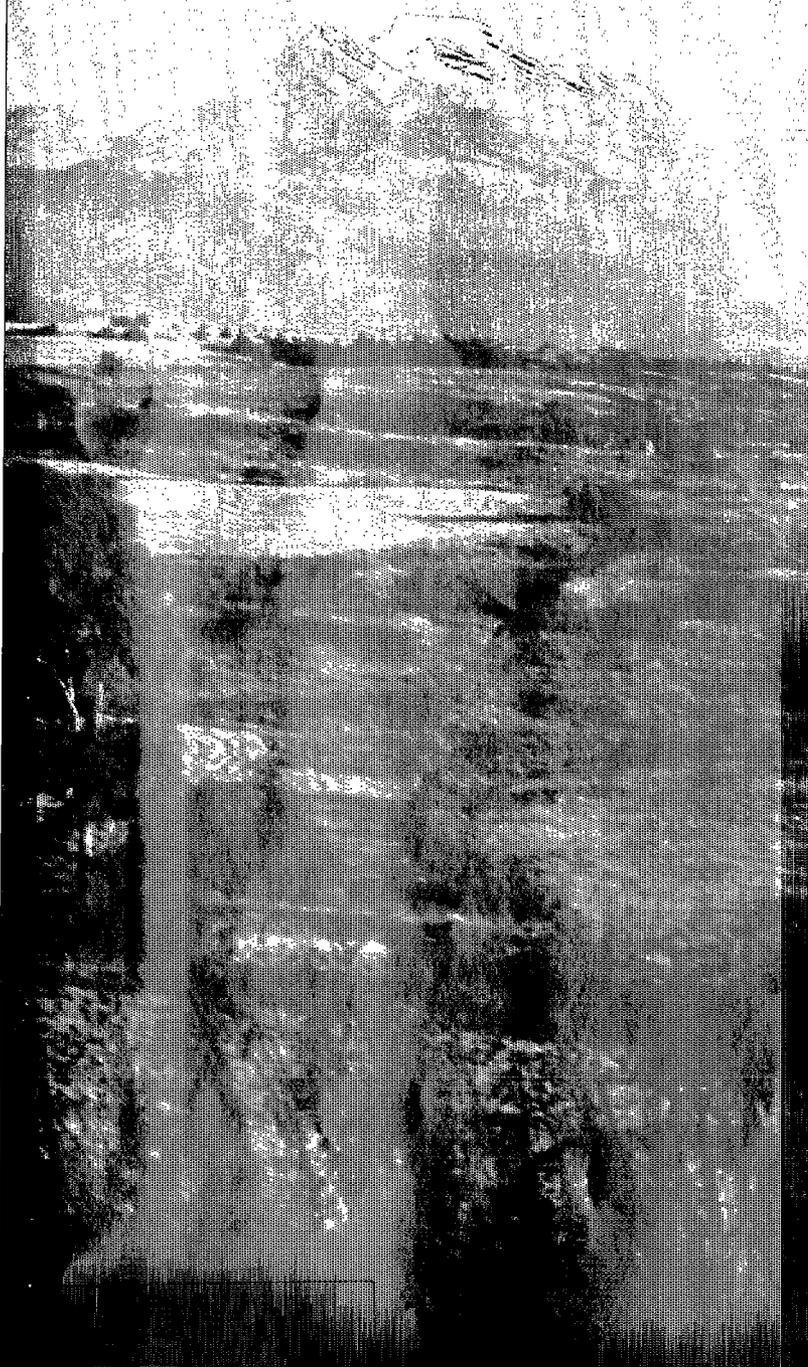


LES "TEPETATES"

RECUPERATION ET MISE EN VALEUR DES TERRES VOLCANIQUES
INDUREES AU MEXIQUE



Le Mexique est doté d'un large éventail de régions naturelles et de climats, notamment désertique, semi-aride, tempéré, méditerranéen ou tropical. Mais ce qui caractérise le Mexique est sans doute son relief élevé et son volcanisme. Pays de hauts plateaux, il est traversé par un axe néovolcanique Est-Ouest, de l'Atlantique au Pacifique. Le Pic d'Orizaba, le plus haut sommet du Mexique (5700 m), le Popocateptl et l'Ixtaccihuatl, gardiens de la vallée de l'Anahuac, le Colima, en éruption permanente, ne sont que les plus connus des centaines de volcans qui jalonnent cet axe. Versants ravinés, champs de lave, plateaux et bassins endoréiques, pentes volcaniques, marquent la Meseta central. Les cours d'eau sont l'exception et n'irriguent que quelques îlots dans cet archipel de la sécheresse. Les bonnes terres sont rares et rassemblées près des volcans. Le Mexique ne cultive guère plus de 10% de son territoire et occupe 25% de sa population active dans l'agriculture. Les besoins d'une population qui ne cesse de croître contraignent le gouvernement mexicain à rechercher des solutions pour accroître ses surfaces cultivables du pays.

Fonds Documentaire ORSTOM



010018651

Fonds Documentaire ORSTOM

Cote : Bx18651 13 Ex : 1

LA CIVILISATION DU MAÏS

A la saison des pluies, le *campesino* mexicain enfonce dans le sol sa *coa*, instrument millénaire qui permet, d'un mouvement circulaire du poignet, l'ouverture d'un orifice de 15 cm pour y glisser quelques grains de maïs. Le trou est ensuite refermé d'un mouvement du pied. Culture ancestrale, le maïs se cultive indéfiniment sur le même sol. C'est la céréale de base de la culture mexicaine.

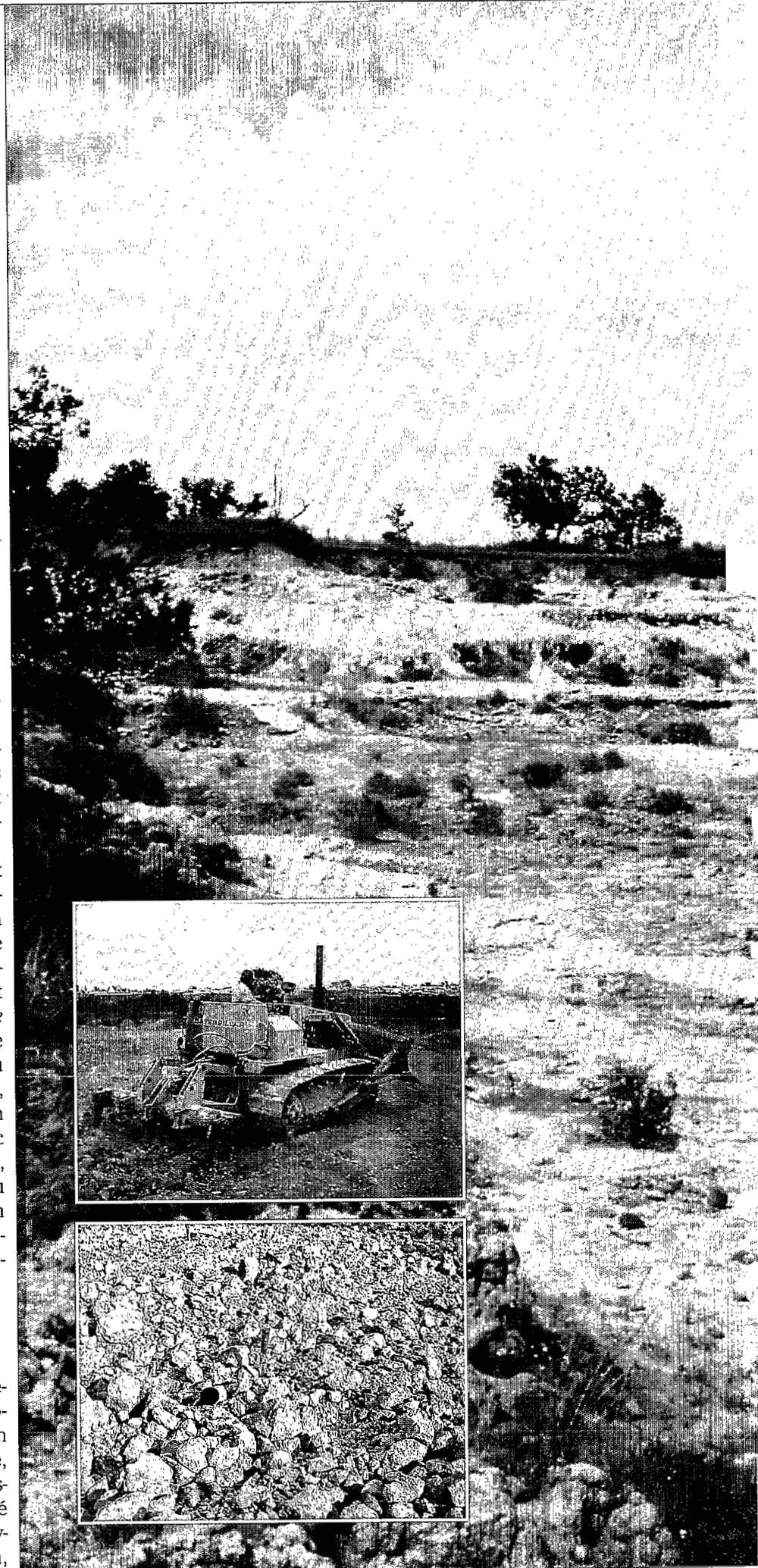
Il y a 2000 ans, les terres, situées sur l'axe volcanique, qui entourent les lacs de Texcoco et de Chalco (actuelle banlieue de la mégapole Mexico) étaient cultivées par les prédécesseurs des Aztèques. C'étaient pour la plupart de bonnes terres. On suppose que leur intense utilisation a entraîné l'érosion des terres cultivables, ne laissant en surface qu'une couche de sol induré.

Les indigènes appellent ce sol induré *tepetate*, ce qui en langue nahuatl signifie: tapis dur; c'est un terme générique employé par les paysans pour désigner tous les sols durs, c'est-à-dire qui ne peuvent être travaillés avec la *coa*, le bâton fousseur.

Ces formations volcaniques indurées et dénudées, sensibles à l'érosion, se rencontrent au Mexique mais aussi dans la plupart des pays d'Amérique centrale et de la Cordillère des Andes. Elles suivent les massifs volcaniques qui bordent l'Amérique. Elles s'appellent *tepetate* dans toute la Mésoamérique du fait de l'influence de la langue nahuatl. Au Nicaragua, au Salvador et au Honduras, le nom se déforme en *talpetate*. Si en Amérique du Sud le nom change, avec la prédominance de la langue Quechua, c'est toujours la traduction de tapis ou de couche dure: *hardpan* au Pérou et en Colombie, *cangahua* en Equateur, *cangagua* au Chili qui emploie aussi les appellations de *tosca* et de *moromoro*.

QUE SONT LES "TEPETATES"

Les *tepetates* se rencontrent généralement dans les régions aux climats sub-humides ou sub-arides, où la saison sèche est bien marquée. En pédologie, le *tepetate* est une couche dure préexistante dans un sol volcanique composé d'une succession de dépôts d'origine pyroclastique. Cette couche, ou horizon,





apparaît à l'air libre après érosion des horizons superficiels. C'est un horizon massif, peu poreux, ayant une faible capacité de rétention en eau. Le degré d'induration, très variable, dépend de la nature du ciment et du matériau originel: les duripans restent durs à l'état humide alors que les fragipans, résistants à l'état sec, sont friables à l'état humide. Ce type de sol ne recouvre que 1,5% de la surface du territoire mexicain mais représente 30 700 km², soit 27% de la superficie de l'axe volcanique mexicain dans la région la plus fertile et la plus peuplée. La proportion est sensiblement la même en Equateur où la *cangahua* représente 20% du couloir interandin volcanique. Depuis quelques années, ces sols volcaniques indurés font l'objet d'une attention particulière. Ils sont exploités dans l'industrie du bâtiment, mais aussi dans l'agriculture si un remodelage complet est effectué avant leur mise en culture. Soucieux d'alimenter les villes et de distribuer des terres aux paysans, les gouvernements du Mexique et des pays d'Amérique latine concernés tentent d'accroître les surfaces cultivables. Or, où trouver de nouvelles terres sinon sur les étendues de *tepetate*?

Ce champ de recherche intéresse l'Orstom depuis de nombreuses années: étude du *talpetate* au Nicaragua, mesures d'érosion et caractéristiques de la *cangahua* en Equateur. Au Mexique, il constitue l'un des thèmes du programme VOLCAL (cf. encadré) du département "Terre-Océan-Atmosphère", en liaison avec le département "Société-Urbanisation-Développement" pour les problèmes socio-économiques inhérents à la réhabilitation des zones de *tepetate* (programme en cours de réalisation avec des partenaires Mexicains du Centro de Desarrollo rural du Colegio de Postgraduados). Cette recherche a donné lieu à la signature d'un contrat entre la CEE et l'Orstom qui associe l'Université de Giessen (Allemagne) comme partenaire européen, le Colegio de Postgraduados de Montecillo, le Gouvernement et l'Université de Tlax-

les couches indurées (tepetate) apparaissent après décapage du sol sus-jacent
Photo : Claude Zebrowski

Le sous-solage est réalisé au moyen de puissants bulldozers, défonçant le sol jusqu'à 80 cm de profondeur - Photo : Claude Zebrowski

Les blocs de tepetate défoncé, après un sous-solage et un labour, sont encore peu adaptés aux premiers semis - Photo : Claude Zebrowski

cala comme partenaires mexicains.

LES "TEPETATES" ONT UNE HISTOIRE

La plus impressionnante des civilisations classiques américaines est certainement celle de Teotihuacan. Age d'or mexicain, période de splendeur où les populations, enfin sédentarisées se multiplient. Maïs, haricots, courges assurent en grande partie leur subsistance. Les villages naissent autour du bassin de l'Anahuac où se trouvent des terres volcaniques très fertiles. Sur les pentes des volcans tout proches, apparaissent les *tepetates*. On sait, par l'archéologie, que les indigènes pratiquaient la culture en terrasses, ce qui leur permettait de retenir la bonne terre et l'eau de ruissellement. La reconstitution de l'histoire agraire de cette région permettrait de comprendre pourquoi elle est aujourd'hui si érodée.

MAUVAISE EXPLOITATION OU ABANDON DES TERRES ?

Les hypothèses sont nombreuses et controversées mais toutes riches d'enseignements. On propose comme explication une mauvaise exploitation des terres: les indigènes, pour des raisons religieuses et cosmiques, auraient cultivé leurs terres en suivant des axes sacrés. D'autres rendent responsables de cette érosion les colons espagnols qui auraient modifié les pratiques agraires par l'introduction d'un nouvel outillage, l'araire par exemple. L'abandon des terres peut aussi expliquer la présence de ces zones érodées. Une parcelle délaissée par son cultivateur, sans végétation naturelle, où rien ne freine le ruissellement de l'eau, est condamnée à l'érosion. Les agriculteurs pré-hispaniques étaient des cultivateurs itinérants qui travaillaient leurs terres jusqu'à l'épuisement total. Les parcelles devenues improductives étaient alors abandonnées au profit de nouvelles terres. Mais cet abandon peut également être expliqué par la diminution rapide de la population indigène à l'arrivée des Espagnols. Pour certains historiens la perte de souveraineté des Tlaxcalas ou des Aztèques, en perpétuel conflit, aurait engendré des déplacements de populations et, par là, expliquerait l'abandon des terres de Tlaxcala pour celles plus fertiles de la vallée de Puebla.

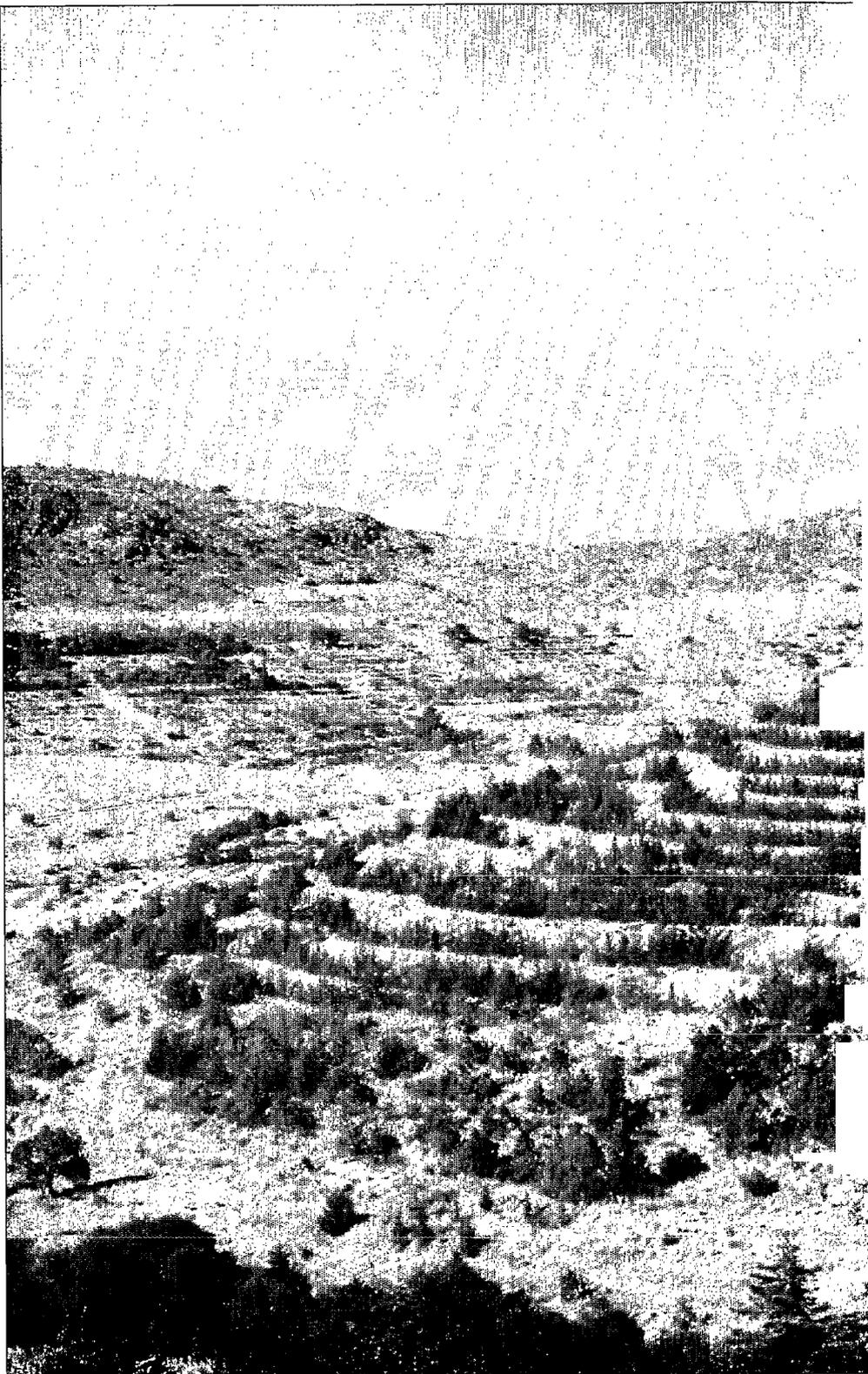
Pour d'autres enfin, il faut rechercher les causes de cette érosion dans les effets des changements climatiques. Entre le XII^{ème} et le XVI^{ème} siècle on note, en effet, des variations de températures suffisantes pour bouleverser les écosystèmes en équi-

LA RECUPERATION

Elle s'est réalisée sous la pression d'une démographie croissante. Depuis une trentaine d'années, les paysans travaillent à la récupération des *tepetates*, à l'aide de pics, de barres à mine, voire de dynamite. Plus récemment, au début des années 70, le gouvernement mexicain a soutenu cet effort en lançant des programmes de recherche mais surtout en finançant, par l'intermédiaire d'organismes semi-publics, de vastes projets de récupération de terres érodées: dans un premier temps, par le reboisement, puis par une remise en culture. La récupération du *tepetate* en terres cultivables s'effectue par la stabilisation des terres. Un bulldozer dessine de larges terrasses, cassant les pentes, comblant les éboulements. Un tracteur à chenilles procède ensuite à un sous-solage qui défonce le *tepetate* sur une profondeur de 60 à 80 cm. Le terrain est prêt à être labouré sur 30 cm pour retourner la terre. Il ne reste plus qu'à planter des agaves de type *pulquero* sur la nouvelle courbe de niveau afin de retenir la terre et canaliser les eaux de ruissellement. La mise en culture des terrasses ainsi préparées (maïs, blé, haricot)

Mines contre terres agricoles

Durant la colonie espagnole (1521-1810) mais déjà dans les temps préhistoriques et jusqu'à nos jours, le *tepetate* a surtout servi de matériel de construction. Exploité à ciel ouvert, il est transformé en sable. Le *tepetate* peut aussi être débité en cubes de 50 cm de côté, et être utilisé comme pierre pour la construction des maisons. On trouve ainsi d'importantes mines de *tepetate* autour de Mexico, qui a été édifée en grande partie avec ce matériau. Il faut espérer que, grâce aux possibilités de leur récupération, les *tepetates* soient aujourd'hui utilisés comme terres agricoles et non comme matériau de construction. Les prix des denrées agricoles étant soumis aux prix du marché international ou à celui fixé par le gouvernement, il existe en effet le danger de voir les propriétaires fonciers accroître la superficie de leurs terrains en achetant des sols de *tepetate* à bas prix sous le prétexte de les réhabiliter, pour ensuite les utiliser comme mines de matériaux.



La mise en terrasses des versants érodés a été réalisée dès 1972 à des fins de reboisement - Photo : Claude Zebrowski

ne donne des résultats tangibles qu'après un certain nombre d'années. Seules une très bonne préparation du sol ainsi qu'une fumure riche en azote et phosphore permettent des résultats rapides. La rentabilité de ces opérations reste encore à démontrer. Mais les paysans sont de plus en plus intéressés par la réhabilitation de ces *tepetates* et n'hésitent plus à dépenser des sommes importantes pour augmenter la superficie de leurs terres.

UN SYMPOSIUM INTERNATIONAL

Du 20 au 25 octobre 1991 se tiendra un Symposium International sur les sols volcaniques indurés, pour multiplier les contacts entre spécialistes, mettre en commun les connaissances acquises sur la genèse de ces sols, leur réhabilitation ainsi que sur les problèmes socio-économiques. C'est un thème qui intéresse les pays d'Amérique latine situés sur la ceinture

**Le programme Volcal
"Altération météorique
de matériaux d'origine
volcanique en sols"**

Les recherches ont pour but de déterminer l'impact du volcanisme récent sur les propriétés et le fonctionnement des sols et sur leur utilisation.

L'altération des matériaux pyroclastiques, produits des explosions volcaniques, forme très vite des sols spécifiques, les andosols, dont les propriétés sont originales; leur fertilité souvent élevée attire une forte concentration de population autour des volcans en activité, notamment en Amérique Latine, dans l'Océan Pacifique, l'Océan Indien et les Caraïbes.

L'objet du programme est l'étude de la formation et de l'évolution des sols volcaniques, selon des cli-mo-topo-séquences, c'est-à-dire suivant la répartition du climat et la durée d'altération. Ceci s'est réalisé ou se poursuit en Argentine, Chili, Equateur, Mexique, Antilles, Cameroun, Madagascar, La Réunion, Vanuatu, Polynésie, etc.

Un caractère particulier de certains sols volcaniques, formés en climat sub-aride, est l'induration de certains horizons, particulièrement en Amérique Latine. L'impact de cet horizon sur l'érosion des sols et la désertification est tel, que leur étude a été entreprise et se poursuit actuellement.

Enfin, le programme Volcal s'intéresse à l'étude des constituants minéraux paracrystallins, les "allophanes", et des complexes organominéraux, en relation avec la fertilité et la nutrition des plantes cultivées (dynamique du phosphore, du potassium, de la silice etc.).

Actuellement les travaux sont concentrés en priorité au Mexique: projet CEE "tepetates de Mexico", programme Institut d'Ecologie du Mexique; ils se poursuivent en Argentine (INTA, Bariloche), au Nicaragua (IRENA, Managua) et en Polynésie (Atlas des sols)

Paul Quantin
Responsable du programme

volcanique (Mexique, Nicaragua, Pérou, Equateur, Colombie, Chili). Le Colégio de Postgraduados de Montecillo est l'un des centres d'études sur le *tepetate*; il offre un enseignement spécialisé à de nombreux chercheurs latino-américains. Mexico a été choisi comme siège de ce symposium international, car c'est le pays le plus avancé dans l'étude des problèmes de sols volcaniques indurés, ainsi que de leur réincorporation à l'agriculture ■

Claude Zebrowski
Département "Société, Urbanisation, Développement" UR "Espaces, territoires et politiques agricoles"
Paul Quantin
Département "Terre, Océan, Atmosphère" UR "Géodynamique de la surface"
Hector Arias
Colégio de Postgraduados de Montecillo (Mexique)
Gerd Werner
Université de Giessen (Allemagne)



Après un semis de blé, l'enfouissement des graines par des méthodes traditionnelles
Photo : Claude Zebrowski

Pour en savoir plus

Miehlich G. (1984) - Chronosequenzen und anthropogene Veränderungen andesitischer Vulkanischeböden in drei Klimastufen eines randtropischen Gebirges (Sierra Nevada de Mexico). *Höbil. Schrift*, 402 pp., Fachber. Geowiss. Univ. Hamburg.

Dubroeuq D., Quantin P., Zebrowski C. (1989) - Los tepetates de origen volcánico en Mexico. Esquema preliminar de clasificación. *Revista Terra*, vol. 7, n°1, pp. 3-12.

Werner G. (1986) - Los suelos en el Estado de Tlaxcala, altiplano central mexicano. *Investigaciones relacionadas con su desarrollo, extensión, erosión y su utilización bajo la influencia de actividades agrícolas en 3000 años*. Univ. Aut. Tlaxcala. Centro Estud. Estado de Tlaxcala, 132 p., apendices.

Ruiz Figueroa J.F. éditeur (1987) - Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. Univ. Aut. Chapingo, Dep. Suelos, Chapingo, Mexico, 222 p.

Winckell A., Zebrowski C., Sourdat M. (1991) - Les paysages naturels de l'Equateur (étude de géographie physique). Carte à 1/1000000 publiée, volume en cours de publication. CEDIG,

IPGH, ORSTOM, Quito, Equateur.

Peña D., Ortiz Ma. de la Luz, Etchevers J., Zebrowski C. (1990) - Incorporación de los tepetates a la producción agrícola: rendimientos y efectos de roturación sobre características físicas químicas de tepetates. Memoria del XXIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. 4-9 nov. Comarca Lagunera.

Nimlos T. J., Ortiz-Solorio C. (1987) Tepetate, the rock mat. *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 42, n°2, pp. 83-86

Rehabilitating Mexico's denuded volcanic soils

With a growing population to feed, the Mexican government is looking for ways to extend its cropland by rehabilitating the indurated volcanic soils known as *tepetate* ("hard layer"). Orstom has for some time been studying this type of soil in Nicaragua and Ecuador, and is now involved in similar work in Mexico. An international symposium on the subject (the formation of these soils, their rehabilitation and the socio-economic problems involved) is to be held in Mexico City in October 1991. All the countries of the Latin America's volcanic belt are concerned by the issue. In Mexico, land that is now bare *tepetate* was farmed for many centuries before the arrival of the Spanish, using terrace cultivation. How and why the land became so eroded is one aspect of ongoing research.

The *tepetates* are found in mountainous volcanic regions with sub-humid climates and a clear-cut dry

season. The indurated layer is a thick, pre-existing horizon in a volcanic soil consisting of a series of deposits of different ages; it only becomes exposed once the surface horizons have been eroded. Farmers have been trying to rehabilitate these soils since the 1950s, using hand tools and dynamite. The Mexican government has been involved since the 1970s, with large-scale rehabilitation projects: Bulldozers carve out terraces in the hillside; a subsoiler breaks up the hardpan to a depth of 60 to 80 cm; *Agaves* are planted along the contour lines to hold back soil and water; and the land is cultivated with maize, beans and squashes. This is a long-term process, however, and cost-effectiveness has yet to be demonstrated.

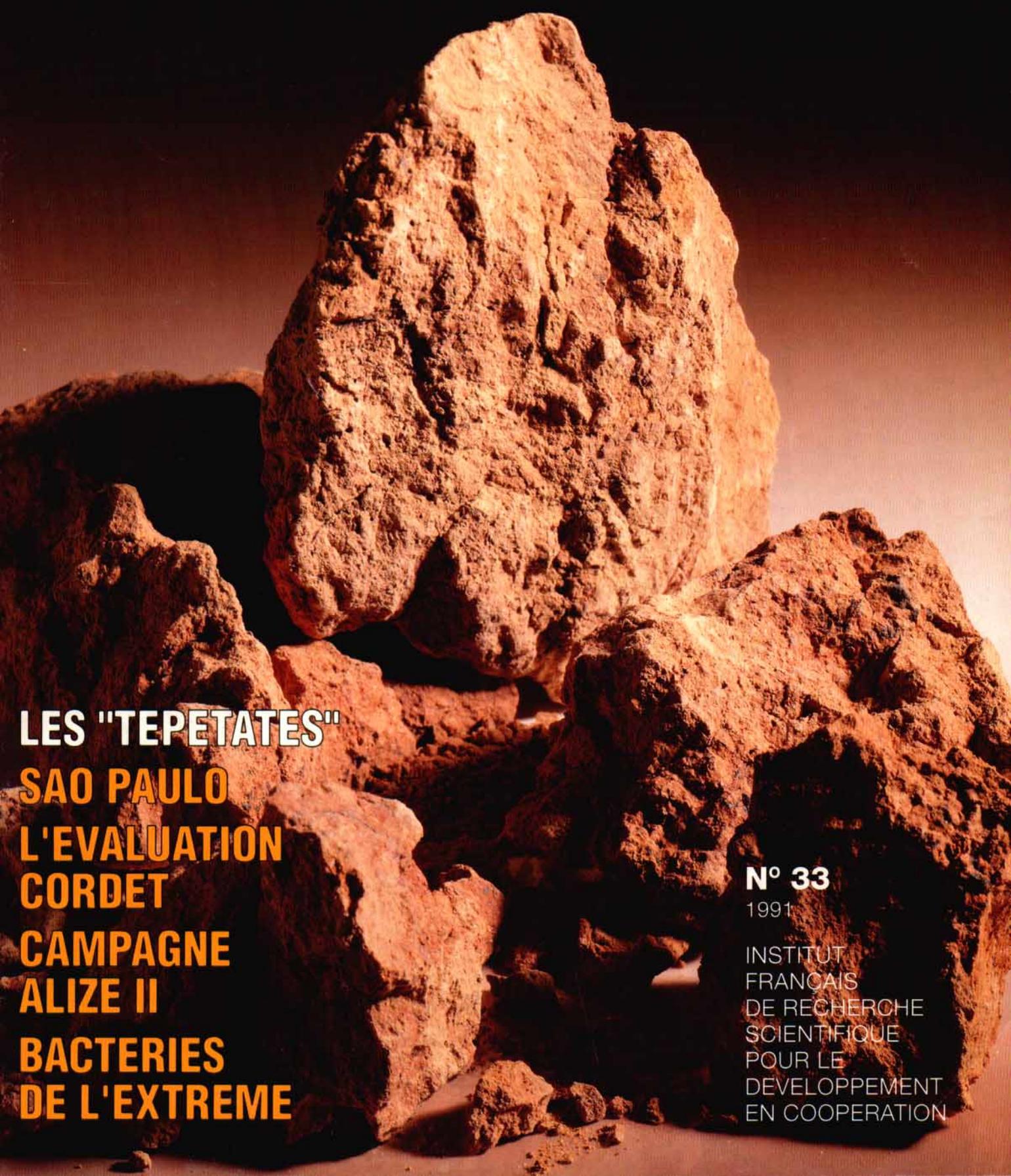
Farmer interest in rehabilitating *tepetates* land is keen, but there is competition from the building industry, which has been quarrying this rock to make sand ever since the colonial era.

Delgadillo M.E., Miranda M.E., Ruiz B.R. (1989) - Evaluación de seis formas de roturación de tepetate amarillo para incorporarlo a la producción en el Oriente de la Cuenca de México. Tesis de licenciatura, UACH, Departamento de suelos, Chapingo. 171 pages.

Quantin P., Arias H., Zebrowski C. et al (1989) - Reincorporación de tepetates a la producción agrícola. 1. Descripción del proyecto en el valle de México. Memoria del XXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. 20-25 nov. C.P. Montecillo, México.

ORSTOM

A C T U A L I T E S



LES "TEPETATES"

SAO PAULO

L'EVALUATION

CORDET

CAMPAGNE

ALIZE II

BACTERIES

DE L'EXTREME

N° 33

1991

INSTITUT
FRANÇAIS
DE RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
POUR LE
DEVELOPPEMENT
EN COOPERATION

A l'Est de Mexico, entre la plaine alluviale et la Sierra Nevada, la zone de piémont a été choisie pour étudier les sols volcaniques indurés (tepetate). L'image Spot constitue un outil qui permet d'extrapoler les résultats cartographiques obtenus dans cette zone aux trois millions d'hectares couverts par ces formations sur l'altiplano mexicain. Image SPOT Mexique du 20/12/90 (1/200 000) Traitement Orstom-L.I.A.-Télétection - Laboratoire de photographie Annick Aing

ORSTOM

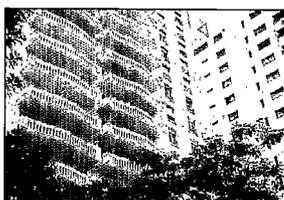
A C T U A L I T E S



Les "tepetates", récupération et mise en valeur des terres volcaniques indurées au Mexique.

2

São Paulo - La fragmentation sécuritaire d'une mégapole.



19

"Alizé II, à bord du Noroît, journal de bord d'une campagne océanographique de Panama à Nouméa, vingt-six ans après "Alizé I".



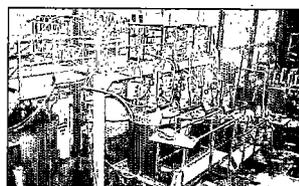
8

Une enquête de sociologie des sciences : la recherche dans les Dom-Tom.



25

Les bactéries de l'extrême - Une nouvelle voie de recherche sur les formes de vie les plus primitives.



13

Les "tepetates", récupération et mise en valeur des terres volcaniques indurées au Mexique.



30

Informations

Fonds Documentaire ORSTOM

Collection Bx 18 649 a Ex: 1
Bx 18653

Publications

Directeur de la publication : Louis Perrois
Rédactrice en chef : Catherine Leduc-Leballeur
Orstom : 213, rue La Fayette
75010 Paris
Tél. : 48 03 77 77
Fax DIST : 40 34 69 13
ISSN 0758 833 X
Commission paritaire N° 1864 ADEP
Imprimerie : Offset Arcueil
Tél. : 46 64 01 02