

LES PROBLEMES DE L'EROSION ACCELEREE DANS L'ETAT DE SAO PAULO, BRESIL

par

José Pereira de Queiroz Neto*

ABSTRACT

As the primitive plant-cover in the state of Sao Paulo have been destroyed everywhere, the soils are now grazing-grounds or fields under cultivation.

The accelerated erosion, due to anthropic action has different aspects : sheet-erosion, gullyng, "voçorocas", which are to be seen in the fields or along the roads. Moreover, the complex problems of landslides, solifluxions, etc., are appearing on the steep slopes of the "serras" of Mantiqueira, Mar and Botucatu. An important accumulation occurs in the valleys and on the lower part of slopes.

The destruction of the plant-cover and its substitution either by grazing-grounds or by fields under cultivation, the agricultural labour leaving the ground bare, lead to the accentuation of the mechanical action of water-drops ; the run-off becomes very important and the floods very sudden.

The research works which have been undertaken up to now by the Agronomical Institute of Campinas lead to the adoption of a number of techniques for erosion-control : contour-lines, terraces, etc.

* Département de Géographie, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de Sao Paulo.

Les recherches ont été financées par la Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Sao Paulo (FAPESP).

LE MILIEU NATUREL

Depuis un peu moins de deux siècles, le couvert végétal originel a presque partout disparu, remplacé par des cultures ou des pâturages. Les processus géomorphologiques actuels, érosion des sols, mise en place de nouveaux sols, ravinements et glissements de terrain, effets des inondations, ne peuvent être interprétés qu'en tenant compte de ce fait.

Le territoire de l'état de Sao Paulo constitue une sorte d'immense plateau avec une pente générale vers l'ouest. Selon Ab'Saber (1956), 84 % de sa surface est comprise entre 900 et 300 m d'altitude, correspondant à trois régions naturelles, de l'est à l'ouest.

- 1) Planalto Atlantico à l'est et au sud-est, massif ancien avec roches cristallines ;
- 2) Dépression Périphérique, comprenant des siltites, calcaires et grès paléozoïques ;
- 3) Planalto Occidental sur grès à ciment calcaire du Cretacé ou, le long des cours d'eau, sur basalte.

Le littoral ne correspond qu'à 3 % du territoire. Les altitudes supérieures à 900 m (7,5 %) comprennent les grands blocs surélevés de la Mantiqueira (Planalto Atlantico) et quelques portions de la grande cuesta qui sépare la Dépression Périphérique du Plateau Occidental. Les grands escarpements de la Serra do Mar occupent un peu moins de 6 % de la surface totale.

Le relief présente partout un aspect très disséqué. Sur le massif ancien (Planalto Atlantico) il est très mouvementé. Ceci est le résultat d'une "mamelonisation" très développée ("mar de morros"). Les pentes convexes sont fortes et les versants découpés en maints endroits par des amphithéâtres de tête de source.

Le bassin sédimentaire du Parana comprend la Dépression Périphérique et le Plateau Occidental, avec des formes beaucoup plus adoucies. Les interfluvies forment des collines allongées, tabulaires, dont les versants convexes sont entaillés par les têtes de source ; celles-ci présentent des formes de ravinement, et des amphithéâtres plus petits que sur le massif ancien. La disposition presque horizontale des couches sédimentaires provoque souvent, sur les versants, la présence de petits escarpements, ruptures de pente en forme de gradins adoucis. Les versants sont beaucoup plus longs et les pentes moins fortes que dans le massif ancien.

La carte des sols de l'état de Sao Paulo (*Comissao de Solos*, 1960, tableau 1) montre la présence de quatre sous-ordres : sols à horizon B textural (Ultisols et Alfisols), sols à horizon B latosolique (Oxisols), sols peu évolués (Inceptisols) et sols hydromorphes. Cette carte reflète la répartition des formations géologiques et des formes du relief.

Les sols à horizon B latosolique se trouvent sur des reliefs moins mouvementés, surtout au sommet de collines tabulaires assez longues. Les B texturaux occupent des versants à pentes plus fortes et les régions où le relief devient plus mouvementé.

D'une façon générale, les sols du bassin sédimentaire du Parana ont une texture plus sablonneuse, au maximum sablo-argileuse, sauf pour les sols sur roches basiques ou pour quelques latosols rouge foncé. Les B texturaux montrent à 40-50 cm de profondeur un horizon d'accumulation, avec parfois 50-60 % d'argile. Tandis que les horizons de surface sont assez faiblement structurés, sauf pour les sols sur basalte (tableaux 8 et 9)⁽¹⁾ les horizons B sont plus fortement structurés et résistent mieux à l'érosion. Vu la présence de ces horizons B, le comportement hydrique des B texturaux est assez différent des B latosoliques, de texture homogène.

Sur le massif ancien, la texture est généralement plus argileuse, surtout pour les B latosoliques, où la teneur en argile est de 40 à 50 % dans l'ensemble du profil. Les sols à B textural montrent une variation texturale assez importante à l'intérieur du profil ; leurs horizons de surface sont un peu plus argileux et mieux structurés que dans le bassin du Parana (tableau 1, 8 et 9).

Il y a une certaine correspondance entre le climat et les régions naturelles. Pour les 4/5 de l'état (entre 300 et 900 m d'altitude), la pluviométrie annuelle se situe entre 1100 et 1400 mm et les températures entre 19 et 23° (tableau 2). La pluviométrie est plus forte sur le littoral et dans les "serras" do Mar et de Mantiqueira, où le relief est plus mouvementé ; la température diminue sensiblement au-dessus de 900 m.

Les moyennes thermiques augmentent de l'est (19° C) à l'ouest (23° C). Les pluies diminuent dans cette direction : 1400-1500 mm à l'est et 1000-1100 mm à l'ouest. Les excédents hydriques, établis selon Thornthwaite et Mather (A. PAES DE CAMARGO et al., 1974), diminuent sensiblement de l'est à l'ouest ; les déficits, par contre, augmentent du SSE vers le NNW, montrant la position particulière de Sao Paulo entre le Brésil Central, à saisons assez contrastées, et le Brésil Méridional. Le déficit est aussi en rapport avec une augmentation de la concentration des pluies en été (tableau 2).

Les moyennes masquent un phénomène fréquent : des chutes de pluie de 300-400 mm en 24 heures (H.R. STERNBERG, 1949 ; O. CRUZ, 1974 ; J. PELLERIN et al., 1975). La concentration peut être très importante, 90 mm en une heure et quarante cinq minutes (J.R. TARIFA, 1973).

TABLEAU 1.- Répartition des principaux types de sols de l'Etat de Sao-Paulo. (Comissao de Solos, 1960).

Region Naturelle	Matériau Originel	sous-ordre	Grand-groupe	Surface occupée %	Argile horizon A %	Porosité %
Littoral et Pl. Atlantico	gneiss, phyllites	B textural	Podzolique Rouge et Jaune	2,6	15	50
		B textural	Podzolé à graviers	2,2	15-30	50
	formations détritiques		Intergrades	1,8	30-40	52
		B latosolique	Latosol Rouge et Jaune	7,9	20-80	55
			Campos do Jordao	2,8	20-50	60
Dépression Périphérique	siltites et argilites	B textural	Podzolique R. et J. Piracicaba	0,5	20-60	48
	grès	B textural	Podz. R. et J. Laras	3,5	5-10	50
	formations détritiques	B latosolique	Latosol R. et J. sableux	4,9	20-30	55
			Latosol Brun Rouge orto	4,4	45-75	55
	diabases	B textural	Terra Roxa Estruturada	1,1	45-60	50
		B latosolique	Latosol Roxo	14,0	50-65	60
Pl Occidental	grès à ciment calcaire	B textural	Podzolisés de Lins et Marilia	19,7	5-10	50
	formations détritiques	B latosolique	Latosol Brun Rouge sableux	19,7	15-20	55
Toutes régions	Divers sédiments récents	Peu évolués Hydromorphes	Lithosols	2,2 2,2		

TABLEAU 2.- Données climatiques et bilans hydriques (selon Thornthwaite et Mather, 1955) de quelques localités (A.A. ORTOLANI et N.M. SILVA, 1965 ; A. PAES DE CAMARGO et al., 1974 ; J. SETZER, 1972).

	Lat. S	Long. W	Alt. m	Pluies mm	Oct. Mars °/o	Temp. °C	Bilan	
							Exc. mm	Déf. mm
Plan. Atlantico								
Pindamonhangaba	22°58'	45°25'	570	1300	75	21,4	-	-
Monte Alegre do Sul	22°41'	46°41'	777	1453	73	19,4	-	-
Mococa	21°29'	47°01'	665	1433	84	20,8	-	-
Dépr. Périphérique								
Campinas	22°53'	47°04'	690	1365	81	20,6	405	34
Plat. Occidental								
Ribeirao Preto	21°11'	47°43'	621	1416	86	21,6	459	108
Pindorama	21°10'	48°54'	562	1266	83	21,8	277	81
Araçatuba	21°13'	50°26'	390	1184	81	23,4	91	135
Presidente Prudente	22°07'	51°23'	471	1102	76	22,4	57	38

Le couvert végétal (tableau 3) était constitué par 80 % de forêts. Sur la serra do Mar et le Planalto Atlantico, la forêt dense et humide était presque continue, seules les parties les plus élevées de la Mantiqueira présentaient de la forêt à *Araucaria* et à *Podocarpus*, ou des prairies. Dans la Dépression Périphérique, la forêt dense et humide occupait la partie centrale, avec du "cerrado" au nord et des prairies au . Le Plateau Occidental montrait aussi des surfaces importantes en forêt, passant vers le nord au cerrado du Brésil Central.

TABLEAU 3.- Destruction de la végétation forestière dans l'Etat de Sao Paulo, entre 1854 et 1973 (Cavalli, Guillaumon et Serra, in M.A.M. VITOR, 1975).

	surface (1000 ha)	°/o de la surface de l'Etat	°/o de la surface primitive
Surface primitive en	20.450	81,8	100,0
1854	19.925	79,0	97,4
1886	17.625	70,5	86,2
1907	14.500	58,0	70,9
1920	11.200	44,8	54,8
1935	6.550	26,2	32,0
1952	4.550	18,2	22,2
1962	3.406	13,7	16,7
1973	2.075	8,3	10,1
2000	750	3,0	3,7

LA MISE EN CULTURE ET SES CONSEQUENCES

La destruction de la végétation forestière a été très rapide : 90 % de la surface boisée a disparu en un siècle (tableau 3). La culture du café en a été l'agent principal, mais celle-ci n'occupait toutefois que les sols les plus fertiles et les zones les plus favorables. Comme P. MONBEIG l'a montré (1952), se développaient en même temps l'élevage et les cultures de céréales et de canne à sucre. Les besoins énergétiques, surtout pendant la deuxième guerre mondiale, ont provoqué une accélération du défrichement.

La situation actuelle montre que seulement 11 % de la surface de l'état est encore couverte de forêts ; le cerrado aurait diminué, lui aussi, passant de 10 % à environ 4 %. Le café occupe un peu moins de 3 %, distancé nettement par la culture principale : le maïs (6 %). Dans l'ensemble, les pâturages dominent (tableau 4).

TABLEAU 4.- Surfaces occupées par les cultures, pâturages et forêts, dans l'Etat de Sao Paulo (G. SILVA et al., 1974).

	surface (1000 ha)	°/o du total de l'Etat
Fôrets naturelles	2.232	9,0
Reboisements en Pinus	127	0,5
Reboisements en Eucaluptus	351	1,4
Cerrados	1.059	4,3
Prairies	11.293	45,5
Cultures	5.030	20,3
- dont maïs	1.498	6,0
- dont café	711	2,9

TABLEAU 5.- Valeurs moyennes de l'érosion et du ruissellement pour l'Etat de Sao Paulo, calculée pour une pluviosité annuelle de 1300 mm (J.Q.A. MARQUES et al., 1961).

	pertes en terre T/ha/an	coefficient de ruissellement (en °/o des précipitations)
Forêt	0,004	0,7
Paturage	0,4	0,7
Café	0,9	1,1
Patate douce, maïs et haricot	5-10	2,5- 5,0
Maïs, canne à sucre, soja, pommes de terre	10-20	5,0- 7,5
Coton, riz, arachide	20-30	7,5-15,0
Manioc, haricot	30-40	10,0-15,0

Il est possible de remarquer que les forêts sont mieux conservées sur le Planalto Atlantico. Les pâturages apparaissent partout avec des proportions importantes, surtout sur les sols sablonneux du Plateau Occidental et de la Dépression Périphérique. Les cultures sont plus importantes sur le Plateau Occidental et dans la partie centrale de la Dépression Périphérique. En 1966, N. CASTAGNOLI présentait déjà une répartition semblable.

La conséquence principale de cette déforestation est, sans doute, l'augmentation du ruissellement et de l'érosion. A partir des données des parcelles expérimentales (tableau 5) N. CASTAGNOLI (1966) estime que la perte annuelle serait d'environ 90.000.000 T de terre pour l'ensemble de l'Etat, soit 3,5 T/ha/an. Les moyennes calculées montrent que pour des coefficients de ruissellement analogues, il y a une érosion 100 fois plus forte sur pâturage que sous forêt (tableau 5).

La protection du sol par les cultures est due surtout :

1. à la surface occupée par le couvert végétal (tableau 5) ;
2. aux travaux agricoles plus ou moins intenses (tableau 7) ;
3. aux modifications de la structure des sols et aux teneurs en matière organique (tableaux 7, 8 et 9).

Les cultures permanentes, comme le café, protègent davantage le sol contre l'érosion que les cultures annuelles, pour lesquelles la densité du couvert est généralement plus petite, les travaux agricoles plus intenses, et en conséquence le ruissellement plus actif.

Les différents sols montrent aussi un comportement différent vis-à-vis de l'érosion (tableau 6). Pour des valeurs de pentes comprises entre 9 et 12 %, les sols podzoliques rouges et jaunes, en dépit du ruissellement important, montrent des pertes en terre inférieures aux sols podzolisés de Lins et Marília : ils présentent une perméabilité moins grande, mais sont plus argileux et mieux structurés dans leurs horizons A (tableaux 7 et 8). Les Latosols roxos présentent une porosité et une perméabilité élevées, d'où un ruissellement moins important et des pertes en terre plus petites.

La pente et la longueur des versants jouent également un rôle important. Pour une valeur de pente qui double, l'entraînement de terre triple ; par contre, pour des longueurs de pente deux fois plus grandes, l'érosion n'augmente que de 2,2 fois (J. BERTONI, 1959). Il est possible de supposer, toutes autres conditions égales, que sur le bassin sédimentaire du Parana, où les versants sont beaucoup plus longs et les pentes plus douces, les valeurs théoriques d'érosion sont aussi importantes ou presque, que sur le massif ancien, ceci en tenant compte seulement du rapport entre la pente et la longueur des versants et la valeur de l'érosion.

TABLEAU 6.- Valeurs moyennes de l'érosion sur les principaux types de sols, calculées pour 1300 mm de pluies annuelles (J. BERTONI, 1959 ; J.Q.A. MARQUES et al. 1961).

	surface occupée °/o de l'Etat	pertes en terres T/ha/an	coefficient de ruissellement (en °/o des pluies)
Sol Podzolé de Lins et Marilia	20	20	6
Sol Podzolé Rouge et Jaune	6	18	10
Latosol Roxo	14	10	4

TABLEAU 7.- Influence de la matière organique et du labour sur l'érosion, moyennes pour l'Etat établies pour 1300 mm de pluies annuelles et sous culture de maïs (J.Q.A. MARQUES et al., 1961).

	pertes en terre T/ha/an	coefficient de ruissellement (en °/o des pluies)
paille + engrais verts	15	7
paille + engrais verts + restes de culture	7	4
mulch + engrais verts	7	2,5
paille + fumier	4	2,5
deux labours par an	14,2	5,9
un labour	12	5,7
sous solage	8,2	5

La mise en culture a une influence très nette sur certaines propriétés des sols. Déjà P. VAGELER (1936) avait montré des pertes de 75 % en éléments nutritifs sur la "terra roxa" après 22 ans de culture du café. Les sols podzolisés de Lins et Marilia montrent une diminution en matière organique qui peut atteindre 90 % sur 50 ans de culture du café. Cette diminution du pourcentage en carbone total apparaît sur le tableau 8.

Le fumier, augmentant les teneurs en matière organique des sols, amène une diminution sensible du ruissellement et de l'érosion (tableaux 7 et 8). Cette action est indirecte : les sols à teneur en carbone total élevé présentent une structuration plus forte, avec des agrégats plus grands et plus stables en présence d'eau (tableaux 8 et 9).

Les travaux avec labours intenses et profonds diminuent le taux d'agrégation et le diamètre des agrégats (tableau 8). La mise en culture diminue sensiblement la stabilité de la structure, par rapport aux sols sous forêt ou sous pâturage (tableau 9). L'érosion devient plus importante, en dépit des valeurs assez proches du ruissellement. La sensibilité des sols à l'érosion est donc en rapport direct avec l'état d'agrégation, défini par le diamètre des agrégats et par leur stabilité à l'eau.

TABLEAU 8.- Taille des agrégats du sol et teneur en carbone selon les traitements appliqués.

Types de sol	Traitements	°/o d'agrégats			C total °/o
		> 2 mm	2-0,2 mm	médiane	
Latosol Roxo	Boisement ^x	35	54	1,25	2,65
	Fumier/maïs ^x	28	56	0,98	2,44
	Calcaire/maïs ^x	23	57	0,79	2,06
	Témoin/maïs ^x	20	57	0,70	1,98
	Houe/maïs ^{xx}	32	50	0,95	-
	un labour ^{xx}	26	50	0,70	-
	deux labours ^{xx}	21	51	0,54	-
Podzolique Rouge et jaune	Eucalyptus ^{xxx}	63	28	2,55	2,42
	verger ^{xxx}	59	30	2,35	2,55
	maïs ^{xxx}	55	32	2,25	1,52

x - Latosol Roxo de Campinas (J.P. QUEIROZ NETO et F. GROHMANN, 1963).

xx - Latosol Roxo de Ribeirao Preto (F. GROHMANN et H.V. ARRUDA, 1961).

xxx - Podzolique Rouge et Jaune de Monte Alegre (J.P. QUEIROZ NETO et al., 1966).

TABLEAU 9.- Agregats stables à l'eau sous différents types de végétation (F. GROHMANN et A. CONAGIN, 1960).

Types de sol	Types de végétation	°/o d'agrégats	
		> 2 mm	2 - 0,2 mm
Latosol Roxo	Forêt	52	36
	Culture annuelle	26	48
Podzolique Rouge et Jaune	Pâturage	6	55
	Culture annuelle	1,2	50,5
Podzolisé de Lins et Marilia	Forêt	1,6	70

LES PROCESSUS D'ÉROSION

Les observations et les recherches montrent donc que les processus et l'intensité de l'érosion sont différents selon la région (sols et valeurs des pentes), le type de végétation (nature, type et mode de culture), l'intensité et l'époque des pluies et les travaux agricoles. Les recherches entreprises en collaboration par le Centre de Géomorphologie du CNRS de Caen (France) et le Laboratoire de Pédologie et Sédimentologie de l'Instituto de Geografia da Universidade de Sao Paulo, ainsi qu'un certain nombre de recherches géomorphologiques à Sao Paulo même, montrent certains aspects des processus d'érosion.

Sur le relief plus accidenté du massif ancien et sur les sols à horizon B textural, le ruissellement est toujours important (tableau 5). Lors des pluies, l'horizon superficiel s'engorge assez vite et l'eau ruisselle en surface, comme une véritable lame liquide. Les averses provoquent des crues très rapides dans les cours d'eau, qui débordent et noient les plaines. Le phénomène est parfois très rapide et une heure après, tout retourne à l'état normal.

Quand les versants sont couverts de pâturages, cette érosion en nappe laisse peu de traces, mais les eaux sont toujours un peu chargées de particules solides. La structure des sols à agrégats grossiers et assez stables à l'eau (tableaux 8 et 9, J.P. QUEIROZ NETO, J.B. OLIVEIRA et F. GROHMANN, 1966) ainsi que le système de racines très dense des graminées, sont probablement responsables de ce comportement.

Sous culture, les signes d'érosion deviennent importants, avec formation de petites rigoles. Une fois atteint l'horizon B, plus argileux et mieux structuré, les rigoles s'élargissent et, si le phénomène atteint une certaine intensité, ils se forment de véritables "bad-lands" sur les 50 à 60 premiers centimètres correspondant à l'horizon A. Après les pluies, nous retrouvons une sédimentation importante sur les fonds de vallée.

Au contraire, les sols à horizon B latosolique, sous culture, sont attaqués d'emblée par le ruissellement et permettent un ravinement important lors des pluies intenses.

Dans les deux cas, ces phénomènes sont toujours plus importants au début de la saison des pluies, quand les sols viennent d'être labourés.

J.V. CHIARINI, P.L. DONZELLI et J.L. BARBIERI (1974) ont signalé que l'érosion en nappe est importante sur le massif ancien, tandis que les ravinements sont occasionnels.

Des traces de mouvements en masse, niches d'arrachement, solifluxions, coulées de boue, etc., sont fréquentes en relation avec de nombreuses têtes de source plus ou moins temporaires. Ces mouvements affectent l'ensemble du sol et sont assez fréquents sur les ruptures de pente convexes.

Dans le bassin sédimentaire du Parana, les processus sont assez différents. Ils ont été décrits par J.P. QUEIROZ NETO et A. CHRISTOFOLETTI (1968) pour les latosols sablonneux sous cerrado. Dès que la pluie dépasse la capacité d'infiltration du sol, ou quand celui-ci est déjà saturé, même sur des pentes faibles, le ruissellement débute. Il prend alors l'allure générale d'un ruissellement en nappes, mais composé en réalité de multiples petits filets d'eau anastomosés entre les touffes de végétation. Vers le bas des versants, la quantité d'eau devient importante et l'écoulement peut se concentrer, donnant lieu à des ravinements.

Ce mécanisme peut être observé sous culture. La distribution et la densité de la végétation est assez analogue à celle du cerrado et l'écoulement des eaux pluviales se fait de manière semblable.

C'est au début de la saison des pluies que les ravinements deviennent spectaculaires. Les sols sont à nu, ils viennent d'être labourés et, lors des pluies abondantes, les rigoles se forment et peuvent prendre de l'ampleur. Sur les B texturaux, l'horizon argilique peut résister et les rigoles s'élargissent. Sur les sols à horizon B latosolique, il y a approfondissement et début de formation des "voçorocas" (lavakas). L'évolution de celles-ci est due essentiellement au ruissellement en surface, qui est responsable du recul assez rapide des têtes de ravins.

Sur pâturages, l'érosion en nappes est aussi importante, les bas de pente montrent une accumulation sablonneuse qui noie en partie les graminées.

Ici nous ne retrouvons pas ou presque pas les signes de mouvements en masse ; des niches d'arrachement sont visibles parfois aux têtes de source.

Comme il a été remarqué par ailleurs (J.P. QUEIROZ NETO et al., 1973 ; J.P. COUTARD et al., 1975), les ravinements sont importants sur les formations sédimentaires du bassin du Parana, à côté d'une érosion en nappes non négligeable. J.V. CHIARINI et al. (1974) ont aussi insisté sur l'importance de ces ravinements.

De façon générale, sur le massif ancien, les pluies très intenses et répétées peuvent provoquer des processus intenses d'érosion (H.R. STERNBERG, 1949). Celle-ci prend alors la forme de coulées de boue, entraînant des blocs de plus d' 1m^3 jusqu'au fond des vallées. La destruction du couvert végétal, la mise en culture ou en pâturage, est un facteur important pour la rupture d'équilibre des versants. Lors des pluies plus intenses, les racines des plantes cultivées ou des graminées, moins profondes, n'offrent pas la même résistance lorsque, sur pentes plus fortes, les sols deviennent saturés.

Ces mouvements en masse sont occasionnels dans le bassin sédimentaire, même lors de pluies très intenses, comme celles observées à Marilia en 1972 (J. PELLERIN, et al., 1975). Le ruissellement devient très intense, enlevant parfois l'ensemble de l'horizon A, et laissant de nombreuses rigoles et même des ravins.

Par contre, sur des nombreuses pentes fortes et, par exemple, aussi bien sur les escarpements de la Serra do Mar que sur la cuesta de Botucatu, les mouvements en masse du sol deviennent importants : éboulements, solifluctions, glissements, etc., comme il a été signalé dans la Serra de Santana (J.P. QUEIROZ NETO, 1959) ou à Caraguatatuba où les conséquences ont été catastrophiques (O. CRUZ, 1974).

Nous assistons, ainsi, à une reprise d'érosion sur l'ensemble de l'Etat de Sao Paulo, après la disparition de la forêt. Sur une très grande partie, surtout sur les sols plus sablonneux et sur le relief moins mouvementé du bassin sédimentaire, les versants subissent une érosion par ruissellement concentré, qui entaille profondément et permet un recul assez rapide des têtes de source. Les voçorocas sont fréquents. Le matériel plus grossier, des sables, s'accumulent dans les fonds.

Le changement du couvert végétal a été capable de rompre l'équilibre antérieur. Sans aucune modification sensible des précipitations, cette reprise d'érosion présente des conséquences semblables à celles dues à un changement climatique, avec concentration des pluies, saisons contrastées et couvert végétal moins dense.

Sur le massif ancien il faut tenir compte de la nature des sols et du relief. Les sols à horizon B latosolique, homogènes et profonds, occupent normalement des zones à relief plus doux, et montrent une évolution semblable à celle décrite précédemment.

Sur un relief plus mouvementé avec des sols à horizon B textural, cette reprise d'érosion a aussi un résultat comparable à un changement climatique. Sur les photos aériennes il est possible de voir les cicatrices anciennes de glissements, des niches d'arrachements, etc., reprises parfois maintenant. Il est fort probable que sur ces sols plus argileux et sur ces pentes plus raides, la concentration des pluies due à un changement climatique aurait entraîné plutôt des mouvements de masse, tels ceux observés aujourd'hui.

LA CONSERVATION DES SOLS

Dans les années 40, le Secrétariat à l'Agriculture a créé un Service de Conservation des Sols et, à l'Instituto Agronomico de Campinas, des recherches systématiques sur ces problèmes ont été entreprises. Aujourd'hui tous les conseils aux agriculteurs pour le contrôle de l'érosion sont basés sur l'expérimentation.

Deux types d'érosion, seulement, sont pris en considération : érosion en nappe et érosion par ruissellement concentré. Un certain nombre de facteurs sont pris en considération pour l'établissement des projets de contrôle de l'érosion :

- 1) pluviométrie annuelle et distribution saisonnière ;
- 2) longueur des versants et valeur de la pente ;
- 3) nature des sols et texture de l'horizon de surface ;
- 4) type de culture (permanente, temporaire, densité du couvert, etc.).

Le contrôle de l'érosion a pour but la diminution de l'action directe des gouttes de pluie (augmentation du couvert végétal, tableaux 5 et 7), ainsi que l'importance du ruissellement. Celui-ci est obtenu en essayant de couper les versants par les cultures en courbes de niveau, cultures alternantes ou terrassement. Ainsi, il semble possible de diminuer la quantité d'eau qui ruisselle ainsi que son énergie, en diminuant la pente.

Cependant, sur le bassin sédimentaire du Parana, il a été possible de remarquer qu'à l'occasion des orages et même sur des pentes assez faibles, les cultures en courbes de niveau ne résistent pas au ruissellement qui s'ensuit.

Comme il a été montré dans ce qui précède, à l'érosion due au ruissellement superficiel il faut ajouter les mouvements en masse et glissements du massif ancien. Les Services de Conservation des sols ne tiennent pas compte de ces phénomènes.

J.V. CHIARINI, P.L. DONZELLI et J.L. BARBIERI (1974) ont défini l'aptitude agricole des terres de l'Etat de Sao Paulo. Pour le massif ancien, ils ont recommandé le reboisement sur les régions à fortes pentes ou l'établissement de pâturages sur les terres plus favorables. Il s'agit de trouver les moyens de maintenir la stabilité des versants et d'empêcher les glissements, et il est fort probable que dans la plupart des régions, seule la forêt dense soit capable d'assurer cette protection.

Sur l'ensemble de l'Etat, il faudrait aussi tenir compte des pluies exceptionnelles, qui semblent se produire environ une fois chaque décade.

BIBLIOGRAPHIE

- AB'SABER, A.N. (1956) - A terra paulista. *Bol. Paul. Geogr.*, v. 23, pp. 5-38.
- BERTONI, J. (1959) - O espaçamento dos terraços em culturas anuais, determinado em função das perdas por erosão. *Bragantia*, v. 18, pp. 113-140.
- CASTAGNOLI, N. (1966) - Perdas anuais provocadas pela erosão no estado de Sao Paulo. *Anais do I Cong. Panamer. Cons. Solo*, Sao Paulo, pp. 147-153.
- CHIARINI, J.V. ; DONZELLI, P.L. et BARBIERI, J.L. (1974) - Aptidão das terras do Estado de Sao Paulo. In "Zoneamento agrícola do Estado de Sao Paulo", supervisor F.C. Verdade, Sao Paulo, pp. 89-97.
- COMISSAO DE SOLOS (1960) - Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de Sao Paulo. *Min. Agric., CNEPA*, Rio de Janeiro, n° 12, 634 p.
- COUTARD, J.P. ; DIAS FERREIRA, R.P. ; PELLERIN, J. et QUEIROZ NETO, J.P. (1975) - Etude préliminaire du Quaternaire de la région de Sao Pedro. *Symposium du Quaternaire, Curitiba*.

- CRUZ, O. (1974) - A serra do Mar e o litoral na área de Caraguatatuba. Sao Paulo. *Un. S. Paulo, Inst. Geogr., série Teses e Monografias*, nº 11, 181 p.
- GROHMANN, F. et ARRUDA, H.V. (1961) - Influência do preparo do solo sobre a estrutura da terra roxa legítima. *Bragantia*, v. 20, pp. 1203-1209.
- GROHMANN, F. et CONAGIN, A. (1960) - Técnica para o estudo da estabilidade de agregados do solo. *Bragantia*, v. 20, pp. 1143-1182.
- MARQUES, J.Q.A., BERTONI, J. et BARRETO, G.B. (1961) - Perdas por erosão no Estado de Sao Paulo. *Bragantia*, v. 19, pp. 329-343.
- MONBEIG, P. (1952) - Pionniers et planteurs de Sao Paulo. Paris, 376 p.
- ORTOLANI, A.A. et SILVA, N.M. (1965) - Clima das zonas algodoeiras do Brasil. In "Cultura e educação do algodoeiro", coord. O.S. Neves, *Sao Paulo, Inst. Brasil Potassa*, pp. 235-253.
- PAES DE CAMARGO, A. ; PINTO, H.S. ; BRUNINI, O. ; PEDRO Jr., M.J. ; ORTOLANI, A.A., et ALFONSI, R.R. (1974) - Clima do Estado de Sao Paulo. In "Zoneamento agrícola do Estado de Sao Paulo", supervisor F.C. Verdade, Sao Paulo, pp. 51-87.
- PELLERIN, J. ; QUEIROZ NETO, J.P. et HERZ, R. (1975) - Formations superficielles et érosions des sols dans la région de Marília (Sao Paulo) lors des pluies exceptionnelles des 2 au 4 octobre 1972. *Symposium du Quaternaire, Curitiba*.
- QUEIROZ NETO, J.P. (1959) - Notas preliminares sobre a geologia e estrutura da Serra de Santana. *Bol. Soc. Bras. Geol.*, v.9, pp. 13-23.
- QUEIROZ NETO, J.P. (1968) - Os solos. In "Brasil, a terra e o homem". vol. I : As bases físicas, coord. A. de Azevedo, Sao Paulo, 2 a ed., pp. 463-514.
- QUEIROZ NETO, J.P. (1969) - Interpretação dos solos da Serra de Santana para fins de classificação. Thèse de Doctorat, Un. S. Paulo, Esc. Sup. Agr. Luiz de Queiroz, 235 p.
- QUEIROZ NETO, J.P. (1975) - Pedogênese no Planalto Atlântico. Thèse de Livre Doctencia, Un. Sao Paulo, Fac. Fil. Let. Ci. Hum., Dep. Géogr. 280 p.
- QUEIROZ NETO, J.P. ; CARVALHO, A. ; JOURNAUX, A. et PELLERIN, J. (1973) - Cronologia da alteração dos solos de Marília. *USP, Inst. Geogr., Bol. Pedol. e Sediment.*, 4, 35 p.
- QUEIROZ NETO, J.P. et CHRISTOFOLETTI, A. (1968) - Ação do escoamento superficial das águas pluviais na Serra de Santana. *Bol. Paul. Geogr.*, v. 45, pp. 59-71.
- QUEIROZ NETO, J.P. et GROHMANN, F. (1963) - Estado de agregação da terra roxa (série Chapadão) num ensaio de adubação de milho. *Bragantia*, v. 22, pp. 635-646.
- QUEIROZ NETO, J.P. ; OLIVEIRA, J.B. et GROHMANN, F. (1966) - Características da estrutura de um Podzólico Vermelho Amarelo da Estação Experimental de Monte Alegre do sul., *Bragantia*, v. 25, pp. 117-128.
- SETZER, J. (1972) - Atlas pluviométrico do estado de Sao Paulo, médias mensais de chuva, período 1941-1971. Sao Paulo, *Secr. Serv. Obr. Publ. D.A.E.E.*
- SILVA, G.L.S.P. ; GIMENES, A.C.F. ; GATTI, E.U. ; JUNQUEIRA, J.R.C.M. ; GALVAO, C.A. ; ROMAO, D.A. ; FALCAO, M.J.M. et SENDIN, P.V. (1974) - Distribuição espacial da agricultura no Estado de Sao Paulo. In "Zoneamento agrícola do Estado de Sao Paulo", supervisor F.C. Verdade, Sao Paulo, pp. 11-50.

- STERNBERG, H.R. (1949) - Enchentes e movimentos de massa do solo no vale do Paraíba em dezembro de 1948 - Influência da exploração destrutiva das terras. *Rev. Bras. Geogr.*, v. 11, pp. 223-261.
- TARIFA, J.R. (1974) - Sucessão e tipos de tempo e variação do balanço hídrico no extremo oeste paulista. *Sao Paulo, Un. S. Paulo, Inst. Geogr. série Teses e Monografias*, nº 8, 71 p.
- VAGELER, P. (1936) - Secção de Solos. Relatório de 1935. *Campinas, Inst. Agron.*
- VITOR, M.A.M. (1975) - Cem anos de devastação. *Suplemento do Centenario, O Estado de Sao Paulo*, nº 13, 6 p.

DISCUSSION

I. Douglas : Vous avez montré un bon exemple de l'érosion d'une berge sans qu'il y ait ravinement ou grande perte de matériaux sur les pentes de la vallée. Est-ce que cette érosion est associée avec une augmentation de débit – soit par le développement du réseau fluvial, soit par l'augmentation du ruissellement en surface ou de l'écoulement sous le sol – ou bien l'érosion a-t-elle été déclenchée par une diminution de la végétation des berges ou encore par un changement de lit de certain chenal dû à des travaux de construction ?

J.P. de Queiroz Neto : L'érosion des berges semble toujours associée à une augmentation du débit sur le massif ancien. Cette augmentation du débit est sans doute la conséquence de l'augmentation du ruissellement (qui est deux fois à deux fois et demi plus élevé que sous la forêt dense).

M. Brochu : Est-il possible de prévoir les grands décollements de la Serra do Mar sous couvert forestier ?

J.P. de Queiroz Neto : Il est difficile de prévoir exactement les grands décollements, mais il est possible de prévoir l'endroit où ils peuvent se produire, substratum faillé, diaclasé, etc. Souvent les grands travaux routiers peuvent rompre l'équilibre des versants. Il s'agirait de tenir compte des cas signalés antérieurement et de faire exécuter les travaux en tenant compte des conditions locales.

Sur le Caraguatatuz et sur toute la Serra do Mar, l'évolution de grands versants (jusqu'à 800 m de dénivellation) se fait par mouvement en masse dès que la saturation en eau du matériel est dépassée. Evidemment, les grandes routes aident ces phénomènes ou peuvent même être à l'origine des grands glissements, cas classique de l'autoroute Sao Paulo-Santos.

P. Michel : Quels sont les rapports entre glissements et ravinements ? Ces formes dépendent-elles de la nature des terrains, de la pente des versants ou du milieu bioclimatique ? Les trouve-t-on ensemble dans une même région ?

J.P. de Queiroz Neto : Glissements et ravinements dépendent en premier lieu d'un facteur, le changement du milieu bio-climatique. Leur occurrence dépend de la nature des sols et de la valeur des pentes : sur le massif ancien, sols un peu plus argileux et pentes à convexité marquée au bas des versants, se produisent surtout les glissements ; dans le bassin sédimentaire du Parana, sols plus sablonneux et plus épais et pentes plus douces, les ravinements dominent.

J. Dresch : fait remarquer que les glissements et ravinements sont très souvent associés, notamment dans les lavakas à Madagascar et les voçorocas dans le Miñas Gerais, comme aussi dans d'autres zones climatiques : le glissement sur la convexité du versant détermine le creusement d'un ravin en aval. Les types de culture interviennent pour accélérer ou ralentir le processus : les cultures arbustives (café, thé) sont moins nocives que des cultures moins couvrantes.

J.P. de Queiroz Neto : Il faut tenir compte de l'épaisseur du sol et de la roche altérée. Sur gneiss et granites, de façon générale les roches de métamorphisme important, les glissements seuls sont dominants ; sur schistes et surtout sur sols à horizon B latosolique, les ravinements accompagnent les glissements. Sur le mode d'évolution des ravinements, il paraît qu'ils seraient liés surtout au ruissellement concentré.