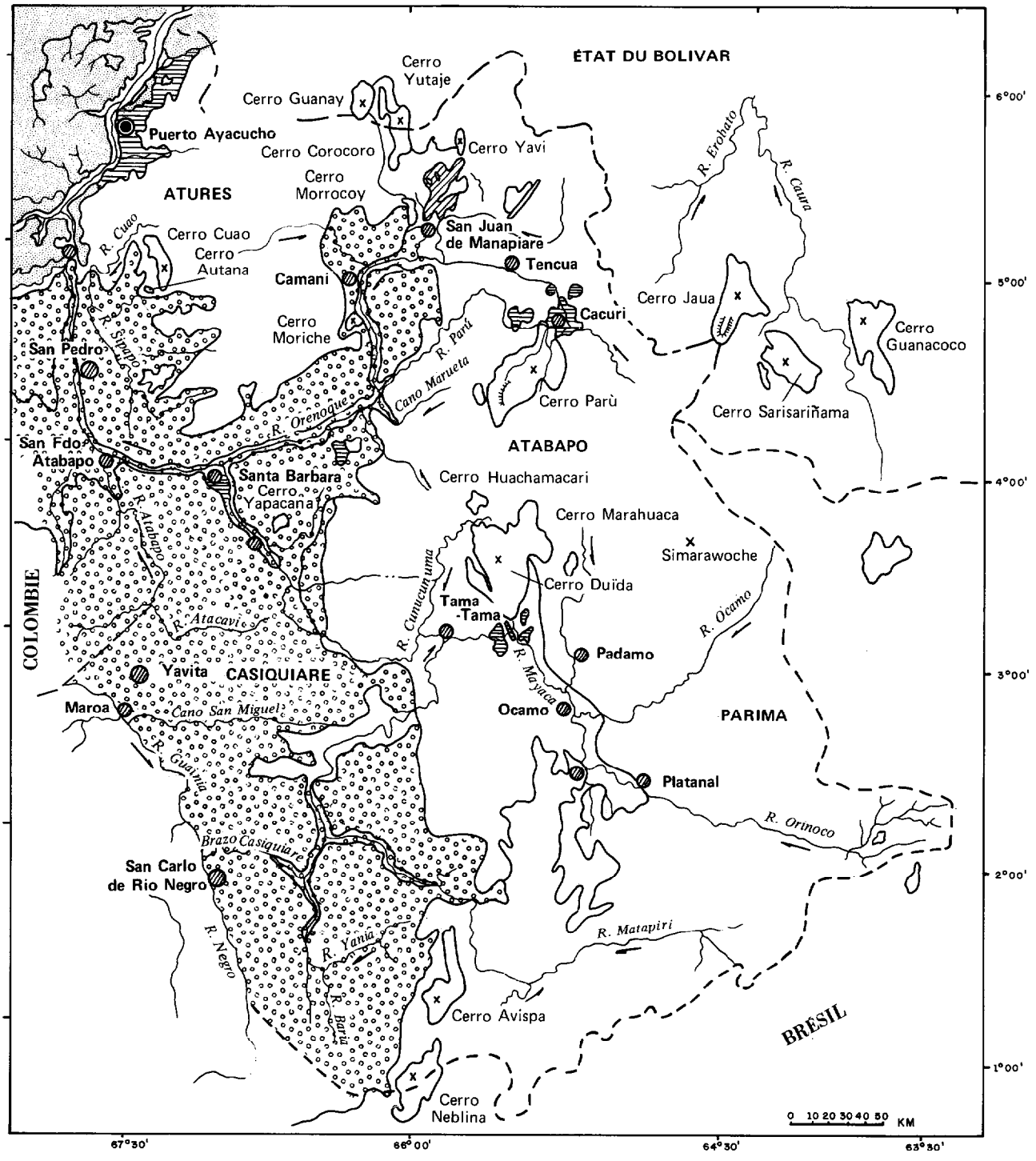
Géomorphologie : Glacis sableux de la plaine résiduelle ; matériau d'origine granitique. Zone de contact Llanos-Massif Guyanais.

Relief et drainage : Quasi plat ; pente de 1 % approximativement ; zone sujette à des inondations exceptionnelles, de courte durée. Sol soumis à un drainage très rapide.

Érosion : Laminaire et éolienne due au brûlis répété.

Végétation naturelle prédominante : Savane à « saeta » *(Trachypogon sp.)*, « Manteco » *(Byrsonima crassifolia)*. « Alcornoque » *(Bowdichia virgilioïdes)*.

(*) U.S. Soil Taxonomy.
(**) Classification Française des Sols.



Association de Savanes, galeries forestières et boqueteaux de glacis sableux sur le contact "llanos"- Massif Guyanais Partiellement inondable	Association d'îlots forestiers et de Savane du complexe alluvial fluviatile Parucito - Manapiare inondable
Association de Savanes, galeries forestières et forêts des plaines d'érosion d'origine granitique ou gréseuse (Orénoque - Ventuari - Casiquiare) En majorité inondable	X Localisation approximative des végétations de Savanes apparentes sur les «Tepuyes» et les produits de désagrégation associés
Association de Savanes et de forêts de la pénéplaine d'érosion - altération (Cacuri - Parú - Bordure occidentale du massif de Parguaza, Sta Barbara, La Esmeralda, Parima, etc.) Peu ou non inondable	Forêt

Fig. 9. — Essai de zonification de cinq types de savanes reconnues dans le T.F. de l'Amazone, Venezuela

Utilisation actuelle : Élevage extensif.

0-25 cm. — Sableux ; rose (7,5YR5/4) ; particulaire ; fragile ; friable, sec ; non adhésif et non plastique, humide ; perméabilité très rapide ; très poreux ; racines fines fréquentes ; matière organique décelable ; activité biologique forte ; transition graduelle, plane.

25-35 cm. — Sableux ; rose foncé (7,5YR5/6) ; particulaire ; friable, sec ; non adhésif et non plastique, humide ; infiltration de matière organique ; racines fines très fréquentes ; perméabilité très rapide ; boulant ; transition graduelle, ondulée.

35-120 cm. — Sablo-argileux ; rose foncé (7,5YR5/8) ; particulaire ; friable, sec ; non adhésif et non plastique, humide ; perméabilité rapide ; peu de racines ; cohésion très fragile.

Caractéristiques physiques et chimiques

Ces sols montrent la prédominance de la fraction sableuse sur les autres fractions texturales (90 % de sables totaux de 0 à 10 cm et 78 % de 100 à 110 cm). Corrélativement la structure est particulaire ; même en profondeur, la cohésion est très faible et le matériau boulant reste très friable. La porosité et la perméabilité sont très fortes, surtout dans les horizons supérieurs. Le drainage interne est très rapide. La capacité de rétention en eau est très faible. Ces sols sont très fortement lixiviés. Ils sont chimiquement extrêmement pauvres, très acides à acides (le pH varie de 4,2 à 5,9). Ils présentent des déficiences minérales pour tous les éléments analysés, particulièrement Ca^{++}, Mg^{++}, Na^{+} et K^{+}. La capacité d'échange est très faible, représentée seulement dans l'horizon humifère (3 me/100 g de sol). Ces sols souffrent d'un régime d'humidité Ustic (fig. 8).

Conséquences

Le drainage interne trop rapide de ces sols, conjugué à une saison sèche très nette et centrée autour du mois de février, conduit à un déficit hydrique important durant en moyenne quatre mois. La végétation flétrit et brûle chaque année. Les îlots forestiers se maintiennent dans les secteurs de plus forte capacité de rétention en eau soit dans les galeries forestières, sur les dépôts alluvio-colluviaux des axes de drainage qui traversent ces glacis et où se développent essentiellement des Inceptisols et en particulier des Tropaquepts (*) ou sols hydromorphes minéraux (**), plus argileux, soit sur les altérations du granite *in situ* qui émerge par endroits sur le glacis ; ces îlots forestiers sont dénommés « matas » au Venezuela.

Ces savanes sont donc édaphiques et leur extension aux dépens de la forêt, conditionnée par les caractéristiques du milieu (climat et sols) se fait par l'action anthropique grâce aux feux répétés auxquels elles sont périodiquement soumises durant la saison sèche afin que le bétail puisse se nourrir des jeunes repousses.

Végétation

Les savanes arbustives et herbacées des glacis sableux sont étroitement associées aux savanes arborées de la pénéplaine d'érosion-altération qui se développent sur les collines du piémont qui dominent le paysage. Les espèces largement dominantes des savanes sableuses et qui constituent plus de 90 % de la végétation sont :

Espèces arborées : *Bowdichia virgilioïdes*, *Byrsonima crassifolia*. Espèces arbustives : *Xylopia frutescens*. Espèces herbacées : *Trachypogon vestitus ; Axonopus canescens*.

2.3.2. Les sols et la végétation des savanes des grandes plaines d'érosion sableuses, d'origine granitique ou gréseuse, de l'Orénoque, du Ventuari et du Casiquiare.

Ces savanes se localisent principalement sur la marge occidentale du Ventuari et sur la frange septentrionale de l'Orénoque, peu après sa confluence avec le Ventuari, ou sur la retombée méridionale du massif de Parguaza ; mais elles sont surtout représentées dans la pénéplaine du Casiquiare délimitée par le Casiquiare, l'Orénoque, l'Atabapo et le Guainia.

Le soubassement cristallin de la plaine d'érosion est constitué par des granites et des gneiss acides. Les produits d'altération et d'épandage sableux (quartz) de la décomposition des granites dominent largement. Ils sont localement recouverts par des produits d'épandage des grès. Cette plaine d'érosion est quasi plane. Dans certains secteurs isolés où émerge le socle, la topographie devient légèrement ondulée avec un modelé en demi-oranges constituant la pénéplaine d'érosion-altération surbaissée qui domine la plaine d'érosion. Les pointements du socle sont alors recouverts par la forêt dense. Ce paysage général est dominé par les plaques résiduelles de l'épaisse couverture sédimentaire gréseuse et quartzitique du Roraima constituant les « Tepuyes » ou hauts plateaux de la région.

La pénéplaine du Casiquiare est la zone de délimitation des deux plus grands bassins versants de l'Amazonie, puisqu'elle met en communication directe l'Orénoque avec l'Amazone. Le Casiquiare qui relie l'Orénoque au Rio Negro, affluent de l'Amazone, coule du NNE au SSO. Cette région montre par bien des aspects géomorphologiques et hydrologiques un caractère semi-endoréique et se présente comme une vaste zone de très faible pente générale, véritable réservoir d'accumulation des eaux de pluie. C'est aussi dans cette partie du Territoire Fédéral de l'Amazone que les précipitations sont les plus élevées puisqu'elles atteignent

3.694 mm à San Carlos de Rio Negro et 3.900 mm à Maroa.

Le survol montre de larges étendues sableuses planes, blanchies, traversées par les galeries forestières bordant les axes d'écoulement naturels le long desquels s'établissent les palmiers « Moriches » (*Mauritia* sp.). La forêt alterne régulièrement avec les savanes ; elle s'observe en bordure des axes fluviaux importants, sur les dépôts argilo-limono-sableux disposés plus ou moins parallèlement aux lits des grands fleuves ; bourrelets de berge du Ventuari, de l'Orénoque ; nappes de débordement et cuvettes du Casiquiare, etc. La présence de zones d'accumulation temporaire d'eau sous forme de lagunes ou de marécages est fréquemment observée. Dans les savanes, l'eau a souvent une couleur rouge brunâtre de café dilué, déjà remarquée par HUMBOLDT, 1819. Cette couleur est toujours associée à l'existence de sols extrêmement pauvres dans les zones de lessivage favorisé par une texture extrêmement sableuse du matériau, en particulier sur les matériaux engendrés par la désagrégation des grès et quartzites du Roraima. Le lessivage et la migration de certains éléments peuvent se produire sous l'influence des acides organiques libérés par la matière végétale fraîche, en fonction de l'alternance saisonnière ; KLINGE, 1968 ; BLANCANEAUX *et al*, 1973 ; TURENNE, 1977. Ce sont généralement des sols podzoliques qui peuvent être observés à proximité de ces courants « d'eau noire » ; la très faible concentration en cations de ces sols permet que la matière organique en voie de décomposition sous formes d'acides humiques, fulviques ou autres composés organiques, se dissolve dans les cours d'eau. Dans les sols plus riches en cations, les composés organiques polymérisent et se lient à la matière minérale ; ils ne sont pas ou sont beaucoup plus difficilement exportés des sols et transportés par les rivières. Dans ce cas, les eaux issues de ces sols ont une couleur claire ou « blanche ».

Toutefois, la très grande majorité des sols observés sur les grandes plaines d'érosion appartiennent à l'ordre des Entisols ; ce sont des Quartzipsamments qui prédominent, et parmi eux les Aquic Quartzipsamments (*) au niveau du sous groupe. Régulièrement associés à ces sols, on observe des Typic et des Histic Quartzipsamments (*), ces derniers étant localisés aux zones d'engorgement quasi permanent, et des Spodic Tropaquents (*) (Sols hydromorphes moyennement organiques à hydromor acide ou à horizon fibrique sur matériau d'érosion des roches du socle et sols minéraux bruts d'érosion régiques) (**).

Le profil PTY 190 est représentatif des sols sur lesquels se développent ces savanes.

Profil PTY 190.

Classification : Aquic Quartzipsamment (*).

Situation : 5 km à l'est de San Pedro ; entre l'Orénoque et le Sipapo.

Géomorphologie : Plaine d'érosion sableuse ; produits de désagrégation des roches granitiques du soubassement. Inondable.

Relief et drainage : Plat ; pente inférieure à 1 %. Drainage externe très lent ; interne, très lent à nul.

Érosion : Laminaire.

Végétation naturelle dominante : Savane à *Trachypogon, Byrsonima crassifolia ;* ouverte, avec de rares arbustes.

Utilisation actuelle : nulle.

0-20 cm. — Sableux ; gris (10YR6/1) ; particulaire simple ; friable ; non adhésif et non plastique, humide ; perméabilité assez rapide ; racines fréquentes, fines ; activité biologique forte ; limite très nette, rapide.

20-35 cm. — Sableux ; blanc (10YR8/1) ; taches grises (10YR7/1) fréquentes ; particulaire simple ; boulant ; friable ; non adhésif et non plastique ; perméabilité modérément lente ; rares racines ; activité biologique moyenne ; transition graduelle.

35-120 cm. — Sableux ; blanc (10YR8/1) ; particulaire ; non adhésif et non plastique ; humide ; sans racines ; nappe phréatique à 50 cm.

2.3.2.1. *Caractéristiques physiques et chimiques* (tabl. I)

Ces sols offrent une texture sableuse dans tout le profil et la fraction sableuse dominante est fonction du type de roche mère. C'est ainsi que, sur roches métamorphiques foliées riches en séricite rencontrées en association avec les granites au sud de Santa Barbara, c'est la fraction très fine des sables (0,05-0,1 mm) qui prédomine ; elle varie de 41,9 % à 58 %. Le pourcentage de sables totaux varie de 90,7 % à 82 % dans l'ensemble du profil. Quand le matériau sableux dérive des granites, c'est la fraction moyenne des sables (0,5-0,25 mm) qui domine ; 53,9 de 0 à 10 cm et 21,1 % de 110 à 120 cm.

Les quartz sont dans tous les cas très friables et se morcellent facilement, ce qui provoque un colmatage interne du profil, réduit la porosité et conduit à un drainage interne rapidement déficient. Ces sols sont régulièrement soumis à une hydromorphie temporaire de surface ou de moyenne profondeur. Ce phénomène de colmatage par morcellement répété des grains de quartz a également été observé en Guyane française sur les formations sableuses de la Série Détritique de Base ; ce matériau aurait pour origine les formations gréso-quartzitiques du massif de Roraima-Kayeteur situé au sud de la Guiana. De ce fait, les sables de la S.D.B. de Guyane ne pouvaient pas être utilisés en culture hydroponique, les circulations internes étant rapidement bloquées par tassement de tout le profil consécutif à ce colmatage interne (BLANCANEAUX *et al*, 1973).

TABLEAU I

Résultats analytiques des profils de sols

PROFIL Nº	PROFOND. cm	SABLE % 0,05-2mm	LIMON %	ARGILE %	C.O %	BASES ECHANGEABLES (me/100S) Ca	Mg	Na	K	C.E.C. NH4 AC (me/100g)	SATUR %	pH H2O 1/2	N TOTAL %	Phosphore Disponible OLSEN BRAY ppm	Al Echang (me/100g
PTY 102	0 - 10	90,55	4,27	5,18	0,45	0,10	0,10	0,02	0,05	3,0	10,1	4,7	0,01	6,0	0,44
Sol du glacis	20 - 30	89,39	3,10	7,51	0,34	0,10	0,10	0,01	0,03	2,4	9,0	4,7	0,00	3	0,38
Contact Llanos -	60 - 70	85,43	4,55	10,20	0,19	0,20	0,10	0,03	0,03	2,4	15,2	4,9			
Massif Guyanais	100 - 110	78,43	5,95	15,62	0,14	0,20	0,10	0 04	0,04	2,5	15,6	4,8			
Puerto Ayacucho															
PTY 190	0,-10	95,6	1,1	3,3	0,6	0,10	0,10	0,10	Trac	1,7	8	3,8	0,03	2,5	
Sol de la plaine	20 -30	93,6	4,4	2,0	0,04	0,10	Trac	0,10	Trac	0,7	50	4,2	0,01	1,9	
d'érosion Sableuse	70 - 80	92,3	5,7	2,0		0,10		Trac	Trac	0,3	33	4,6			
San Pedro	110 - 120	96,0	2,0	2,0		Trac		Trac	Trac	-	-	-			
C6	0 -8	42,2	45,2	12,6	1,97	1,1	0,1	0,1	0,1	3,6	11	4,7		5	Trac
	10-25	35,2	9,2	55,2	0,88	1,2	0,6	0,1	Trac	4,0	20	5,0		7	
Sol de la pénéplaine	30-45	22,9	16,0	61,1	0,35	1,1	0,5	Trac		3,3	21	5,5		4	
d'érosion -Altération	55 - 65	14,9	25,1	60,0	0,23	0,9	0,7			4,0	21	5,7		6	
Granite	100-110	10,3	34,7	55,0	0,10	1,4	0,1			4,5	20	5,7			
CACURI	150-165	9,2	38,3	52,5	0,04	0,8	0,6			4,0	18	5,6			
C7	0-8	59,8	5,6	34,6	1,26	1,0	0,9	Trac	0,2	2,0	26	5,2		8	0,1
Sol de la pénéplaine	10-25	51,7	6,7	41,6	0,74	0,7	0,4	0,1	Trac	3,8	13	4,9		6	
d'érosion Altération	40 60	41,0	7,8	51,2	0,55	1,0	0,5	0,2		2,5	27	5,0		6	
Roche Volcanique acide	100-120	34,0	6,8	59,2	0,19	0,8	0,8	0,5		3,3	38	6,9			
CACURI	150 165	32,3	7,7	60,0	0,16	0,9	0,3	Trac		3,0	23	6,1			

Ce sont des sols acides à très acides. Le pH moyen est régulièrement inférieur à 5 dans le cas des granites. La capacité d'échange cationique est extrêmement basse. Les bases échangeables sont quasi inexistantes et toujours inférieures à 0,5 me/100 g de sol. Le contenu en matière organique totale de l'ordre de 1 % est limité à une faible couche superficielle très fragile, d'épaisseur inférieure à 5 cm en moyenne. Le phosphore disponible (méthode Bray) est à l'état de traces. La carence en azote et en phosphore dans ce milieu extrêmement pauvre favorise l'établissement de plantes carnivores *(Drosera roraimae)*.

Conséquences

Au drainage externe déficient dû à la position relativement basse de cette unité physiographique s'ajoutent les précipitations les plus élevées enregistrées dans le sud du Venezuela. Cela conduit à un engorgement total temporaire de ces savanes, durant approximativement quatre mois par an. Mais les trois mois de déficit hydrique centrés autour de janvier suffisent sur des matériaux aussi déséquilibrés texturalement et dont la capacité de rétention en eau est insignifiante, à provoquer l'assèchement de la couverture graminéenne ou arbustive. Ces savanes, de surcroît, brûlent chaque année. Durant les mois de janvier, février et mars, le survol de toute cette région offre le spectacle d'un immense brûlis. La photographie satellite (fig. 3) du 12 avril 1975 traduit l'importance de ces feux de savane. Les conséquences de ces derniers sont évidentes dans les conditions particulières du milieu ; à défaut d'être emportées par les vents du NE qui soufflent à cette époque sur ces vastes étendues dénudées et surchauffées (la température au soleil mesurée au sol au mois d'avril 1977 dans ces savanes dépasse 60°), les cendres végétales déposées à la surface du sol par les brûlis sont rapidement enlevées lors des premières averses à caractère orageux au moment de la reprise des pluies. A ce phénomène d'appauvrissement en éléments fertilisants par exportation éolienne ou hydrique vient s'ajouter celui de l'engorgement, du battement phréatique et de la lixiviation intense de ces sols au cours de la saison pluvieuse. Ces savanes se présentent comme de véritables supports minéraux résiduels, riches en quartz et dépourvus de tout élément fertilisant. Elles sont édaphiques ; ce sont leurs conditions de drainage externe et de fonctionnement hydrique découlant de leurs caractéristiques texturales et structurales qui induisent leur pédogenèse dans le sens de l'appauvrissement, de la lixiviation et de leur stérilité. Leur extension aux dépens de la forêt se fait par les brûlis auxquels elles sont périodique-

ment soumises ; une grande partie de la forêt basse et broussailleuse qui circonscrit ces savanes, brûle en effet également chaque année.

Végétation

Les déterminations ont été faites par O. HUBER dans la région du bas Ventuari, près du Yapacana, et dans les environs de Santa Barbara ; les mêmes espèces ont également été reconnues le long de l'Atabapo, jusqu'à Maroa et Yavita. Parmi les espèces dominantes, on distingue :

Espèces arborées : *Terminalia yapacanae; Ramatuella* sp.; *Cyrilla racemiflora; Pentamerista neotropica; Euceraea nitida; Mauritia* sp.

Espèces arbustives : *Macrolobium savannarum; Lacmellea pygmaea; Digomphia ceratophora; Lasiadenia* sp. ; *Mabea linearifolia; Humiria* sp. ; *Sapotaceae.*

Espèces herbacées : *Schoenocephalium cucullatum; Abolboda* sp. ; *Eriocaulaceae* sp. ; *Xyris* sp. ; *Pitcairnia juncoides; Dulacia redmondii; Cyrtospermum wurdackii; Farringtonia fasciculata; Ouratea* sp. ; *Ochtocosmus* sp.

2.3.3. LES SOLS ET LA VÉGÉTATION DES SAVANES DE LA PÉNÉPLAINE D'ÉROSION-ALTÉRATION

D'origine granitique et gréseuse.

Ces formations sont relativement moins étendues que les deux précédentes. Elles ont été observées sur la frange de contact entre les glacis sableux de la région de Puerto Ayacucho et le massif granitique oriental. On les a également reconnues dans la région de Cacuri et du Paru, et dans certains secteurs isolés comme La Esmeralda sur le bord du Duida, dans quelques vallées d'effondrement comme Simarawoche (GAVAUD, 1970), au pied de grands escarpements situés au SE du Duida, etc. Dans la grande majorité des cas, ces savanes présentent les vestiges d'une activité anthropique. Toutefois, c'est également sur ces formations que sont observées les traces pédo-géomorphologiques les plus évidentes de la période sèche qui a sévi dans la région au cours de la dernière phase glaciaire du Würm, environ 10.000 ans av. J.-C. : cuirassement, remaniement ; mise en place de « stone-line » ; apparition d'inselbergs, etc. (BLANCANEAUX *et al.*, 1977).

Dans le Territoire Fédéral de l'Amazone, la pénéplaine d'érosion-altération se caractérise par une topographie faiblement ondulée, rabotée, disséquée par l'érosion. Les formes qui en résultent sont relativement molles et les croupes granitiques où affleure la roche saine sont fréquentes ; inselbergs, dômes, coupoles en dos de baleine. Le paysage général est celui de vastes savanes arbustives ou arborées ou prédomine le *Trachypogon* en association avec *Byrsonima crassifolia, Platycarpum orinocense* et *Bulbostylis paradoxa.* De nombreux secteurs présentent des affleurements de cuirasse remaniée, vestiges d'anciens glacis indurés actuellement démantelés et découpés par le jeu de l'érosion régressive ; cas des savanes de « El Oso » au NO de Cacuri. Les filons de quartz traversent fréquemment ces savanes en y déterminant un microrelief accidenté. La végétation dans ce cas se fait rare avec prédominance de « Chaparros » (*Byrsonima* spp.) aux troncs tortueux.

Les principaux sols observés sur ces formations appartiennent aux ordres des Oxisols et Ultisols (Petroplinthic Haplorthox (*), Ultic Haplorthox (*), et Oxic Plinthustults (*) ; dans la classification française, ce sont des sols ferrallitiques fortement désaturés remaniés, modaux ou hydromorphes et des sols ferrugineux tropicaux, lessivés, hydromorphes (**). Sur les cuirasses se développent des sols minéraux bruts d'érosion lithique (**) ou Lithic Troporthents (*).

Profil C 6.

Classification : Petroplinthic haplorthox.

Situation : 2,9 km de Cacuri.

Géomorphologie : Pénéplaine d'érosion-altération de granite, peu disséquée. Quelques affleurements isolés de granite.

Relief et drainage : Quasi-plat ; pente moyenne de 2 %. Drainage externe moyennement rapide ; interne moyen dans les horizons supérieurs, puis rapidement lent à très lent à moyenne profondeur.

Érosion : Éolienne très forte ; la fraction fine du sol est constamment enlevée, ce qui met à nu les concrétions ferrugineuses (2 cm), à cuticules lisses, polies et dures, qui reposent directement à la surface du sol sur une mince pellicule desséchée de matière organique brun rougeâtre foncé.

Utilisation actuelle : Élevage extensif. Brûlis annuel de la savane.

Végétation naturelle dominante : Savane arbustive à *Trachypogon* sp. et *Byrsonima crassifolia* traversée par des « Morichales » (*Mauritia* sp.).

—2/0 cm. — Concrétions ferrugineuses ; rouge foncé (10R3/2) ; jusqu'à 5 cm de diamètre ; cuticulées, dures, polies, lisses

0-0,2 cm. — Film de matière organique noircie, durcie, brun-rougeâtre foncé, imprégné de petits quartz et enrobant les concrétions ferrugineuses abondantes. Transition abrupte, plane.

0,2-8 cm. — Sablo-argileux ; brun-jaunâtre foncé (10YR4/6) ; taches plus ou moins dures, rouge foncé (10R3/4) ; polyédrique subanguleuse ; fragile ; peu adhésif et peu plastique, humide ; concrétions ferrugineuses fréquentes, variables; perméabilité modérément rapide ; racines, nombreuses, fines et moyennes ; zones préférentielles d'accumulation d'argile ; transition graduelle, ondulée.

8-26 cm. — Sablo-argileux ; brun-jaunâtre foncé (10YR6/6) ; taches rouge foncé (10R3/4) ; poléydrique subanguleuse ; peu adhésif et peu plastique, humide ; concrétions ferrugineuses

nombreuses ; peu de racines ; infiltration de matière organique ; transition graduelle, plane.

26-45 cm. — Argileux ; brun foncé (7,5YR5/6) ; taches de plinthite rouge foncé (10R3/4) plus ou moins dures ; polyédrique subanguleuse forte ; adhésif et plastique, humide ; perméabilité lente ; racines rares ; transition nette, rapide et ondulée.

45-66 cm. — Argileux ; brun foncé (7,5YR5/6) ; 40 % de taches rouge (2,5YR5/6) ; polyédrique subanguleuse très forte ; adhésif et plastique, humide ; racines, rares ; sec, très dur ; massif ; très compact ; très ferme ; perméabilité lente à très lente ; transition nette.

66-125 cm. — Argileux ; jaune-rougeâtre (7,5YR6/8) avec des taches rouge (2,5YR4/6), abondantes (50 %), nettes, grandes ; adhésif et plastique, humide ; polyédrique subanguleuse très forte ; perméabilité très lente ; pas de racines.

D'origine volcanique acide

Les savanes développées sur les roches volcaniques acides, rhyolites et rhyodacites principalement, ont été exclusivement observées sur le haut Ventuari dans la région du Paru, de la « meseta del Viejo » et ses environs immédiats et dans le secteur du Parucito, sur les retombées sud-occidentales du mont Coroba. Des formations de savanes épousant fidèlement les dykes et les sills volcaniques traversant les formations granitiques recouvertes par la forêt sont fréquemment rencontrées. Le paysage général est celui d'une pénéplaine ondulée ou les collines de roches volcaniques à l'aspect « pelé » dominent les savanes arbustives qui se développent sur les produits d'altération du matériau. La nature pétrographique du matériau semble jouer un rôle non négligeable dans l'établissement de la végétation en prédisposant le sol qui en dérive à un comportement original sous l'influence des alternances saisonnières. Elle paraît contribuer à des modifications dans le fonctionnement hydrique des sols et secondairement de la végétation qu'ils supportent.

Profil C 7.

Classification : Ultic Haplorthox (*).

Situation : 5 km de Cacuri.

Géomorphologie : Pénéplaine d'érosion-altération ; matériau d'origine volcanique acide. Colluvions au pied des collines « pelées » rhyolitiques.

Relief : Ondulé ; pente de 2 % approximativement. Microrelief accidenté ; termitières épigées (20-30 cm) très fréquentes. Drainage externe modérément rapide et interne modérément lent à lent.

Érosion : Éolienne forte.

Utilisation actuelle : Essai de plantations d'ananas ; très médiocre.

Végétation naturelle dominante : *Trachypogon* sp ; *Byrsonima crassifolia.*

0-8 cm. — Sablo-argilo-linomeux ; brun (7,5YR4/4) ; structure polyédrique subanguleuse, modérée et moyenne ; faiblement adhésif et plastique, humide ; racines fréquentes ; activité biologique très forte ; peu dur, sec ; ferme, humide ; perméabilité modérément rapide ; sans concrétions ferrugineuses ; transition nette, plane.

8-25 cm. — Sablo-argilo-limoneux ; brun rougeâtre (5YR4/4) ; structure polyédrique subanguleuse, modérée ; peu dur, sec ; ferme, humide ; adhésif et plastique, humide ; perméabilité modérément rapide ; activité biologique forte ; racines fréquentes ; pores d'activité biologique fréquents ; transition graduelle, plane.

25-85 cm. — Sablo-argileux à argileux ; rouge jaunâtre (5YR4/6) ; structure polyédrique subanguleuse forte ; dur et compact, sec ; très ferme, humide ; très adhésif, très plastique, humide ; perméabilité modérément lente à lente ; quelques concrétions ferrugineuses, moyennes (1 cm) ; racines, rares ; transition rapide, plane.

85-165 cm. — Argileux ; rouge (2,5YR4/6) ; plus de 50 % de concrétions ferrugineuses petites, lisses, dures, rouge foncé (2,5YR5/2) ; structure polyédrique subanguleuse, forte ; dur, sec ; très ferme, humide ; très adhésif, très plastique, humide ; massif et compact ; perméabilité très lente ; pas de racines à partir de 85 cm.

Caractéristiques physico-chimiques et conséquences

Ces sols ont une texture sablo-argileuse dans les horizons superficiels et passent à un matériau argileux avec la profondeur ; les teneurs en argile peuvent être élevées (74 %) et augmentent régulièrement avec la profondeur. La présence d'éléments nodulaires est souvent observée dans ces sols et ces éléments se localisent dans les horizons B compacts et massifs de moyenne profondeur (80 cm). On note une porosité beaucoup plus forte des horizons supérieurs favorisée par la présence de matière organique et l'activité biologique. La porosité et la perméabilité décroissent assez rapidement avec la profondeur. Dès 40 cm de profondeur en moyenne, les horizons deviennent compacts, durs et massifs ; la pénétration racinaire est gênée par cette compacité et par la présence de nodules ferrugineux. Chimiquement, ce sont des sols moyennement acides à acides (pH autour de 5) ; le pH augmente d'une unité en moyenne des horizons supérieurs vers la profondeur. Les taux de matière organique totale décroissent rapidement de la surface (4 % de 0 à 8 cm) vers la profondeur (0,5 % à 50 cm). Les bases échangeables sont en quantités insignifiantes ; Na^+ et K^+ apparaissent à l'état de traces. La capacité d'échange est faible à très faible et augmente avec la teneur en argile (8 me/100 g pour 74 % d'argile). Ce sont des sols très fortement lixiviés et leurs propriétés chimiques sont dans l'ensemble très médiocres.

Aux mauvaises qualités physico-chimiques de ces sols viennent s'ajouter des caractéristiques climatiques très défavorables. C'est moins le total des précipitations annuelles enregistrées à Cacuri (2280 mm) et à Puerto Ayacucho (2081 mm) que la répartition de ces dernières au cours de l'année

qui doit être considérée. Ces sols souffrent pendant plus de trois mois consécutifs d'un déficit hydrique très marqué. Durant la saison sèche, particulièrement durant les mois de janvier à mars, ces sols montrent une dessiccation extrêmement forte du du profil jusqu'à un mètre de profondeur au moins. Le point de flétrissement est dépassé ; la végétation herbacée et arbustive s'assèche et dépérit. C'est alors qu'intervient le brûlis. Le phénomène connu sous le nom «d'Ultra-dessiccation» (CHAUVEL, 1977 ; CHAUVEL, PEDRO, 1978) semble se produire avec une particulière agressivité dans les savanes développées sur les Oxisols et/ou les Ultisols de l'unité géomorpho-pédologique de pénéplaine d'érosion-altération du sud du Venezuela ; que le matériau soit d'origine granitique, gréseux ou volcanique acide. Ce phénomène se produit dans les zones tropicales à saisons contrastées et conduit à des contraintes physiques si intenses qu'elles provoquent une modification radicale des microstructures du sol ; d'autre part, dans ces sols déjà désaturés, l'ultra-dessiccation peut conduire à une acidité résiduelle très élevée qui résulte du fait que les films d'eau recouvrant les éléments du plasma deviennent de plus en plus minces au cours des périodes asséchantes. Ce sont les horizons compactés du sol qui font apparaître les valeurs les plus basses. Le mécanisme de l'ultra-dessiccation semble être la cause d'une évolution pédologique originale qui conduit finalement à la modification du fonctionnement hydrique (hydromorphie secondaire) par compaction du sol en raison de l'obstruction de l'espace poral. Ce phénomène a été mis en évidence dans les sols ferrugineux lessivés rouges de Casamance (Sénégal) par CHAUVEL, 1977 et dans l'Adamaoua (Cameroun) par HUMBEL, 1976. A ces transformations, nous devons ajouter la contribution directe de l'ultra-dessiccation à la constitution d'horizons nodulaires, et la formation de concrétions ferrugineuses prenant naissance dans les horizons compactés où se développe une hydromorphie secondaire saisonnière. L'action éolienne et hydrique a tendance par la suite à dégager les nodules ferrugineux de plus en plus durs et patinés à mesure que l'on monte dans le profil, et ces derniers apparaissent très fréquemment « posés » sur un film de matière organique de moins d'un centimètre d'épaisseur, à la surface du sol. Ces observations faites dans le sud du Venezuela rejoignent celles de très nombreux chercheurs dans différentes régions d'Afrique entre autres : EHRART, 1935 ; AUBERT, 1950 ; MAIGNIEN, 1954 ; LENEUF, 1959 ; DUCHAUFOUR, 1965 ; SEGALEN, 1969... Dans tous les cas, il nous fut donné de constater que les sols développés sous la couverture forestière des zones limitrophes des savanes semblaient posséder une porosité relativement meilleure des horizons de moyenne profondeur ; la tendance à la compaction des horizons B ne se manifeste pas aussi clairement. Le comportement hydrique des sols sous forêt est donc moins défavorable que celui de leurs voisins sous savane.

Végétation

— Savanes du type « Llanero » de la région de Puerto Ayacucho.

Les déterminations botaniques ont été faites le long de l'Orénoque entre « El Burro » et le Sipapo, (HUBER, O. 1978).

Espèces arborées dominantes. *Curatella americana*, *Bowdichia virgilioides*, *Byrsonima crassifolia*, *Platycarpum orinocense*.

Espèces arbustives dominantes : *Xylopia frutescens*, *Roupala montana*, *Jacaranda* sp.

Espèces herbacées dominantes : *Trachypogum plumosus*, *Trachypogon vestitus*, *Leptocoryphium lanatum*, *Andropogon leucostachyus*, *Paspalum carinatum*, *Axonopus pulcher*, *Rhynchospora barbarata*, *Bulbostylis div.* sp., *Leguminosae div.* sp.

— Savanes arborées des collines de la région de Manapiare.

Espèces arborées dominantes : *Caraipa llanorum* (plus de 90 % des espèces). *Platycarpum orinocense*, *Byrsonima crassifolia*.

Espèces arbustives dominantes : *Dioclea* sp., *Arrabidaea nigrescens* (ces deux premières espèces constituant plus de 90 % des espèces arbustives).

Espèces herbacées : *Paspalum contractum*, *Cyperaceae div.* sp., *Hyptis* sp., *Xyris* sp.

2.3.4. LES SOLS ET LA VÉGÉTATION DES SAVANES DÉVELOPPÉES SUR LE COMPLEXE ALLUVIAL PARUCITO-MANAPIARE

Ces savanes sont localisées sur les dépôts alluviaux du Manapiare et du Parucito ; orientées NNE-SSO, elles se distinguent nettement sur l'imagerie satellite (voir fig. 3). Elles se développent sur les unités physiographiques de plaines alluviales, de bourrelets de berge, de cuvettes ou de nappes de débordement. Selon HIDALGO *et al.*, 1977, les sols se répartissent dans l'ordre des Inceptisols (Typic et Histic Tropaquepts (*) ou Sols peu évolués d'origine non climatique d'apport alluvial, hydromorphe, à pseudogley sur matériau argilo-limoneux (**) et des Ultisols (Tropaquults et Paleaquults (*) ou Sols ferrugineux tropicaux lessivés hydromorphes (**). Ces savanes sont inondables, environ 3 à 8 mois pour les Tropaquepts et 2 à 4 mois pour les Paleaquults.

Nous présentons ici les caractéristiques générales d'un profil de Paleaquult développé sur les alluvions

argilo-limoneuses du Parucito. Il s'agit d'un sol inondé approximativement durant deux mois (août et septembre). La végétation est à base de grandes graminées (1,5 m de haut en décembre) associées à des palmiers et autres espèces arbustives. Elle est soumise au brûlis tous les ans.

0-15 cm. — Limoneux ; brun grisâtre très foncé (10YR3/2) ; structure polyédrique subanguleuse modérée et moyenne ; friable ; faiblement adhésif et peu plastique, humide ; racines fines ; activité biologique forte ; pores fréquents ; pédotubules ; fentes de 1 cm de large à la superficie ; transition graduelle, plane.

15-26 cm. — Argilo-limoneux ; brun jaunâtre (10YR5/4) ; taches jaune brunâtre (10YR6/8), fréquentes, moyennes ; peu dur ; friable ; adhésif et plastique, humide ; racines fines ; pores fréquents ; cutanes argileux ; transition graduelle, plane.

26-47 cm. — Argilo-limoneux ; brun pâle (10YR6/3) ; taches brun jaunâtre clair (10YR6/4) fréquentes, moyennes et nettes ; prismatique, forte et grande ; cutanes argileux ; fentes de 1 cm de large ; transition graduelle et plane.

47-62 cm. — Argilo-limoneux ; gris brunâtre clair (10YR6/2) ; taches brun jaunâtre (10YR5/6), fréquentes, moyennes et nettes ; prismatique forte, grande ; dur et ferme ; très adhésif et très plastique ; cutanes continus et épais ; fentes de 1 cm de large ; transition graduelle et plane.

62-115 cm. — Argileux ; brun pâle (10YR6/3) ; taches rouge (10R4/6) fréquentes, moyennes et nettes ; prismatique à tendance massive ; dur ; ferme ; très adhésif et très plastique ; fentes de 1 cm ; concrétions ferrugineuses (5 mm) fréquentes.

Caractéristiques physiques et chimiques

Dans l'horizon A, les teneurs en sables totaux varient de 38 à 55 % ; dans les autres horizons de 5 à 20 %. Les teneurs en limons sont élevées (10 à 45 % en A, 40 à 55 % en B et B/C). Les teneurs en argile varient de 15 à 30 % en A, 30 à 55 % en B et B/C. La matière organique totale varie de 4 à 12 % en A ; la moyenne pour ce type de sols est de 7 % ; entre 25 et 40 cm, les valeurs oscillent entre 2 et 4 %. Le pH varie de 4,5 à 5,5 dans les horizons supérieurs, diminue légèrement en B pour remonter en C. La capacité d'échange cationique varie de 16 me/100 g de sol en surface, à 10-15 me dans les horizons B et B/C. Dans les horizons supérieurs, la moyenne des bases échangeables varie de 0,7 à 1 me/100 g et de 0,7 à 2 me/100 g pour les horizons B et B/C. Le pourcentage de saturation en bases varie de 6,3 % (horizon A) à 13,3 % en profondeur. La composition minérale de ces argiles est : métahalloysite, montmorillonite, illite et quartz, gibbsite et gœthite.

Conséquences

Ces sols alluviaux de texture argilo-limoneuse fine ont une forte structure prismatique à moyenne profondeur. Ils présentent des fentes de retrait de l'ordre du centimètre depuis la surface jusqu'à un mètre de profondeur ; ce caractère est lié à la nature minéralogique du matériau, la montmorillonite étant l'argile la mieux représentée (20 à 30 %). La végétation de savane qu'ils supportent est brûlée tous les ans ; bien qu'inondées durant 2 à 8 mois pendant la saison des pluies, ces savanes aux sols de qualité chimique moyenne font l'objet d'une agriculture de subsistance, principalement à base de maïs dès que s'amorce la décrue des fleuves Parucito et Manapiare. Les conditions édaphiques actuelles qu'elles présentent, liées aux alternances saisonnières annuelles et à l'action anthropique (large excès d'eau en hivernage, déficit hydrique et brûlis durant la saison sèche) expliquent leur maintien et leur extension actuelle aux dépens de la forêt avoisinante. Les conditions de dessiccation très forte durant la saison sèche après la déforestation provoquent également dans ces sols des phénomènes de compaction des horizons de moyenne profondeur. Le fonctionnement hydrique est modifié et *l'orientation de l'évolution pédologique de ces sols vers les Planosols*, parfois à caractères solonetziques, semble déterminée par ces phénomènes.

Végétation

Les savanes et les « Morichales » inondables des zones planes du complexe alluvial Parucito-Manapiare diffèrent notablement des savanes de la pénéplaine d'érosion-altération (savanes arborées des collines), tant du point de vue de la physionomie que de la composition floristique. Les espèces reconnues ci-dessous l'ont été dans la région de San Juan de Manapiare (HUBER, O, 1978).

Espèces arborées dominantes : *Curatella americana ; Myrtaceae (Eugenia, Psidium) ; Coccoloba* sp., *Mauritia* sp. ; *Palmae div.* sp.

Espèces arbustives dominantes : *Helicteres* sp. ; *Ludwigia* sp. ; *Miconia ; Clidemia.*

Espèces herbacées dominantes : *Sorghastrum parviflorum ; Panicum junceum ; Otachyrium versicolor ; Cyperaceae ; Sterculiaceae div.* sp. ; *Turneraceae ; Rubiaceae*, etc.

2.3.5. Les sols et la végétaton de « savane » développés sur les hauts plateaux gréseux ou « Tepuyes » de la formation Roraima

Les hauts plateaux gréseux et quartzitiques de la formation du Roraima (antécambrien) dominent le paysage sud du Venezuela et se répartissent sous forme « d'îlots continentaux » isolés les uns des autres. Dans le Territoire Fédéral de l'Amazone, les principaux « Tepuyes » observés sont : le « cerro Sipapo », le « cerro Autana », le Yapacana, le « cerro

Moriche », le « cerro Morrocoy », le « cerro Yavi », le « cerro Yutaje », le « cerro Paru », le « cerro Duida », le Marahuaca, le « cerro Avispa » et le « cerro Neblina ». Les altitudes varient de 1640 m (Autana) à 2840 m (Neblina). A l'est du cerro Paru, dans l'état du Bolivar, se présentent les trois plaques les mieux étudiées jusqu'ici tant du point de vue de la géomorphologie que de celui de la flore ; ce sont les « mesetas de Jaua, Guanacoco et Sarisariñama » (CARDONA *et al.*, 1973).

Sur tous ces hauts plateaux se développent des ouvertures de « savanes » sur les produits de la désagrégation des grès, quartzites et conglomérats ; les sols observés sont principalement des Entisols et appartiennent dans la majorité au sous ordre des Psamments (*) (groupe des quartzipsamments) ou Sols minéraux bruts d'origine non climatique, régique sur grès (**). Sur les affleurements de roches profondément entaillés par un réseau de diaclases plus ou moins serré, faisant penser aux lapiez des karst calcaires, s'installe une maigre végétation rase, herbacée et arbustive. Les sols qui y sont associés sont des Sols minéraux bruts lithiques (**) ; ils appartiennent au sous-ordre des Orthents, au sous-groupe des Lithic Troporthents (*). Nous résumons ici les caractéristiques morphologiques des sols développés sur les affleurements de grès, de conglomérats ou d'éboulis des « Tepuyes ». Lithic Troporthents (*), ou Sols minéraux bruts d'érosion lithique sur grès (**).

Le profil se réduit à :

— Un horizon A plus ou moins discernable, très peu humifère.

— Un horizon A/C à sable quartzeux, blanc.

— La roche-mère gréseuse sous-jacente apparaissant vers 30 cm de profondeur.

Caractéristiques morphologiques, physico-chimiques et conséquences

Ces sols, du fait de la proximité d'une roche compacte à faible profondeur sont complètement imperméables et se couvrent après chaque pluie d'une mince pellicule d'eau circulante. Couverts d'une végétation rase, l'eau mobilisée par les fortes pentes du milieu entraîne immédiatement les fractions organiques déposées à la surface d'un sol extrêmement pauvre. Le lessivage et l'appauvrissement de ce matériau de départ grossier et quartzeux, très fortement désaturée, se poursuit durant la saison des pluies. En saison sèche, il y a assèchement complet de la mince couverture quartzeuse (30 cm) d'altération de la roche. La végétation peut également brûler durant les périodes sèches à cause de la foudre ; ce fut le cas du « cerro Moriche » et du « cerro Morrocoy » en mars 1978.

En conséquence, les formations végétales de savanes, rases, arbustives et herbacées observées sur les produits d'altération quartzeux des grès, quartzites et conglomérats des « Tepuyes » sont édaphiques. Elles sont conditionnées, comme dans le cas de la plaine d'érosion, en plus de leur très grande pauvreté chimique, par les conditions de drainage et du bilan hydrique au cours des alternances climatiques saisonnières.

Sur les affleurements gréseux, conglomératiques et quartzitiques, les formations végétales de savanes arbustives et basses sont liées aux caractéristiques hydriques extrêmement défavorables des sols (Orthents) qui s'y développent ; elles sont également édaphiques. La forêt se concentre remarquablement le long de certaines cassures ou de larges diaclases jouant le rôle de pièges naturels pour les sédiments issus de la désagrégation des roches ou de la décomposition des végétaux, favorisant une capacité de rétention en eau relativement moins mauvaise ; on a pu observer des Ultisols très localisés. Ces forêts s'individualisent aussi le long de certains affleurements ou d'intrusions fréquemment granitiques qui imprègnent parfois les formations sédimentaires gréseuses (cas du « cerro Paru »).

Végétation

Sur la « meseta » de Jaua, les secteurs de « savanes apparentes » où furent déterminées les espèces (STEYERMARK, 1973) montrent que chaque site a une composition floristique différente. Relativement peu d'espèces sont communes aux différents lieux d'observations ; toutefois, parmi les espèces les plus communes on peut citer :

Espèces arbustives : *Psycholria phelpsiana; Raveniopsis capitata; Oydeae blakeana.*

Espèces herbacées : *Brocchinia hectioides* (dominante et donnant une couleur vert jaunâtre au paysage) ; *Selaginella vernicosa; Hemitelia platylepsis; Everardia* sp.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. **Les fluctuations climatiques du quaternaire**

Il est aujourd'hui admis, comme l'ont signalé divers auteurs (ZONNEVELD, 1968 ; MOUSINHO et DA SILVA, 1969 ; TRICART, 1974 ; JOURNAUX, 1975 ; FERNANDEZ *et al.*, 1977 ; BLANCANEAUX *et al.*, 1977) que le climat fut beaucoup plus sec dans tout le sud du Venezuela et dans d'autres régions d'Amérique latine, quelque 10.000 ans av. J.-C. Le retour à une période plus humide se serait amorcé 8.000 ans environ av. J.-C. Certains auteurs (EDEN, 1974) ont attribué l'origine de ces savanes aux conditions d'aridité qui régnaient à cette époque.

S'il paraît vraisemblable de supposer qu'une telle période de sécheresse ait pu contribuer à favoriser l'établissement de formations végétales de savanes, il paraissait surprenant que le retour aux conditions d'humidité plus fortes n'ait pas permis à la forêt de reprendre ses droits en plus de 10.000 ans, et il nous est difficile de concevoir que ces savanes puissent être considérées exclusivement comme des *reliques* de zones beaucoup plus étendues durant cette période sèche.

3.2. Les variations saisonnières actuelles et leurs conséquences

Pour les différents types de savanes répartis selon les unités pédo-géomorphologiques présentées dans cette étude, nous avons mis l'accent sur l'importance du contraste saisonnier au cours de l'année et sur les conséquences qui en découlent principalement sur le fonctionnement hydrique des sols. Deux cas majeurs sont à considérer dans le sud du Venezuela, suivant la nature granulométrique du matériau considéré :

3.2.1. Cas des savanes développées sur un matériau fortement sableux (quartz) d'origine granitique ou gréseuse

Les savanes de ce type se développent sur les sols des unités de glacis sableux, de plaine d'érosion et des produits d'altération des « Tepuyes ». Les sols appartiennent essentiellement à l'ordre des Entisols (Psamments). Ils se caractérisent, en fonction de l'alternance saisonnière par un large excès d'eau en hivernage et un déficit hydrique très marqué durant la saison sèche, conséquence de la très faible capacité de rétention en eau. La pédogenèse joue dans le sens de l'appauvrissement, du lessivage et de la lixiviation intense de ces sols. Dans certains cas apparaissent des intergrades podzoliques. Dans le cas de la plaine d'érosion, les conditions de drainage externe très médiocres, la mauvaise perméabilité et la diminution de porosité interne des profils due au morcellement répété des quartz, conduisent soit à une inondation temporaire de surface, soit à une hydromorphie secondaire temporaire de moyenne profondeur. Dans les deux cas, durant la saison sèche, le point de flétrissement des végétaux (pF 4,2) est dépassé ; ces savanes sont alors soumises au brûlis.

3.2.2. Cas des savanes développées sur les matériaux argilo-sableux, argileux ou argileux-limoneux

Les savanes de ce type se développent soit sur les sols des unités de pénéplaine d'érosion-altération, soit sur le complexe alluvial Parucito-Manapiare. Dans les deux cas, les conséquences de l'alternance saisonnière sont particulièrement nettes sur les sols. Après la déforestation du milieu, la pédogenèse va jouer dans le sens d'une modification très importante du fonctionnement hydrique des sols. Dans le cas des savanes non inondables (Cacuri, Parucito...), les sols subissent une dessiccation extrêmement poussée des horizons subsuperficiels au cours de la saison sèche. Le point de flétrissement est dépassé ; la formation d'horizons compacts, massifs et quasi imperméables se développe par dégradation de la microstructure du sol. La formation et la mise en affleurements de nodules ferrugineux indurés, voire de blocs de carapace, est à relier à ce phénomène de compaction interne du profil et corrélativement à la diminution de sa perméabilité et de sa porosité. L'existence d'une hydromorphie secondaire de moyenne profondeur se généralise et elle a été observée dans tous les profils de sols examinés dans ces conditions.

Une fois la forêt détruite, les processus d'évolution pédologique vont s'autocatalyser. L'équilibre Sol-Eau-Végétation établi à l'abri de cette forêt et grâce à elle est rompu ; son rôle protecteur contre l'extrême dessication des horizons superficiels disparaît. Le fonctionnement hydrique du sol se modifie peu à peu. Il n'est pas exagéré de dire qu'à partir de cet instant le sol va s'autodétruire et que les formations végétales qu'il supporte, de ce point de vue, doivent être considérées comme une phase transitoire d'adaptation et de survie. Le brûlis auquel ces savanes sont soumises chaque année donne lieu à une érosion éolienne et hydrique très forte ; les particules fines ainsi que les cendres végétales déposées à la surface du sol sont plus ou moins rapidement entraînées. Les sols apparaissent souvent jonchés de concrétions ferrugineuses patinées reposant sur des horizons durcis, extrêmement compacts et massifs ; ce sont les fameuses savanes à « ripio » du sud du Venezuela.

Dans le cas des savanes développées sur le complexe alluvial du Parucito-Manapiare la nature minéralogique conduit à une structure différente du sol bien que le processus pédologique qui la conditionne soit le même. Dans les cas de moindre inondation, selon la position topographique, là où les formations de savanes se sont établies au fur et à mesure du défrichement et des feux, on assiste également durant la saison sèche au flétrissement de la végétation. L'existence de montmorillonite implique la présence de fentes de retrait jusqu'à plus d'un mètre de profondeur. Le brûlis répété, les conditions de très forte dessiccation durant la saison sèche conduisent à la compaction des horizons B. Certains de ces sols présentent des caractères de Solonetz.

Dans les conditions d'alternance des saisons fortement contrastées existantes, l'orientation pédologique de ces sols vers les Planosols semble déterminée par la déforestation.

4. CONCLUSIONS

Les observations faites sur les différentes savanes du sud du Venezuela ont toutes clairement indiqué le rôle prépondérant de l'homme dans l'évolution des sols qui les supportent et, consécutivement, les conditionnent. Les modifications dans le fonctionnement hydrique après la défriche et sous l'influence du contraste saisonnier qui règne actuellement dans cette région, provoquent l'irréversibilité du phénomène qui semble s'autocatalyser au fur et à mesure qu'il évolue. Le retour naturel à la forêt dans la plupart des cas est fortement compromis, voire exclu. Les savanes couvrent approximativement 20.000 km², soit 12 % de la superficie totale (180.000 km²) du Territoire Fédéral de l'Amazone. En comparaison avec la forêt, qui avec les cours d'eau, occupe pratiquement le pourcentage restant, le chiffre peut paraître peu significatif. Toutefois, il faut considérer deux aspects très importants : le premier est que l'homme non indigène, l'immigrant des régions voisines qui vient dans le sud, a tendance à s'établir dans les zones ouvertes de savanes parce que cela lui est plus économique ; la pression démographique dans les zones de savanes se fait chaque jour plus forte ; en second lieu, l'homme essaye d'introduire le bétail et les premières études réalisées dans les savanes du sud (BULLA, 1978), montrent que la production de matière végétale sèche par hectare et par an dans les conditions naturelles est extrêmement basse ; elle varie de 1,5 à 2,5 tonnes/ha/an ; à titre de comparaison, dans les savanes de l'Apure (Llanos), ces valeurs varient dans les mêmes conditions d'exploitation naturelles de 4 à 8 tonnes/ha/an, selon qu'il s'agit de savanes situées sur les levées, les bas-fonds ou les estuaires.

Ces raisons devraient inciter à ce que toutes les opérations de défrichement ou de mise en culture de certains de ces sols, qui risquent de favoriser la dessiccation extrême des horizons subsuperficiels et de déclencher la déstabilisation de la structure interne de ces derniers et consécutivement d'entraîner une modification de leur fonctionnement hydrique, soient très soigneusement contrôlées.

Dans les conditions climatiques actuelles du sud du Venezuela, le sol et la forêt sont en équilibre instable dans le milieu. Ils ne résistent pas à l'action destructrice de l'homme. Ce dernier est à l'origine de leur « évolution régressive » et détruit l'équilibre Sol-Eau-Forêt en faveur de la savane.

Manuscrit reçu au Service des Éditions de l'O.R.S.T.O.M. le 15 février 1982.

BIBLIOGRAPHIE

AUBERT (G.), 1950. — Observations sur la désagrégation des sols et la formation de la cuirasse latéritique dans le nord-ouest du Dahomey (IVe Congr. Intern. Sc. du Sol. Amsterdam, III, p. 127-128).

AUBERT (G.), 1965. — Classification des sols. Tableaux des classes, sous-classes, groupes et sous-groupes des sols utilisés par la section de pédologie de l'O.R.S.T.O.M. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, vol. III, n° 3 : 269-288.

BEARD (J. S.), 1953. — The savanna vegetation of northern tropical America. *Ecol. Monogr.* 23, 149-215.

BIGARELLA (J. J.), MOUSINHO (M. R.), DA SILVA (J. X.), 1969. — Processes and environments of the Brasilian quaternary. The periglacial environment. Ed. by T. L. Pewe, pp. 417-487. Mc Gill-Quecn's University Press, Montreal.

BLANCANEAUX (Ph.), THIAIS (J.-L.), LAPLANCHE (G.), ROSTAN (J.-J.), BERGRAVE (St. J.), 1973. — Podzols et sols ferrallitiques dans le nord-ouest de la Guyane française. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, vol. XI, n° 2 : 121-153.

BLANCANEAUX (Ph.), POUYLLAU (M.), 1977. — Formes d'altération pseudokarstiques en relation avec la géomorphologie des granites précambriens du type Parakivi dans le Territoire Fédéral de l'Amazone, Venezuela. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, vol. XV, n° 2 : 131-142.

BLANCANEAUX (Ph.), POUYLLAU (M.), 1977. — Les relations géomorpho-pédologiques de la retombée nord-occidentale du massif guyanais (Venezuela). 1re partie : Les concepts et les définitions. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, vol. XV, n° 4 : 95-106.

BLANCANEAUX (Ph.), POUYLLAU (M.), SEGALEN (P.), 1978. — Les relations géomorpho-pédologiques de la retombée nord-occidentale du massif guyanais (Venezuela). 2e partie : Les unités géomorpho-pédologiques. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, vol. XVI, n° 3 : 293-315.

BLANCANEAUX (Ph.), ARAUJO (J.), HERNANDEZ (S.), 1977. — Estudio edafológico preliminar al 1/100.000 del sector Puerto Ayacucho, Territorio Federal Amazonas, Venezuela. MARNR. DGIIA. Div. de suelos. Caracas, Venezuela, 120 p.

BLANCANEAUX (Ph.), ARAUJO (J.), POUYLLAU (M.,) BLANCO (B.), 1978. — Estudio edafológico preliminar al 1/125.000 del sector Asita-Cacuri-Paru (Alto Ventuari), Territorio Federal Amazonas, Venezuela. MARNR.DGIIA. Div. de suelos. Caracas, Venezuela. Sous presse.

BULLA (L.), 1978. — Todavia son sabanas con valores sumamente bajos. in. Ambiente., n° 11, abril-mayo, 1978. MARNR. Caracas, Venezuela.

CARDONA (P. F.), STEYERMARK (J.), DUNSTERVILLE (G. C. K.), WURDARK (A.), BREWER-CARIAS (C.), 1973. — Mesetas de Jaua, Guanacoco y Sarisariñama. *Soc. Venez. de Sc. Nat. Supl. bol.*, n° 127, tomo XXX, Caracas, Venezuela.

CHAUVEL (A.), 1976. — Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées. Évolution et réorganisation des sols rouges en moyenne casamance. Thèse Sci. Strasbourg CNRS A.O. 12803, 495 p.

CHAUVEL (A.), PEDRO (G.), 1978. — Sur l'importance de l'extrême dessiccation des sols (ultra-dessiccation) dans l'évolution pédologique des zones tropicales à saisons contrastées. C.R. Acad. Sc. Paris, t. 286, sér. D, 1581-1584.

COLE (M. M.), 1960. — Cerrado, caatinga and platanal. The distribution and origin of the savanna vegetation of Brasil. *Géogr. J.* 126, 168-179.

DONSELAAR (J. V.), 1965. — The vegetation of Suriname. Vol. IV. An ecological and phyto-geographic study of northern Surinam savannas (Ed. by Lanjouw and P. J. D. Versteegh). Van Eedenfonds, Amsterdam.

DUBROEUCQ (D.), HERMOSO (F.), 1978. — Estudio de suelos preliminar al 1/125.000 de Santa Barbara, Territorio Federal Amazonas, Venezuela. MARNR.DGIIA. Div. de suelos. Caracas, Venezuela.

DUCHAUFOUR (Ph.), 1965. — Précis de Pédologie. Masson & Cie, Éditeurs. Paris.

DUCKE (A.), BLACK (G. A.), 1953. — Phytogeological note of the Brazilian Amazon. *Anais Acad. Bras. Cienc.* 25 : 1-46.

EDEN (M. J.), 1974. — Paleoclimatic influences and the development of savannas in southern Venezuela. *Journal of Biogeogr.*, I, 95-109.

ERHART (H.), 1935. — Traité de pédologie. I. Inst. Pédologique, Strasbourg.

FERNANDEZ (O.), HIDALGO (R.), SIEFFERMAN (G.), 1977. — Presencia de halloysita y de montmorillonita en suelos de la zona tropical humeda cercana de San Juan de Manapiare, Territorio Federal Amazonas, Venezuela. IV. congr. Venezol. Cienc. del suelo. Maturin, Venezuela.

HIDALGO (R.), FERNANDEZ (O.), SIEFFERMAN (G.), 1977. — Estudio de suelos preliminar sector San Juan de Manapiare, Territorio Federal Amazonas, Venezuela. MARNR.DGIIA. Div. de suelos. Caracas, Venezuela.

HITCKOCK (C. B.), 1948. — La region Orinoco-Ventuari. Venezuela. *Bol. Soc. Venezol. Cs. Nat.* 72 : 131-171.

HUMBEL (F. X.), 1976. — L'espace poral des sols ferrallitiques au Cameroun. Caractéristiques et comportement en relation avec les régimes hydriques et les bioclimats. *Trav. et Doc. de l'O.R.S.T.O.M.*, n° 54, 306 p. Paris.

HUMBOLDT (A. de), 1819. — Voyage aux régions équinoxiales du nouveau continent fait en 1799-1804 par A. de HUMBOLDT et A. BONPLAND. Maze, Paris.

JOURNAUX (A.), 1975. — Recherches géomorphologiques en Amazonie Brésilienne. CNRS. Centre de géomorph. de caen., *bul. sem.*, n° 20.

KLINGE (H. K.), 1968. — Report on tropical podzols. F.A.O., Rome, IV, 88 p.

LENEUF (N.), AUBERT (G.), 1956. — Sur l'origine des savanes de la basse Côte d'Ivoire. Extr. C. R. Ac. Sc., t. 243, p. 859-860.

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. O.R.S.T.O.M., 210 p. Paris.

MAIGNIEN (R.), 1954. — Les sols subarides en A.O.F. C.R. du Ve Congr. intern. Sc. du sol, Léopoldville, IV, p. 23-27.

MAIGNIEN (R.), 1958. — Contribution à l'étude du cuirassement des sols en Guinée française. Thèse Sci. Strasbourg, 311 p.

SAUER (C. D.), 1958. — Man in the ecology of Tropical America. Proc. 9th Pacific Sci. congr. Bangkok, 20 : 104-110.

SEGALEN (P.), 1969. — Le remaniement des sols et la mise en place de la « stone-line » en Afrique. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, vol. VII, n° 1 : 113-127.

TRICART (J.), 1974. — Existence de périodes sèches au quaternaire en Amazonie et dans les régions voisines. *Rev., Géom. Dynam.* XXIIIe année, n° 4 : 145-158.

TURENNE (J.-F.), 1977. — Modes d'humidification et différenciation podzolique dans deux toposéquences guyanaises. *Mém. O.R.S.T.O.M.*, n° 84. Paris.

USDA, Soil Taxonomy, 1974, Washington D.C.

ZONNEVELD (J. L. S.), 1968. — Quaternary climatic changes in the carribean and south America. *Elzeitalter Gegenw.* 10 : 203-208.