

Formes d'altération pseudokarstiques en relation avec la géomorphologie des granites précambriens du type Rapakivi dans le territoire fédéral de l'Amazone, Vénézuéla

Philippe BLANCANEAU*, Michel POUYLLAU**

* Pédologue ORSTOM, Expert auprès du MOP-DGRH-Venezuela

** Géomorphologue. Centre d'études de géographie tropicale du CNRS.
Expert auprès du MOP-DGRH-Venezuela

RÉSUMÉ

Dans la région de Puerto Ayacucho-San Pedro, territoire fédéral de l'Amazone du Vénézuéla, affleure un granite précambrien du type « Rapakivi » qui, sur ses bordures, évolue géomorphologiquement pour former des inselbergs. Les formes qui en résultent sont diverses : inselbergs, coupoles domiques, etc. La plupart de ces massifs de roche dénudée montrent des phénomènes d'érosion très particuliers, pseudo-karstiques, dont les plus fréquents rappellent les lapiaz des karsts calcaires, caractérisés par de profonds canaux disposés en forme plus ou moins radiale. On observe également de nombreuses crevasses et des formes en « baignoires ». Une hypothèse est proposée sur le mode de formation de ces différents phénomènes dont les principaux facteurs sont : l'action physique, la corrosion, l'altération chimique, l'exfoliation, l'action biologique et biochimique.

RESUMEN

En la region de Puerto Ayacucho-San Pedro, territorio federal Amazonas, Venezuela, aflora un granito precambriaco de tipo « Rapakivi » que en sus bordes evoluciona geomorfologicamente para formar inselbergs. Las formas resultantes son variables : insel-

bergs, cupulas domicas, etc. La mayoría de esos macizos de roca desnuda muestran fenomenos de erosion muy particulares, pseudocarsicas, que frecuentemente se parecen a lapiaz de rocas calizas, caracterizados por profundos canales en forma mas o menos radial. Se observa igualmente cuevas y formas en « tina ». Se propone una hipotesis sobre la formacion de estos fenomenos cuyos principales factores son : la accion fisica, la corrosion, la alteracion quimica, la exfoliacion, la accion biologica y bioquimica.

ABSTRACT

In the Puerto Ayacucho-San Pedro area, federal territory Amazonas, Venezuela, crops out a Precambrian « Rapakivi » granite which on its borders develops geomorphologically inselbergs. The resulting forms are variables: inselbergs, rounded granitic blocks, etc. The larger part of such massifs of bare granite, presents karren-like pseudokarst features, which frequently look like the lapiaz developed on calcareous rocks, characterized by deep channels more or less radially distributed. Cave, « bath tub » forms are generally observed. An hypothesis is proposed about these different formations which main factors are: Physical action, corrosion, chemical weathering, exfoliation, biological and biochemical action.

SOMMAIRE

INTRODUCTION

1. LE MILIEU NATUREL

- 1.1. Secteur d'étude
- 1.2. Climat
- 1.3. Végétation
- 1.4. Morphologie
- 1.5. Géologie

2. LES FORMES PSEUDOKARSTIQUES

- 2.1. Définitions classiques des concepts de karst et de pseudo-karst
- 2.2. Description des principales formes d'érosion
 - canaux d'érosion (cannelures)
 - formes en baignoires
 - crevasses et cavernes.

3. MODE DE FORMATION DES FORMES PSEUDOKARSTIQUES

- 3.1. Altération physique
 - corrosion et désintégration thermoclastique
- 3.2. Altération chimique
 - décomposition des minéraux
 - dissolution
- 3.3. Altération physico-chimique
 - exfoliation
- 3.4. Altération biologique et biochimique.

4. CONCLUSIONS

INTRODUCTION

Le travail présenté ici résulte d'un ensemble d'observations faites lors de l'étude géomorpho-pédologique en cours de réalisation dans le cadre d'une série d'accords entre le MOP (Ministerio de obras publicas du Venezuela), le Ministère des Affaires étrangères de France et l'ORSTOM. Ces accords ont pour but de dresser l'inventaire des ressources en sols d'une région dont on ne dispose actuellement que de peu de données à l'exception de mosaïques RADAR au 1/250 000.

1. LE MILIEU NATUREL

1.1. Secteur d'étude

La zone où ont été observées les formes d'altération étudiées couvre une superficie de 3 800 km²

environ, sur une bande d'une dizaine de kilomètres de large le long de l'Orénoque, entre les parallèles 4°30' et 6°30' de latitude nord, autour de Puerto Ayacucho dans le Territoire fédéral Amazonas (voir fig. 1). Les premières reconnaissances ont été faites

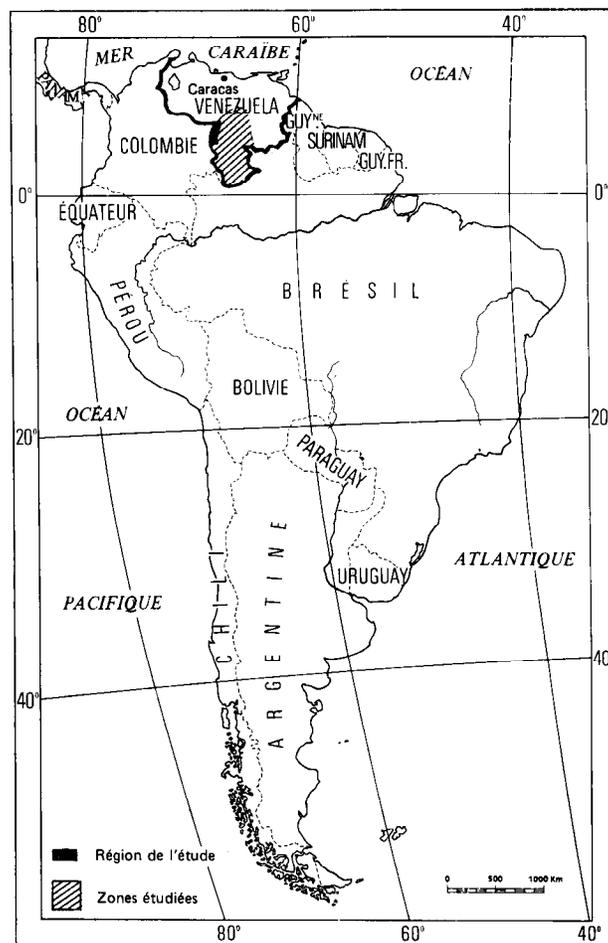


FIG. 1. — Carte de situation générale.

durant le levé géologique des environs de Puerto Ayacucho par F. Urbani et E. Szczerban (1975). Nos principaux lieux d'observations des formes pseudokarstiques ont été reportés sur la figure 2.

1.2. Climat

Pour Thornthwaite, cette région possède un climat chaud, légèrement humide avec un grand excès d'eau en saison des pluies et isothermique.

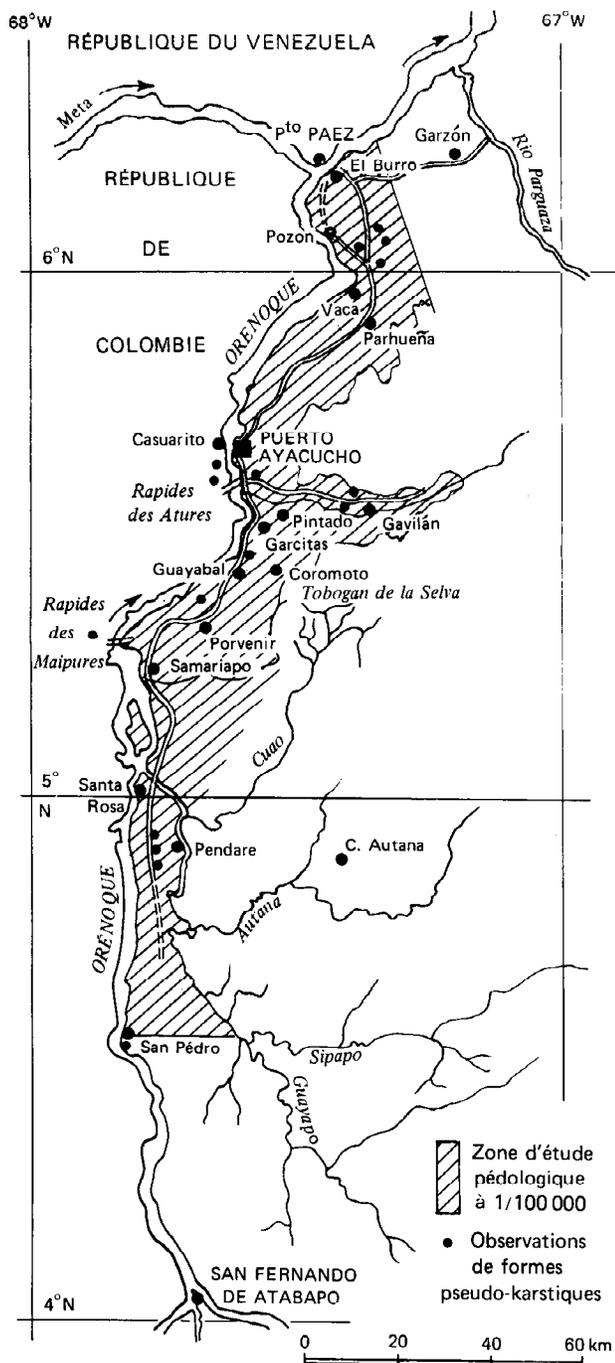


FIG. 2. — Localisation des sites où ont été observés les principales formes pseudokarstiques.

Suivant la classification de Koeppen, le climat actuel de la région est caractérisé de type tropical, avec une température du mois le moins chaud supérieure à 18 °C.

En se reportant à la carte des isohyètes moyennes annuelles pour la période 1958-1974 (fig. 3), on observe une augmentation progressive des précipitations du nord au sud, de 2 100 mm à 3 500 mm. La région étudiée est donc actuellement de transition entre une zone relativement plus sèche au nord (llanos), et au sud une zone au climat très pluvieux sans saison sèche marquée (sud du Ventuari et haut Orénoque).

Dans la région étudiée, deux variétés de ce climat ont été distinguées : Am : zone caractérisée par une courte saison sèche (au sud) ; Aw : zone à saison sèche très marquée durant les mois de décembre à mars.

L'élément le plus constant du climat est la température. Pour la période 1971-1975, la moyenne des températures maxima et minima a été pour Puerto Ayacucho, respectivement de 32°6 et 23°2.

L'évaporation moyenne annuelle a été de 2 742,3 mm pour Puerto Ayacucho.

1.3. Végétation

Trois grands types de formations végétales peuvent être distingués :

- galeries forestières arborées le long des grands axes fluviaux (Orénoque, Samariapo, Cataniapo, etc.) ;
- savanes arbustives à trachypogon SPP (*Saetas*), *byrsonima crassifolia* et *byrsonima verbascifolia* (Mantecos, chaparros) sur le glaciais résiduel colluvio-alluvial ;
- forêt dense, humide, sempervirente, macrothermique sur le socle granitique.

Du nord au sud, on assiste peu à peu au remplacement des savanes jadis plus étendues (Blancaneaux *et al.*, 1976) par la forêt actuellement envahissante.

Les formes pseudokarstiques ont été observées aussi bien sous savanes que sous forêt.

1.4. Morphologie

Physiographiquement la zone étudiée forme une transition entre à l'est le « Massif Guyanais » dont

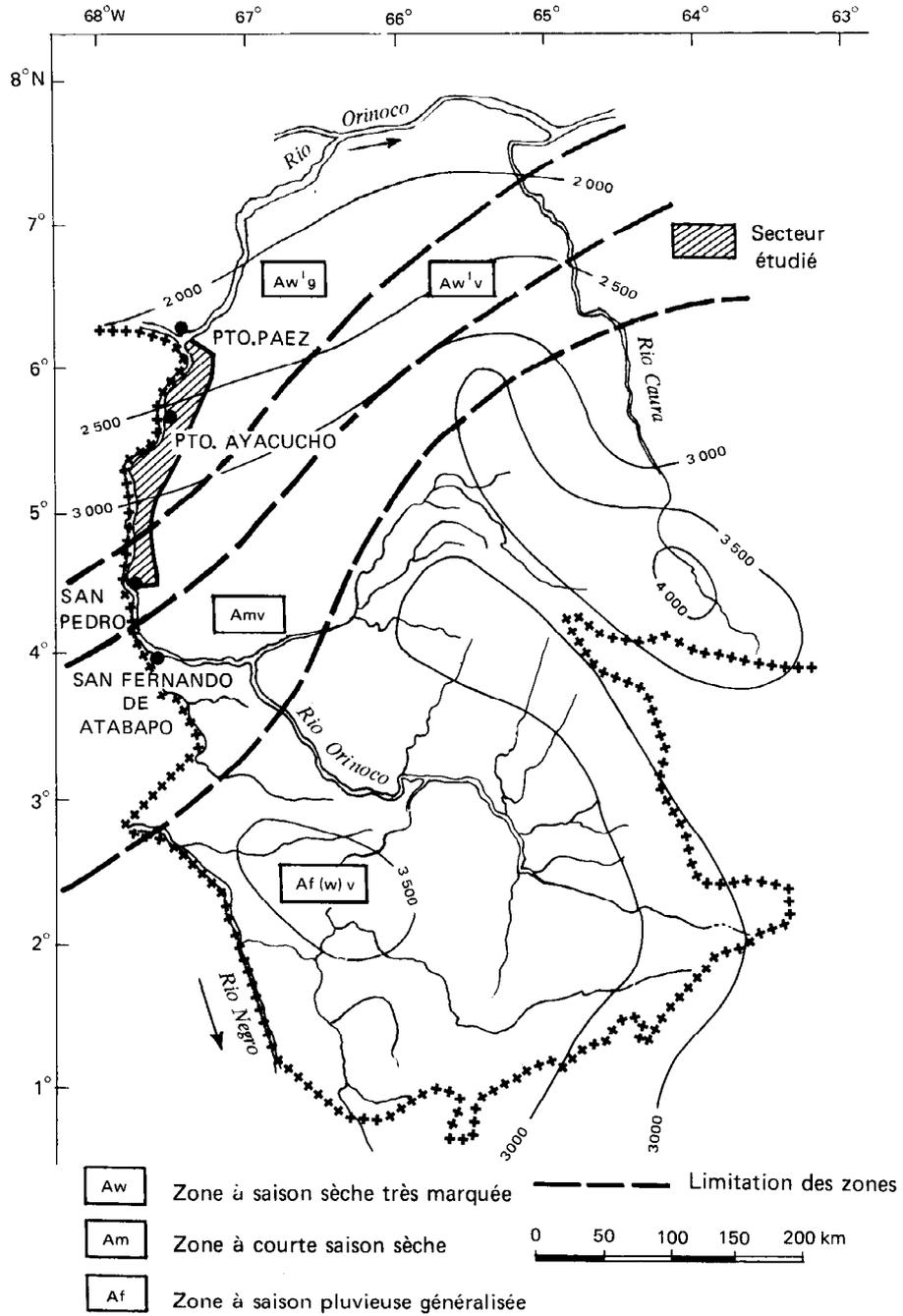


FIG. 3. — Carte des isohyètes moyennes annuelles du territoire fédéral Amazonas.

fait partie la chaîne du Parguaza, et à l'ouest les llanos. Cette chaîne de montagnes de direction générale nord-sud, constitue l'expression géomorphologique d'un batholite d'environ 130 km de large et de 280 km de long et présente au moins 4 niveaux de pénéplénation (Szczerban, 1974).

C'est dans les zones les plus basses, où sont fréquents les massifs en dômes, les coupoles granitiques, les inselbergs, qu'ont été observées les formes pseudokarstiques (v. fotogr. 1, 2, 3).

La plupart des massifs isolés évoluent en inselbergs. En relation étroite avec ces massifs et ces inselbergs apparaît un niveau d'altitude constant, activement érodé, fortement concrétionné, vestige d'une ancienne surface cuirassée et témoin des changements climatiques qui ont eu lieu dans la région durant le quaternaire (*). Le relief se présente alors comme une vieille surface aplanie dont le creusement secondaire des axes de drainage par l'abaissement du niveau hydrostatique détermine un modelé en demi-oranges moins accentué que celui qui a été observé sur la trans-Amazonienne au Brésil (F. Soubies et Ph. Blancaneaux, 1975) (fotogr. 4). Cette surface reste régulièrement accrochée aux massifs et aux inselbergs granitiques qui la dominent dans les zones où sa position topographique a empêché l'évacuation des produits de son démantèlement (encaissement entre les massifs granitiques du cerro San Borja par exemple).

1.5. Géologie

A la suite des travaux de E. Szczerban (1974), il apparaît que dans la région de Puerto Ayacucho affleure l'unité lithostratigraphique connue sous le nom de granite Parguaza, qui fait partie de la province structurale du Cuchivero (Talukdar *et al.*, 1973). Ce batholite appartient à l'événement orogénique le plus récent du bouclier Guyanais, son âge est d'environ 1 500 millions d'années plus ou moins 100 millions d'années et il se prolonge en Colombie au niveau de Puerto Ayacucho (rapides de Atures). Il se caractérise par le développement de la structure « rapakivi » consistant en la présence de gros ovoïdes de feldspaths potassiques généralement entourés de plagioclases sodiques ; le terme rapakivi, d'origine Finlandaise signifie « pierre qui se désagrège ». On trouve d'autres types de granites, à grain fin, non

différencié, tâcheté, mais en quantité moindre. Ces matériaux peuvent être par endroits traversés par des filons de pegmatites et des veines de quartz.

Le granite Rapakivi a été étudié dans la région de Mirabal (Szczerban, 1974), et sa minéralogie globale est la suivante :

— microcline perthitique	60 %
— plagioclase	15 %
— quartz	18 %
— biotite	4 %
— hornblende	3 %

et, en quantité infime, les éléments accessoires comme le zircon, la fluorine, l'épidote et la magnétite.

Les minéraux se répartissent comme suit :

65 % phénocristaux (taille de 1 à 6 cm moyenne 2,5 cm)	} 75 % forme ovoïde } 25 % angulaire	} 70 % sans manteau de plagioclase } 30 % avec manteau

35 % matrice (taille moyenne 3 mm)

Les formes d'altération pseudokarstiques étudiées ont été observées principalement sur ce type de granite.

2. LES FORMES PSEUDOKARSTIQUES

2.1. Définitions des concepts de karst et de pseudokarst

Au fur et à mesure de l'avancement des connaissances dans le domaine de la karstologie, les concepts des phénomènes karstiques ont évolué lentement. Les définitions classiques adoptées par Halliday (1960), Anelli (1963), Monroe (1970) et Geze (1973), sont dans les grandes lignes les suivantes :

Phénomènes karstiques : corrosion des roches géologiquement solubles comme les roches calcaires, par les eaux atmosphériques chargées de gaz carbonique et d'acides de l'atmosphère et du sol ;

Phénomènes pseudokarstiques : altérations produites par des actions physiques (désintégration termoclastique, action mécanique de l'eau, etc.), des actions chimiques, biologiques et biochimiques (hydrolyse de certains éléments comme les feldspaths), dans des roches peu solubles comme les granites, les granito-gneiss, les schistes et les laves où il est possible d'observer des formes analogues à celles des terrains karstiques comme des crevasses, des dépres-

* Pouyllau M., Blancaneaux Ph. (1976).

sions doliniformes, des cannelures d'érosion, des formes en baignoires, etc.

2.2. Description des principales formes d'érosion pseudokarstiques observées

Les formes d'érosion les plus fréquentes sont des cannelures présentes un peu partout sur les inselbergs et les massifs isolés qui abondent dans le secteur de Puerto Ayacucho. Elles sont concentrées d'une façon très spectaculaire dans les régions de Samariapo, Mirabal, à l'entrée de la piste de Gavilan, dans les environs de Pava sur les bords du Cataniapo, au nord de Puerto Ayacucho aux abords du caño Parhuena, dans la région de San Pedro, etc.

La plupart des blocs isolés présentant les cannelures se trouvent aujourd'hui dans des zones de savanes avec un peu de végétation, mais nous en avons également observés sous forêt dense, en particulier sur la piste de Galivan, le long de la route entre Puerto Ayacucho et Samariapo et au sud du Sipapo (photogr. 5, 6, 7, 8).

Ces cannelures semblent se disposer en forme plus ou moins radiale à partir du sommet des blocs granitiques et peuvent avoir plus d'un mètre cinquante de profondeur ; elles sont droites ou courbes. A la base de nombreux blocs, existent généralement de petites cavernes ou des crevasses de dissolution habituellement utilisées par les indiens comme sites funéraires pour y entreposer leurs morts.

Sur les flancs de nombreux dômes granitiques, on observe souvent, associés aux cannelures, des crevasses plus ou moins circulaires (photogr. 9, 10). Ces dernières abritent généralement une végétation à base de Broméliacées qui pousse sur les débris minéraux accumulés peu à peu dans ces pièges à sédiments.

Enfin il est à noter sur certains massifs aux pentes peu accentuées, l'existence de formes en « baignoires » qui peuvent atteindre 5 à 6 m de diamètre et où abondent les mêmes types de végétation (photogr. 11).

3. MODE DE FORMATION DES FORMES PSEUDOKARSTIQUES

3.1. Altération physique

CORROSION ET DÉSINTÉGRATION THERMOCLASTIQUE

La corrosion est un phénomène d'érosion mécanique produit par l'eau spécialement quand la roche

se morcelle. Les pluies sont torrentielles dans la région durant la saison pluvieuse. Il se forme très rapidement sur ces blocs dénudés, arrondis, des lignes d'écoulements dont la disposition aléatoire au départ devient rapidement radiale. Il nous a été donné de remarquer dans bien des cas que certaines cannelures semblaient avoir été déterminées par des diaclases ou par des plans de fragilité due à des discontinuités géologiques. Le phénomène de désintégration thermoclastique peut d'autre part jouer sur une échelle considérable comme cela s'est produit en mars 1976 dans la ville de Puerto Ayacucho où à éclaté une coupole de granite laissant apparaître des diaclases de plus de 25 cm de large sur une surface de plus de 200 m². Nous avons essayé de mesurer la température atteinte par la surface des blocs de granite directement exposés au soleil en saison sèche (mars) et avons enregistré des valeurs au moins égales à 80 °C ; en effet notre thermomètre ne permettait pas l'enregistrement de valeurs supérieures.

3.2. Altération chimique

DÉCOMPOSITION DES MINÉRAUX

Les feldspaths potassiques perthitiques et les plagioclases sont les minéraux les plus abondants de la roche, composant 75 % de cette dernière, qui, exposés à une altération relativement rapide, conduit à la formation d'argile. Mais la différence de granulométrie entre les phénocristaux et la matrice entraîne une altération différentielle qui laisse apparaître sur la roche altérée les phénocristaux et les ovoïdes en relief (photogr. 12, 13). Ces ovoïdes de microcline perthitique sont alors eux-mêmes soumis à l'altération chimique (décomposition des inclusions de biotite) et montrent un aspect spongieux qui favorise la désagrégation postérieure de la roche. Ce type d'altération se fait à la surface des blocs nus.

DISSOLUTION

La mise en solution du sodium et du potassium se fait en même temps que la formation des minéraux secondaires plus stables.

Il est hors de doute que la dissolution de la silice atteint des valeurs très fortes dans la région et cela a été récemment vérifié dans les formations gréseuses de l'Etat du Bolivar. (Des formes pseudokarstiques ont été tout dernièrement reconnues dans l'Etat du Bolivar par l'expédition Polono-Vénézuelienne sur la « meseta de Sarisarinama ». Cette expé-

dition d'un mois effectuée par les spéléologues et les géologues polonais et vénézuéliens a éclairé l'énigme des grandes crevasses découvertes en 1974 par l'observation des mosaïques RADAR, sur la table gréseuse de la formation Roraima en Guyane Vénézuélienne. Une des cavernes de 360 m de diamètre atteint 314 m de hauteur totale. Au fond d'une nouvelle caverne découverte, caverne de la pluie, un vaste système de galeries et des salles de 1 352 m de long constitue la grotte la plus grande du monde observée dans des grès. Un immense salon de 180 m de long, 40 m de large sur 25 m de haut, présente des parois couvertes de cristaux de quartz. Il existe des stalagmites de silice de plus de 3 m de haut, des stalactites de minéraux de manganèse et des dépôts d'opale, tout cela contrastant avec les parois gréseuses rouges. L'eau des rivières souterraines est de couleur rouge*).

3.3. Altération physico-chimique

EXFOLIATION

Presque toutes les coupoles présentant des phénomènes pseudokarstiques montrent des caractères d'exfoliation. L'hydratation des minéraux secondaires est accompagnée d'une augmentation de volume par rapport aux minéraux primaires et conduit à la formation de lamelles d'épaisseur variant de quelques millimètres à quelques dizaines de centimètres. Ces derniers de forme incurvée épousent le contour de la roche, puis se détachent du corps granitique. Le processus d'exfoliation associé à l'action dissolvante de l'eau, à l'action mécanique de cette dernière et à la gravité, peut être favorisé par l'action mécanique des racines des plantes qui provoquent le décollement de certaines lamelles.

3.4. Altération biologique et biochimique

Dans la grande majorité des cas de crevasses, dans certaines cavernes et dans quelques cannelures, nous avons noté la présence de plantes, en particulier de Broméliacées (photogr. 10, 11), la surface de toutes les formations granitiques apparaît noircie car recouverte de lichen et de diverses formes de vie qui certainement libèrent des acides organiques, cause prin-

cipale du pH très bas des eaux observé dans la région (pH 4,1), ce qui contribue à l'altération des minéraux et augmente l'effet physique de destruction amorcé par les racines des plantes.

4. CONCLUSIONS

Tous les phénomènes d'altération cités jouent simultanément, sans que nous ayons pu attribuer à l'un d'entre eux un rôle primordial.

Nous avons également observé ce type de phénomène pseudokarstique au Brésil sur la bretelle nord-sud de la trans-Amazonienne (Santarem-Cachimbo) (F. Soubies et Ph. Blancaneaux, 1975), et dans l'état du Bolivar dans la région du fleuve Parguaza (M. Pouyllau et Ph. Blancaneaux, 1976), sur les bords du caño Garzón, et en Colombie sur les prolongements des rames du batholite de granite Parguaza (région de Casuarito).

Dans bien des cas, les blocs de granite isolés présentant les cannelures sont enfouis sous de considérables épaisseurs de colluvions et de matériaux résiduels, et souvent il n'apparaît qu'une petite partie de l'ensemble de la formation (photogr. 5). Cela témoigne de l'ancienneté du phénomène et de l'ampleur du remaniement qui a joué sur les retombées orientales et occidentales du « Bouclier Guyanais ». Il n'en reste pas moins vrai, qu'actuellement ces phénomènes d'altération pseudokarstiques semblent jouer de nouveau grâce à une reprise d'érosion sensible que connaissent aujourd'hui les bordures du massif Guyanais, en partie liée à l'augmentation des pluviométries depuis environ 10 000 ans, c'est-à-dire à partir de la fin de la dernière période aride qui a sévi dans ces régions.

REMERCIEMENTS

Nous remercions vivement P. Segalen pour les critiques et observations qu'il a bien voulu apporter à ce travail, ainsi que Messieurs S. Hernandez et J. Araujo ingénieurs agronomes au MOP pour leur collaboration sur le terrain.

* Expédition spéléologique Polono-Vénézuélienne à la « meseta de Sarisarinama », estado Bolivar, Venezuela du 4/2/76 au 4/3/76, comm. des auteurs.

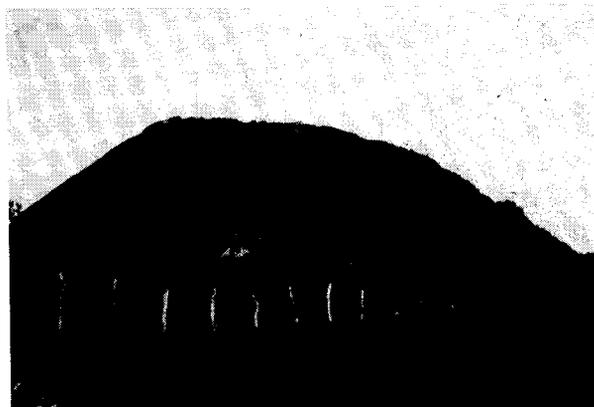
BIBLIOGRAPHIE

- AERO SERVICE CORPORATION (1971). — « Side-looking Airbone Radar (SLAR) Survey ». CODESUR f-5. Aero Service Corp. Div. of Litton Industries, Philadelphie, 238 p.
- ANELLI (F.), 1963. — « Fenomeni carsici, paracarsici et pseudocarsici ». *Gio. Geol.*, Bologna, 2 (31) : 11-25.
- BLANCANEUX (Ph.), 1974. — Essai de synthèse pédo-géomorpho et sédimentologique de la Guyane Française. 140 p., *multigr.* 12 pl. Schémas. 47 photos. ORSTOM, Cayenne, GF 13.
- BLANCANEUX (Ph.), SOUBIES (F.), 1975. — Observations géologiques et pédologiques de la route Santarem-Cachimbo, bretelle N-S de la trans-Amazonienne Brésil (à paraître).
- BLANCANEUX (Ph.), POUYLLAU (M.), HERNANDEZ (S.), ARAUJO (J.), 1976. — Estudio pedo-geomorfológico sobre las formaciones graníticas de la region de Puerto Ayacucho, Territorio federal Amazonas, Venezuela. Comm. IV congreso Venezolano de la ciencia del suelo-Maturin, 22-27 de agosto de 1976.
- GEZE (B.), 1973. — « Lexique des termes Français de Spéléologie et de Karstologie. » *Ann. spéléol.*, 28 (1) : 20.
- HALLIDAY (W.R.), 1960. — Pseudokarst in the United States. *Nat. Speleol. Soc. Bul.*, 22, : 109-113.
- KOEPPE (W.), 1948. — « Climatologia ». Fondo de cultura economico. Mexico, 1948. Traducción de la 2a edición de *Grundriss der klimakunde*, publicada en 1931.
- MONROE (W.H.), 1970. — « A glossary of karst terminology ». U.S. Geol. Survey, water supply paper 1999-k. 26 p.
- POUYLLAU (M.), BLANCANEUX (Ph.), 1976. — « Inventario geomorfológico del Territorio federal Amazonas y estado Bolívar. Cuenca del Ventuari y Orinoco medio, Venezuela. Comm. IV congreso Venezolano de la ciencia del suelo, Maturin 22-27 de agosto de 1976.
- SEGALEN (P.), 1976. — Communications personnelles.
- SZCZERBAN (E.), 1974. — « Geología y Petrología del area de Puerto Ayacucho, Territorio Federal Amazonas, Venezuela. Unidad de geol. Caracas. CODESUR. G.R. 74-2.
- SZCZERBAN (E.), URBANI (F.), 1974. — « Carsos de Venezuela ». Parte 4 : Formas carsicas en areniscas precámbricas del territorio federal Amazonas y estado Bolívar. *Bol. Soc. Venez. espeleol.* (5) 1 : 27-54.
- TALUKDAR (S.C.), COLVEE (P.), GRANATI (A.), 1973. — Precambrian geological evolution of Territorio federal Amazonas, Venezuela. A workable structural and petrological framework II. Congr. latinoamericano Geología.
- THORNTHWAITE (C.W.), MATHER (J.R.), 1955. — « The water balance ». *Publ. Climatology* (11) : 1-104.
- URBANI (F.), SZCZERBAN (E.), 1975. — Espeleología física. Formas pseudocarsicas en granito rapakivi precámbrico. Territorio federal Amazonas. *Bol. Soc. Venezol. espeleol.*, 6 (12) : 57-70.

PLANCHE I



1



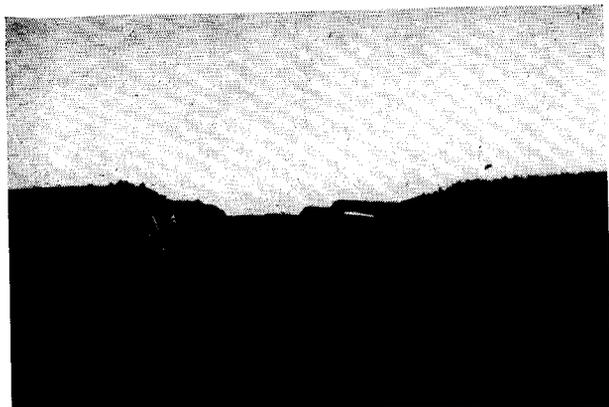
2



3

1 « Tobogan de la selva ». Affleurement de granite à 20 km au sud de Puerto Ayacucho. 2 Formation en dôme (montagne La Fria) à 10 km au sud de Puerto Ayacucho. 3 Inselberg granitique. Nombreux cas autour de Puerto Ayacucho, particulièrement sur la route de Samariapo.

PLANCHE II



4



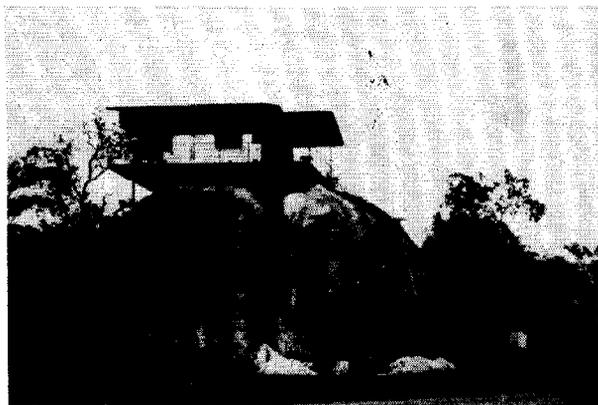
5



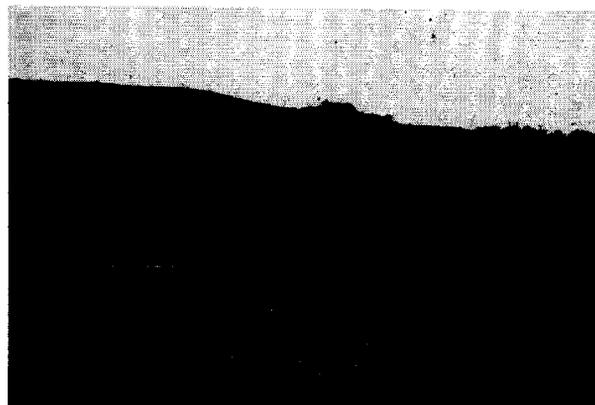
6

4 Relief en 1/2 orange caractéristique du glacis colluvio- alluvial accroché au pied des massifs granitiques dénudés. 5 Formes pseudokarstiques. Cannelures. Mise en évidence de l'important colluvionnement qui a joué enterrant les formations. 6 Cannelures sur un affleurement de granite rapakivi. Blocs d'environ dix mètres de haut, à la limite forêt-savane.

PLANCHE III



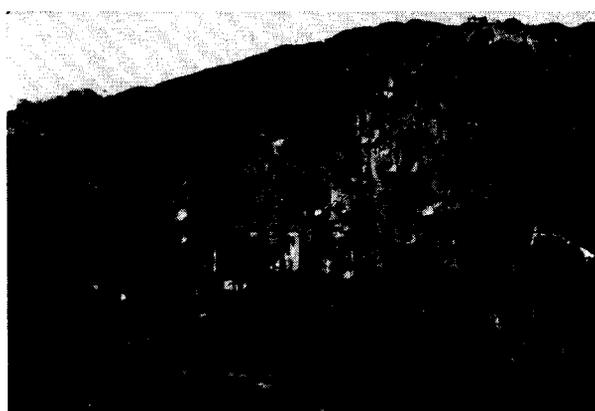
7



9



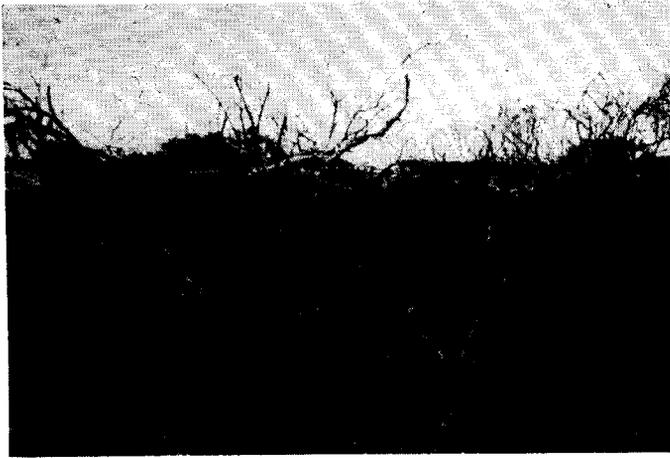
8



10

7 Cannelures sur un affleurement de granite rapakivi à Puerto Ayacucho. 8 Formes variées d'altération du granite rapakivi de Parguaza. Région du fleuve Parguaza, « caño Garzon ». 9 Région de Mirabal. Affleurement de granite Parguaza. Photographie prise après une averse. Noter les lignes principales d'écoulement et la végétation existant à certains niveaux préférentiels. 10 Détails de la photographie 9. Formes pseudokarstiques variées, cannelures, crevasses et cavernes. Noter la végétation existant dans les crevasses.

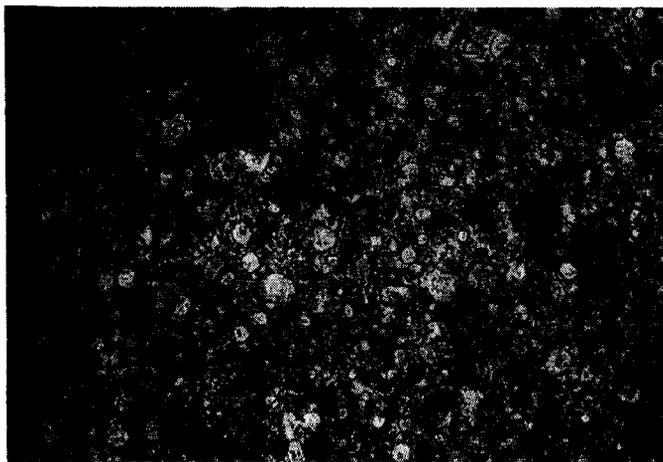
PLANCHE IV



11 Forme en « baignoire »



12 Le granite rapakivi et son altération particulière. Altération différentielle. Apparition d'ovoïdes de microcline perthitique. Rôle des racines.



13 Aspect de la surface d'une coupole de granite rapakivi polie par les eaux de ruissellement.