

## CARTE GEOMORFOLOGIQUE DE SÃO PEDRO, SÃO PAULO – 1:50.000

Jean-Pierre COUTARD

Rosely Pacheco DIAS FERREIRA

Jöel PELLERIN

José Pereira de QUEIROZ NETO

## RÉSUMÉE

Réédition de la “Carte Géomorphologique de São Pedro, SP – 1:50.000” et du commentaire, initialement publié dans “Sédimentologia e Pedologia”, numéro 12, par l’Institut de Géographie de l’Université de São Paulo, São Paulo, en 1978. Recherches développés dans le cadre de l’ accord entre le Laboratoire de Pédologie et Sédimentologie de l’Institut de Géographie / Département de Géographie de FFLCH de l’Université de São Paulo et du Centre de Géomorphologie du Centre National de la Recherche Scientifique - Caen, sous la coordination de J.P. Queiroz Neto et A. Journaux.

*Mots clés:* Cartographie géomorphologique; Relief de cuestas; Géomorphologie Quaternaire; Formations superficielles.

## RESUMO

CARTA GEOMORFOLÓGICA DE SÃO PEDRO, SP – 1:50.000. Republicação da “Carta Geomorfológica de São Pedro, SP – 1:50.000” e memorial explicativo, originalmente publicado em “Sédimentologia e Pedologia”, número 12, pelo Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, em 1978. Pesquisa desenvolvida no âmbito do Convênio entre o Laboratório Pedologia e Sedimentologia do Instituto de Geografia / Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo e o Centro de Geomorfologia - CNRS - Caen, sob a coordenação de J.P. Queiroz Neto e A. Journaux.

*Palavras-chave:* Cartografia geomorfológica; Relevo de cuestas; Geomorfologia do Quaternário; Formações superficiais.

## ABSTRACT

GEOMORPHOLOGICAL MAP OF SÃO PEDRO, SP – 1:50,000. Republication of the “Geomorphological Map of São Pedro, SP – 1:50,000” and explanatory memorial, originally published in “Sédimentologia e Pedologia”, number 12, by the Institute of Geography, University of São Paulo, São Paulo, in 1978. Research developed under the agreement between the Laboratory of Pedology and Sedimentology of the Institute of Geography / Department of Geography of the FFLCH from the University of São Paulo and the Geomorphology Center of the CNRS in Caen, under the coordination of J.P. Queiroz Neto and A. Journaux.

*Keywords:* Geomorphological cartography; Cuesta landform; Quaternary geomorphology; Surficial formations.

## 1 INTRODUCTION

La région cartographiée se situe au contact des deux compartiments principaux du relief de la partie du Bassin du Paraná située dans l'Etat de São Paulo: la Dépression Périphérique et le Planalto Occidental. Ces deux compartiments se succèdent d'est en ouest, séparés par un ensemble de cuestas, dont les escarpements peuvent avoir 300 mètres de dénivellation.

Le bassin sédimentaire du Paraná est un des plus grands du monde, avec une superficie d'environ 1.500.000 km<sup>2</sup>. Toute cette zone s'est comportée comme une aire intracratonique de caractère négatif, avec une subsidence variant dans le temps. Les sédiments s'épaississent en direction du fleuve Paraná où ils peuvent atteindre environ 4.500 mètres d'épaisseur.

Le dépôt de la formation Bauru au Crétacé supérieur marque la fin des grandes périodes de sédimentation du Bassin du Paraná et le passage à des épisodes où l'érosion sera dominante, renforcée par l'action de mouvements épirogéniques positifs, lents, agissants par impulsions avec basculement vers l'ouest, et conditionnée par des modifications bioclimatiques. Ces événements tectoniques et l'érosion sont responsables de la compartimentation du bassin, de l'élaboration de la Dépression Périphérique et du relief de cuesta, surtout au Tertiaire. L'évolution fut complexe avec des phases exoréiques en climat humide conduisant à une érosion linéaire avec excavation et évacuation des matériaux, succédant à des climats plus secs qui s'accompagnaient de processus érosifs différents conduisant à l'élaboration de surfaces aplanies.

L'échelle choisie, le 1:50.000 a permis de bien mettre en évidence les grandes formes du relief ainsi que la figuration de nombreuses données concernant la stratigraphie du Quaternaire.

## 2 TOPOGRAPHIE, HYDROGRAPHIE

L'étude de la région de São Pedro, accompagnée d'une cartographie géomorphologique détaillée, a permis de mettre en évidence les éléments suivants:

a) Entre 900 et 960 mètres d'altitude, sur le "Planalto Ocidental", les restes de la surface des "Cristas Médias" datée du Tertiaire moyen. Le relief est ondulé avec de nombreuses collines isolées qui portent des vestiges de cuirasse ferrugineuse et le tout est amplement recouvert par des formations sableuses renfermant des stone lines.

b) Une partie de l'escarpement de cuesta de Botucatu qui présente une direction générale Est-Ouest parallèle à celle du Piracicaba. Cet escarpement montre une dénivellation d'environ 300 mètres; le front de cuesta a un aspect festonné par de nombreux et vastes amphithéâtres.

c) Une zone de larges interfluves de direction Nord-Sud qui correspondent à un glaciais démantelé et relativement peu entaillé, recouverts par une épaisse formation sableuse.

d) A proximité du Piracicaba le glaciais est profondément dissequé, présentant des interfluves étroits et sinueux. Les vallées sont très encaissées et sur les versants en pente plus forte la roche affleure en de nombreux points.

e) La vallée assez large du Piracicaba comprenant un système bien individualisé de terrasses et les "várzeas" holocènes.

La "Serra" de São Pedro est une zone de partage des eaux entre le système hydrographique de la dépression périphérique et le réseau des cours d'eau du revers. Les cours d'eau plus importants sont affluents du Piracicaba, mais leurs sources se situent sur le revers de la cuesta; au moment de franchir celle-ci, ils forment des cascades de plusieurs mètres d'hauteur. Au tracé général parallèle des affluents et sous-affluents du Piracicaba, il est possible d'opposer l'aspect dendritique et ramifié qui prennent leurs têtes de source ainsi que les petits ruisseaux; tandis que les premiers présentent un écoulement *permanent*, les deuxièmes montrent un écoulement *temporaire* et saisonnier.

## 3 LITHOLOGIE, STRUCTURE

Le domaine étudié se situe sur les formations sédimentaires Mésozoïques du Bassin du Paraná, constituées par les formations Piramboia et Botucatu (Jurassique-Crétacé inférieur) et la formation Bauru (Crétacé supérieur), et sur les roches basiques du trapps de lave datées du Jurassique-Crétacé.

La formation Piramboia est seule à apparaître de la vallée du Piracicaba jusqu'au pied de l'escarpement de la cuesta; elle présente un faciès d'origine fluvio-lacustre constitué par des *grès fins à nivaux silto-argileux* et à structure horizontale ou entrecroisée.

En raison de sa situation, la zone de dissection intense a été la plus profondément atteinte par l'érosion fluviale engendrée par le dernier encaissement du Piracicaba. La densité du drainage

est très élevée et les vallées assez encaissés; la roche affleure fréquemment, principalement dans les versants en pente forte où apparaît une succession de petites *corniches* quasiment du sommet au fond de la vallée. Ces corniches correspondent à des bancs de grès massifs, à des niveaux d'argilite épais où à des changements dans la stratification de la roche; ces alternances lithologiques entraînent la multiplicité des niveaux d'eau souterrains et par voie de conséquence la fréquence des *sources*. Dans les *niches de source* l'hydromorphie est générale et le matériel s'affaisse en gradins; leurs émissaires exportent facilement les sables élargissant ces formes qui prennent presque toujours de grandes dimensions.

Sur les glaciers seulement dans les têtes de vallons, où les processus d'érosion sont les plus intenses, la roche affleure sur les versants les plus abrupts, tel que l'on peut voir sur le Tucum et sur le Espriado.

L'escarpement de cuesta montre une dénivellation d'environ 300 mètres, façonnée dans le grès fin à moyen Botucatu, d'origine éolienne et montrant une stratification entrecroisée, et dans les couches basaltiques d'aspect massif qui les surmontent. Plusieurs *corniches* sont dues à des niveaux plus résistants du grès, plus rarement à des interstratifications de basalte et de grès. La plus nette de ces corniches et la plus élevée en altitude correspond au sommet de la série gréseuse transformée en quartzite très dur au contact avec le basalte.

En raison des interstratifications de basalte et de grès et de la présence des niveaux plus résistants du grès, ainsi que de l'évolution très complexe de la cuesta, à plusieurs endroits l'escarpement présente des gradins et des paliers structuraux comme autour de la chacara Santa Edwiges et à l'ouest de la fazenda Campestre. De même, les cours d'eau qui prennent leurs sources au revers forment des multiples *cascades* en franchissant la cuesta.

L'escarpement majeur sommital correspond aux strates de *basalte* dont l'épaisseur est voisine de 80 mètres; la roche à structure semi-vitreuse contient essentiellement des feldspaths du type labrador-oligoclase et augite; vers la base et au sommet des couches de lave, des basaltes amygdaloides noirâtres contiennent des vésicules remplies par des zéolites, du quartz et de la calcite. Sur l'éperon avancé de la cuesta, à 760 mètres d'altitude, situé entre les Fazendas Santa Maria et Santana, un basalte vitreux noir, très dur, forme en particulier trois petits *necks*. À l'intérieur de

l'amphithéâtre de la fazenda Santana on peut remarquer la présence de petits affleurements de *diabase*.

Le front de la cuesta apparaît irrégulier, car il est découpé par de nombreuses reculés dont le développement variable est lié à l'importance des cours d'eau qui s'y rejoignent, et dont la disposition est partiellement influencée par la tectonique, ce que suggèrent les *fractures* accompagnées ou non de venues basaltiques visibles autour de la Fazenda Santana. Les signes de tectonique, exception faite de ceux de la Fazenda Santana, ne sont pas représentés pour ne pas surcharger la carte.

La formation de la cuesta a débuté au Tertiaire moyen, par l'entaille des rivières conséquentes et celle de leurs affluents. Au Quaternaire les ultimes retouches ont donné l'aspect actuel en excavant des grands amphithéâtres. Le creusement de ces reculées a été très complexe, de nombreuses sources ayant alimenté ou alimentant encore de nombreux torrents qui ont construit un ensemble de *cônes*. Parmi ces derniers, les plus anciens ont été les plus développés et ont atteint par juxtaposition la formation de grands épandages. Les cônes les plus jeunes sont de petite taille et bien localisés.

De tout temps, les parois ont également évolué par de grands éboulements. Sur la carte on ét distingue des *éboulis anciens* et des *éboulis récents*. Sont considérés comme éboulis anciens ceux qui à l'aval s'imbriquent dans les formations torrentielles anciennes (fazenda Campestre, chacara Santa Edwiges, Fazenda Campim Fino), et ceux qui portent des sols à horizon B textural bien développé. Le matériel des éboulis récents est frais; la pente de ceux-ci est régulière; le matériel des éboulements sub-actuels et actuels vient les recouvrir.

Sur le plateau du revers de la cuesta les interfluves ont une forme arrondie recouverts par une formation sableuse épaisse. Lorsque l'encaissement est suffisant le cours d'eau atteint les couches du grès Bauru et même le basalte. Le *grès moyen* a grossier ou poudingiforme du Bauru, d'origine fluviolacustre, apparaît aussi sur les versants des petites buttes cuirassées.

#### 4 FORMES ET FORMATIONS DUES AUX ACTIONS FLUVIATILES

À l'opposé des formes structurales avec ses corniches où affleure la roche, les formes dues aux actions fluviales sont plus adoucies. Les versants sont fréquemment délimités par une *rupture*

*convexe* au sommet et par une *rupture concave* en bas de pente, à la limite avec les varzeas des vallées plus importantes.

Dans la zone de dissection intense, au sud des glacis, la forme générale des vallons est le plus souvent en V, de même qu' autour de la cuesta où ces formes sont associées à des *versant à ravins*. Sur le plateau du revers la forme en V n'apparaît que vers la partie aval des bassins où l'érosion est plus intense. Dans les vallons secondaires orientés sud-ouest nord-est apparaît une forme *dissymétrique* en liaison avec le pendage des couches vers le nord-ouest. Le versant le plus abrupt, exposé au sud-est, contraire au pendage, est assez régulier et incisé par des ravins espacés; il a peu de corniches apparentes. Le versant doux, exposé au nord-ouest, conforme au pendage, possède de nombreux petits ravins alimentés par des sources multiples formant des alignements.

L'érosion régressive des affluents et sous-affluents du Piracicaba a démantelé le glacis pendant le Quaternaire. Seulement dans les têtes de vallon les versants sont plus abrupts; sur les grands interfluvies qui correspondent aux parties les mieux conservées du glacis, des *vallons en berceau* très ouverts se terminent à l'amont par des grandes concavités à pentes douces. Souvent ces formes des bassins-versants correspondent à des colmatages par des colluvions sableuses de plusieurs petits vallons. Les vallons en berceau sont parfois entaillés et forment des berges, comme celle au sud de la fazenda Campestre.

Des *vallons à fond plat* dus aux apports des alluvions sableuses se trouvent dans les parties moyenne et inférieure des principaux affluents du Piracicaba, les ribeirão Vermelho, do Meio et Samambaia. A l'amont ces cours d'eau présentent un petit fond plat couvert de galets frais de basalte et de grès; la rivière peut être encaissée et présenter des berges verticales où apparaissent des galets et des blocs de grès et basalte (ribeirão Samambaia).

Au passage du haut cours, où les formes sont plus adoucies, vers le cours moyen les principaux cours d'eau peuvent présenter des *rapides*, tel celui que l'on peut voir sur le ribeirão Samambaia à côté de la route principale; ces formes sont en liaison avec la limite de l'érosion régressive plus récente des cours d'eau.

Le vallon du Piracicaba est imposante avec son système de *nappes* et de *terrasses* étagées sur une largeur de 3,5 km au nord du fleuve et sur 2,5 km au sud. La cartographie de détail s'est révélée fondamentale, car elle a permis de faire le lien entre

les nappes du Piracicaba, celles de ses affluents et les *cônes* et *épandages de type torrentiel* situés dans les reculées de la cuesta; cet étude a permis, d'autre part, de définir quatre cycles de creusement et d'alluvionnement fluvial représentés sur la carte comme *Quaternaire ancien* pour les deux premiers (vert clair) et *Quaternaire récent* pour les deux plus récents (vert plus foncé).

La nappe la plus ancienne (cycle I) apparaît en continuité topographique avec le glacis; le matériel de cette nappe est constitué de galets de quartz, de quartzite, de fragments de géodes siliceuses provenant des basaltes, de débris de cuirasse ferrugineuse roulés. Les galets de quartzite sont altérés dans la masse et très friables et possèdent un cortex brun foncé de 2 à 3 mm d'épaisseur. L'âge des glacis et des hautes nappes qui les accompagnent est fini-pliocène ou Quaternaire ancien. Le problème de datation est peut-être plus complexe, puisque en fait il semble exister deux hautes nappes anciennes topographiquement séparées, très remaniées, difficiles à individualiser par la pétrographie et les états d'altération.

Un second ensemble de terrasses et de nappes (cycle II, Kansas-Mindell) domine de 40 m le cours actuel du Piracicaba; il a son correspondant dans les vallées affluentes sous forme de nappes de moindre ampleur et dans les reculées de la cuesta sous forme de *cônes* de matériel grossier. Le matériel des nappes est constitué par des galets de quartz et de quartzite avec petit cortex d'altération et de débris de géodes de basalte, recouverts par une séquence sommitale sableuse épaisse. Les *cônes* anciens sont aujourd'hui très disséqués par de nombreux petits ravins; leur matériel très hétérométrique, composé de basalte et de grès silicifié assez altérés, de débris de cuirasse. La gangue est sablo-argileuse rouge et les sols à B textural développés sur les *cônes* anciens sont toujours évolués et du type terra roxa estruturada.

Un troisième ensemble plus récent se situe à 10-15 mètres plus bas (cycle III, Illinois-Riss), représenté sur la carte comme *Quaternaire moyen et récent*. Le matériel des nappes est formé de blocs et de galets de quartz, de quartzite, de silexite, de siltite, de basalte, les deux derniers étant altérés. Sur les affluents, les blocs de grès sont peu altérés et les galets de basalte possèdent un cœur presque sain et un petit cortex d'altération. Les *cônes* torrentiels sont de dimension beaucoup plus réduite que ceux coalescentes du cycle II. Toutefois, leurs caractéristiques pétrographiques et granulométriques sont assez proches mais les gros

blocs de grès et les galets de basalte sont moins altérés.

On notera qu'à partir du cycle II, il n'y a plus élaboration de grandes surfaces mais des épisodes qui connaissent une érosion plus étroitement localisée avec la création de grands berceaux fluviaux dans lesquels les cours d'eau vont s'encaisser pendant les cycles suivants. Si l'on juge par la masse et le calibre du matériel transporté, l'importance de l'érosion fluviale a été décroissante au fur et à mesure que l'on s'achemine vers un Quaternaire plus récent.

Le large fond de vallée est occupé par de très basses terrasses sableuses et des *varzeas inundables à matériel sableux* ou *organosableuses*. Le fleuve principal est bordé par des faisceaux de *levées alluviales*, des traces de *méandres abandonnés* et des *berges de rive concave* témoignant du déplacement constant du cours d'eau. Sous ces apports récents, existe une nappe de galets et de graviers sains corrélative à un dernier cycle d'érosion (cycle IV, Wisconsin-Wurm). Au débouché des vallées affluentes on observe une accumulation sableuse avec formation locale de terrasses et de *cônes sableux*. Certains sont disséqués tels ceux du ribeirão Vermelho, les plus récents entaillant et s'emboitant dans les plus anciens.

## 5 LES COLLUVIONS

L'étude des formations superficielles de la région de São Pedro a permis d'observer que pratiquement tous les versants sont recouverts par des *colluvions sableuses*. Sur le plateau du revers ces matériaux présentent une certaine homogénéité texturale et la minéralogie de leur fraction argileuse indique à côté de la kaolinite une teneur non négligeable en gibbsite tel comme les latosols des sommets. Ces formations présentent une coloration rouge jaune dans la partie supérieure des versants et dans les parties basses des teintes jaunâtres et montrent la présence de couches lenticulaires de petite épaisseur, fréquemment sinueuses, constituées de matériel de couleur assez sombre, plus argileux et structuré en petits blocs. Ce matériel provient du remaniement de la couverture sableuse ancienne.

En direction du bord de l'escarpement de la cuesta, les formations de versant commencent à enregistrer l'influence du matériel provenant de l'altération des basaltes; elles deviennent plus argileuses et leur couleur devient rouge sombre. On passe ainsi à des latosols "roxo".

Dans la plus grande partie de la région dissequée proche de la vallée du Piracicaba, la roche

affleure fréquemment, principalement dans les versants en pente forte où apparaît une succession de petites corniches. Dans les pentes plus faibles, les formations superficielles sont épaisses de 1 à 1,5 mètres, sableuses à sablo-argilleuses, et séparées de la roche par une stone-line de quartz et de quartzites. Les sols du type podzolisé rouge-jaune variété Laras sont en réalité polygénétiques avec la superposition d'un horizon A plus sableux et friable sur un horizon B illuvial. Ces horizons montrent souvent des structures ondulées bien marquées ou des discontinuités sous la forme d'un IIA enterré.

L'origine de ces colluvions comme les relations éventuelles avec les formations qui recouvrent les sommets des interfluves ne sont pas encore bien définies. La stone-line représente, d'après les interprétations chronologiques proposées pour le Brésil du Sud-Est, le matériel déposé sur les versants dans la dernière phase sèche qui marque la fin du Pleistocène. Les colluvions sableuses placées au-dessus d'elle correspondent à la phase humide qui a suivi et qui a provoqué également une pédogenèse avec formation de l'horizon illuvial. Une ultime période plus sèche a éliminé la partie supérieure de ces sols qui postérieurement ont été recouverts par des colluvions très récentes sur lesquelles s'est développé l'actuel horizon A.

## 6 FORMES ET FORMATIONS LIÉES AU CLIMAT TROPICAL A TENDANCE SECHE

La région de São Pedro, comme d'ailleurs tout le Sud-Est brésilien, a évolué sous l'influence de l'alternance de climats plus humides et plus secs; les climats plus secs s'accompagnaient de processus érosifs conduisant à l'élaboration de vastes surfaces aplanies (pédiplains, glacis) et à la formation de dépôts grossiers (nappes, éboulis) ou d'épaisses couvertures détritiques sableuses.

Le sommet du plateau présente une topographie mollement ondulée avec une inclinaison générale vers le nord-ouest. Dominant le niveau général des collines, se détachent des reliefs isolés et quelques sommets d'interfluves pourvus de rebords abrupts formant des corniches de quelques mètres en relation avec les vestiges d'une *cuirasse ferrugineuse*, reposant directement sur les roches du substrat (grès fin à grossier, poudingues). Les résultats d'analyse indiquent un processus d'accumulation absolu dans la formation de ces cuirasses. Les niveaux cuirassés les plus élevés, à environ 1050 mètres d'altitude mais en dehors de la zone cartographiée, sont interprétés

comme les témoins de la surface pédiplanée ancienne, post-crétacée, qui a recoupé les couches gréseuses et basaltiques et dénommée surface des “Cristas Médias” ou paléogène. Un second niveau cuirassé, environ 100 mètres en-dessous du premier et bien représenté sur la carte, est lié à des phénomènes d'érosion néogènes.

Les sommets des collines les plus aplanies portent une *couverture sableuse ancienne du plateau* sur laquelle se sont développés des latosols rouges et rouge-jaune. L'origine et l'âge de cette couverture ainsi que ses éventuels rapports avec les formations sableuses de la dépression périphérique ne sont pas encore clairement établis. Toutefois, le matériel du plateau offrant un degré d'altération plus poussé si l'on compare avec ceux du glacis (présence de gibbsite et de kaolinite bien cristallisée), il peut être considéré comme plus ancien.

L'ensemble des *glacis* de la région de São Pedro a été élaboré par des processus d'érosion aréolaire dans la première grande phase sèche du Quaternaire. Le glacis recoupe en biseau les grès de la formation Botucatu et les siltites et grès très fins de la formation Piramboia. Les *dépôts grossiers* très altérés contenant des galets de basalte, de grès, des débris de cuirasse et des géodes dans une gangue sablo-argileuse sont considérés comme corrélatifs de la formation du glacis; ils reposent directement sur la roche et sont recouverts par une épaisse formation sableuse. De même que pour les formations sableuses du plateau, l'origine et l'âge de cette *couverture sableuse ancienne du glacis* ne sont pas bien définis: ce sont des matériaux très homogènes, ne présentant pas des structures visibles. La fraction argileuse est constituée presque exclusivement par de la kaolinite bien cristallisée, ces formations étant un peu moins altérées que celles du plateau.

Le glacis est bien conservé sur 6 à 7 km de distance à partir du pied de la cuesta et présente un relief doux et peu dissecté avec des larges interfluves dont l'altitude varie de 640 à 560 mètres. Il est au contraire très dissecté dans sa partie sud, où il apparaît en continuité topographique avec la nappe la plus ancienne du Piracicaba (cycle I).

Les éboulis anciens et récents, déjà décrits dans le chapitre sur la structure et la lithologie, sont la conséquence de l'évolution des parois de la cuesta surtout pendant les phases de climat plus sec, au moment où la végétation étaient moins dense et les actions mécaniques prépondérantes.

## 7 DOMAINE TROPICAL HUMIDE

Les roches sont presque partout profondément altérées, sauf sur les points reportés sur la carte et correspondants aux affleurements des corniches et replats structuraux. Dans la plupart du temps, les altérations “in situ” ont été détruites, tronquées et rémaniées et les sols se sont développés sur des formations détritiques de recouvrement. Il y a cependant des endroits surtout à proximité du bord de l'escarpement où l'on trouve des vestiges de basalte altéré “in situ”; la roche présente une décomposition en boules, le noyau montrant une perte partielle de ses constituants. Sur ce matériau des profils de terra roxa estruturada et de latosol roxo sont visibles au sud de Santo Antonio et des fazendas Paredão et Zague.

Ces quelques témoins du domaine morphoclimatique tropical humide ont été cartographiés sous le titre *altérations profondes de la roche*.

## 8 LES ACTIONS ANTHROPIQUES

Les actions anthropiques liées à la déforestation, à la construction des routes et des chemins et au développement de l'élevage seraient les facteurs déterminants de l'accroissement de l'écoulement superficiel. Des *rigoles* multiples s'installent surtout dans les parties basses des versants, dans la zone dissectée proche de la vallée du Piracicaba. L'érosion extrêmement rapide avec formation de ravins dans les têtes de vallon et des processus liés à la formation et à l'évolution des niches de sources semblent être responsables de la présence de *badlands* dans les têtes de vallon. En effet, ici la roche est assez proche de la surface et les formations peu épaisses sont vite saturées d'eau en saison des pluies; l'écoulement superficiel aidant, il y a un déplacement continu des masses sableuses qui vont colmater les fonds plats des vallées principales.

Les *voçorocas* représentent les formes les plus spectaculaires de l'action anthropique. Ils sont très répandus et très nombreux sur la couverture sableuse du glacis et forment souvent des systèmes assez complexes avec un tronçon principal et plusieurs branches. Les voçorocas sont normalement rectilignes et constituent des véritables vallons affluents de la vallée principale. Ils entaillent profondément la couverture sableuse et même le sommet du grès Piramboia sous-jacent. Leur fond, initialement étroit, s'élargit à l'aval où il

peut avoir un colmatage sableux. L'écoulement est temporaire surtout à l'amont. Les parois sont quasi verticales avec toutefois des gradins ou corniches qui correspondent à des strates sub-horizontales sablo-argileuses ou silto-argileuses de la roche. Le bord des grands voçorocas est dentelé en raison du début de formation de nombreux ravins latéraux.

Un certain nombre de processus entrent dans l'évolution de ces formes. A proximité des sources, en liaison avec la nappe d'eau permanente, on observe des indices de mouvements de masse de type solifluxion provoquant un élargissement des formes. Le long du voçoroca des sapements à la base des parois engendrent des arrachements qui sont responsables de l'aspect festonné des rebords. Le talweg subit intensément l'action du ruissellement concentré qui provoque un recul rapide de la tête du ravin, recul accéléré lors des chutes de pluie les plus importantes.

La carte apporte des éléments pour l'aménagement. Tous les talus et toutes les ruptures de pentes sont figurés. Les zones très compartimentées où la roche affleure fréquemment (reculées de la cuesta, secteur de dissection intense situé au sud du glaciais), difficiles à exploiter sur le plan agricole, sont bien délimitées. Mais surtout, les périmètres fragiles, sujets à l'érosion par incision ou ruissellement et nécessitant une mise en valeur prudente protégeant les sols, sont nettement circonscrits; se sont, d'une part le domaine des couvertures sableuses du plateau et plus encore du glaciais et d'autre part celui des colluvions anciennes. Enfin, figurées en noir, les érosions partiellement ou totalement anthropiques attirent le regard sur des secteurs déjà dangereusement dégradés où des mesures de protection s'imposent immédiatement.

**Auteurs consultés:**

A.N. Ab' Sáber, F.F.M. de Almeida, J.J. Bigarella, A.J.S. Bjornberg, A. Christofolletti, J.L.L. Demattê, V.J. Fulfaro, P.M.B. Landim, M.M. Penteadó, J. P. Queiroz Neto, P.C. Soares.

**Crédits:**

*Rédaction du commentaire:*

J.P. Coutard e J. Pellerin (Centre de Géomorphologie du CNRS - Caen); R.P. Dias Ferreira e J.P. Queiroz Neto (Departamento da Geografia da FFLCH - USP).

*Les levés de terrain et préparation de la carte ont été réalisés par:*

R.P. Dias Ferreira, J.P. Queiroz Neto, M.S.L. Silveira Reis, R. Herz, S.C. Françoso (Departamento da Geografia da FFLCH - USP); C. Aillaud, M. Barros de Aguiar, A. Scatolini Watanabe (Laboratório de Pedologia e Sedimentologia - IGEOG - USP); J.P. Coutard, J. Pellerin (Centre de Géomorphologie du CNRS - Caen).

*La réalisation cartographique est de:*

R.P. Dias Ferreira, J.P. Coutard et Terrafoto S.A.

*Analyses physiques, chimiques et minéralogiques:*

Centre de Geomorphologie du CNRS - Caen, França.

*Le financement a été assuré par:*

Universidade de São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Instituto de Geografia; Secretaria de Cultura, Ciência e Tecnologia; Departamento de Ciências Exatas e Tecnologia (DCET), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP); Service de Coopération Technique et Scientifique, Ministère des Affaires Étrangères, França, Centre de Géomorphologie du Conseil National de la Recherche Scientifique (CNRS), Caen, France.