

IMPACT DE L'HOMME SUR L'EROSION

DES SOLS A "TEPETATE" DE

LA REGION DE MEXICO

Paul Quantin et Claude Zébrowski ¹

¹ ORSTOM, 32, Avenue Henri Varagnat, 93143 BONDY Cedex

INTRODUCTION

Les "tepetates" sont des horizons indurés de tufs volcaniques, qui affleurent en surface après érosion du sol meuble superficiel. Ces formations sont très étendues dans les régions agricoles du Haut-Plateau Central Mexicain. Elles s'observent notamment sur les piémonts des sierras volcaniques récentes, telle la Sierra-Nevada, qui entourent les vallées de Mexico, Puebla, Tlaxcala, Toluca et Cuernavaca. Un tepetate est en fait un tuf pyroclastique fin, altéré à la base d'un sol, de composition rhyolitique ou dacitique. On en observe au moins trois séries dans les sols de cette région, dont l'âge du dépôt varie de 10 000 à plus de 20 000 ans ; les trois paléosols correspondants (et superposés) sont recouverts par le sol actuel formé à partir des dépôts holocènes de cendres dacitiques du Popocatepetl. Les tepetates ont une consistance friable de "fragipan" quand ils sont argilifiés et un peu imprégnés de gel siliceux, ou dure d'horizon "pétrocalcique" s'ils sont encroûtés de calcaire. Le premier type est le plus étendu et le plus cultivé. La présence de tepetates sur les piémonts est en relation avec une zone climatique subhumide à subaride (900 à 600 mm de pluie) entre 2 800 et 2 300 m d'altitude. Cette zone est marquée par une saison sèche d'environ six mois ; ce qui a laissé supposer une influence pédo-climatique sur leur formation. En fait la pédogénèse n'a fait que se surimposer à la formation d'un tuf et en conforter l'induration (Peña et Zébrowski 1992 - Quantin et col. 1992). C'est la combinaison d'un climat à longue saison sèche, dont les pluies sont particulièrement érosives, et la présence des tufs, qui sont à l'origine de l'affleurement des tepetates, surtout à la suite de leur mise en culture.

Les piémonts de l'Altiplano mexicain sont cultivés depuis au moins 3 600 ans BP (O'Hara et al. 1993). Mais le mode de culture, l'intensité et la densité de l'exploitation agricole ont varié au cours des trois derniers millénaires, surtout depuis la conquête espagnole. Une surexploitation des sols ou leur mésusage (sans ouvrage de conservation) est certainement la cause de l'érosion et de l'affleurement des tepetates. Ceux-ci se comportent en matériau stérile dont la surface reste nue tant que des techniques de réhabilitation en sol agricole ne sont pas employées. Il s'agit donc d'un effet désastreux de l'érosion "anthropique". Mais il est heureusement réversible.

Une controverse oppose les tenants d'une érosion récente, initiée depuis la conquête espagnole (Aliphath et Werner 1994) et conséquence d'une inadéquation des nouvelles méthodes de gestion des sols, aux tenants d'une érosion préhispanique, qui est corrélée à une forte densité de population et à une intensification de l'agriculture (Garcia Cook, 1978). En fait la question est de savoir si l'érosion a pu se développer périodiquement, autant à l'époque préhispanique qu'aux époques coloniale et moderne, suivant l'évolution des sociétés rurales, de différents facteurs socio-économiques et éventuellement climatiques. Une problématique semblable a été envisagée par Neboit (1991) en région méditerranéenne.

L'ÉROSION PREHISPANIQUE

1. *Témoignage des "Codex"*. Selon Williams (1992), les codex, sorte de "mémoire" de la société mexicaine au moment de la conquête espagnole, montrent clairement l'importance des tepetates parmi les terres agricoles de cette époque. Sur des registres correspondant à notre cadastre, les Codex, notamment les Codex Vergara et de Santa Maria de Asuncion, notent les dimensions des parcelles, la nature des sols et des cultures. Parmi les symboles figurant les sols l'un correspond à "tepetate". Ce nom "nahuatl" désigne une couche à consistance de pierre. En fait le symbole est une juxtaposition de deux glyphes qui désignent un matériau intermédiaire entre terre et roche dure, c'est à dire assez friable pour être cultivé ; un symbole additionnel précise sa texture sableuse ou argileuse. D'après Williams (1992) dans la région de Texcoco (vallée de Mexico) les parcelles avec tepetate représentaient à cette époque 52 % des parcelles cultivées. Les indigènes avaient besoin de cette ressource en terre, en raison d'une forte densité de population, pour intensifier la production alimentaire. Ils savaient déjà ameublir le tepetate pour restaurer des terres agricoles. Ils faisaient des terrasses, dont le bord inférieur était consolidé par un mur en blocs de tepetate, afin de contrôler l'érosion (Pimentel 1992) et éventuellement aménager leur irrigation. Ils utilisaient aussi depuis longtemps ce matériau pour construire leurs cases et leurs temples (notamment les pyramides de Tehotihuacan). Donc il est certain que le problème de l'affleurement des tepetates par suite de l'érosion anthropique s'était posé avec la conquête espagnole.

2. *Témoignage de l'Archéologie*. Selon Garcia-Cook (1978), il y a concomitance entre les aires de forte occupation humaine préhispanique dans la région de Tlaxcala, attestée par l'abondance de tests de céramique, de poterie, d'artefacts d'obsidienne et autres objets de la vie quotidienne datant de l'époque préhispanique, ainsi que des traces de terrasses d'habitation et d'agriculture et l'extension des affleurements actuels de tepetate. Il est donc probable que l'affleurement des tepetates du fait de l'érosion anthropique remonte pour une large part à cette époque. Werner (1986) s'était d'abord rallié à cette hypothèse.

Mais nous savons aussi que les indiens des vallées de Mexico et de Tlaxcala, en raison d'une forte densité de population, savaient conduire une agriculture intensive en terrasses irriguées, contrôlant bien l'eau et l'érosion (Johnson 1979, Sanders 1981, Pimentel 1992). C'est pourquoi Aliphath et Werner (1994), à la suite de nombreux autres, remettent en cause l'hypothèse d'une érosion préhispanique. Ils pensent que l'érosion s'est aggravée récemment, à cause d'un changement brusque de la gestion des terres apporté par les colonisateurs. La question paraît donc encore controversée.

3. *Témoignage de la géomorphologie comparée à l'évolution du climat et de la société humaine*. Lauer (1979), observant l'évolution des formes de relief et des sédiments dans la région de Tlaxcala, remarque deux périodes préhispaniques de formation de "barrancas" (ravines très profondes) : la première vers 2 100 à 2 000 BP, la seconde entre 1 350 et 1 000 BP. celles-ci marquent donc deux périodes de forte érosion. ces événements sont reliés à deux paramètres : la variation du climat et l'évolution de la société agricole. La variation du climat, concernant température et pluviosité, est déduite d'analyses polliniques et de datations par ^{14}C (Heine 1976, 1978). Il y a eu d'abord un accroissement des pluies de 4 000 à 2 200 BP, accompagné d'un refroidissement ; puis un réchauffement qui culmine vers 1 000 BP ; une pluviosité intense se maintient jusque vers 1 500 BP, suivie d'une brusque aridification vers 1 400 BP qui se prolonge jusqu'à 800 BP. Finalement un léger regain de pluviosité et de refroidissement se produit entre 800 et 400 BP ; puis le climat s'est inversé récemment vers un nouveau cycle un peu plus aride et plus chaud.

L'évolution des sociétés agricoles ressort des travaux de Garcia-Cook (1978). Depuis 4 000 BP il y a d'abord eu transition d'une agriculture itinérante à une agriculture sédentaire et plus intensive. A partir de 3 400 BP l'agriculture sédentaire devient prédominante ; la densité des implantations humaines rurales et des cultures en terrasse augmente progressivement jusqu'à 2 100 BP. Puis elle se stabilise, voire régresse un peu jusqu'à 1 600 BP, augmente à nouveau et atteint son maximum vers 1 200 BP. Enfin elle régresse sensiblement jusqu'à

500 BP, déjà avant la conquête. Mais la colonisation accélèrera le processus, produisant un dépeuplement catastrophique des campagnes et l'abandon des aires d'agriculture indigène. L'aménagement d'ouvrages de contrôle de l'eau et des terres pour une agriculture intensive s'était développé rapidement depuis 2 600 BP jusqu'à un maximum vers 1 200 BP, qui correspond au maximum de population et à un climat plus aride, sans doute aussi à l'optimum de civilisation agricole. Mais ces aménagements seront quasi tous abandonnés lors de la conquête espagnole.

En comparant ces observations Lauer (1979) montre que la première phase d'érosion en barranca (avant 2 000 BP) culmine avec un fort développement de la population, et un fort accroissement concomitant des pluies. Une surexploitation des terres pourrait être la cause de l'érosion. Le développement rapide des ouvrages de contrôle de l'eau vers 2 100 BP peut signifier à la fois un meilleur contrôle de l'érosion et une intensification de la production agricole. Il lui succède une certaine stabilisation des implantations rurales et de l'érosion. La deuxième crise érosive en barranca (1 400 BP) coïncide avec un climat plus aride et plus chaud et un regain d'accroissement des implantations agricoles. A nouveau augmentent les ouvrages de contrôle de l'eau et des sols pour lutter contre l'érosion et intensifier la production agricole. Il ne semble pas que ce remède ait été suffisant ; car depuis 1 200 BP commence une régression des implantations agricoles, qui va s'accroître brutalement au moment de la colonisation.

Plusieurs hypothèses sont possibles : soit un développement excessif des populations et de l'agriculture a conduit à une déstabilisation des sols et à une forte érosion ; soit malgré une certaine stabilisation due à un meilleur contrôle des terres et de l'eau, l'aridification du climat va déstabiliser l'agriculture et accentuer l'érosivité des pluies ; soit enfin, après avoir bien maîtrisé les aménagements agricoles et l'intensification de la production pour faire face à l'accroissement des populations, une déstabilisation des structures sociales rurales, causée par l'émergence d'une société "militariste", aurait conduit à la ruine de l'agriculture, à un certain abandon des terres ou des pratiques adaptées, donc à l'érosion, bien avant la conquête espagnole. Le processus se serait naturellement aggravé au moment de la conquête espagnole du fait de la déprise drastique des terres cultivées par les indigènes.

4. *Témoignage de la sédimentologie.* O'Hara (et al. 1993) ont discerné lors de l'analyse du lac Patzcuaro (Michoacan, sur la bordure ouest de l'altiplano mexicain) trois périodes d'érosion accrue, qui ne peuvent s'expliquer seulement par un changement climatique, mais plutôt par une évolution de l'agriculture. La première, entre 3 600 et 2 900 BP, correspond à une érosion superficielle et modérée de 0,15 à 0,43 T/ha/an ; elle coïncide avec le développement de la culture du maïs, mais en agriculture itinérante de défriche forestière, sans précaution antiérosive. La seconde, entre 2 500 et 1 200 BP, est plus longue et aussi marquée par une érosion plus intense, superficielle et en ravine, de 0,35 à 2T/ha/an ; elle correspond à l'accroissement des populations et à l'intensification de l'agriculture. Puis l'érosion se stabilise à un niveau modéré de 0,42 à 0,58 T/ha/an de 1 200 à 850 BP ; cette modération est concomitante d'une certaine maîtrise des aménagements agricoles et aussi d'une certaine diminution des implantations. La troisième période, entre 850 et 480 BP, se marque par une brusque recrudescence de l'intensité érosive, de 1,5 à 3 T/ha/an ; elle pourrait correspondre à une déstabilisation des populations rurales et de l'agriculture (intensification des guerres tribales) avant la conquête espagnole ; mais elle pourrait aussi être concomitante d'un climat plus aride.

L'ÉROSION POST-HISPANIQUE

1. *L'érosion à l'époque coloniale.* Les données sont peu nombreuses et les avis sont très variés, voire passionnels. Certains pensent que la destruction de la société indienne a causé une intensification catastrophique et généralisée de l'érosion (Aliphath et Werner 1994). Elle serait la conséquence de l'abandon de l'agriculture en terrasses, de la destruction de la forêt et du développement d'un "pastoralisme" sauvage. Des situations semblables ont été observées en région méditerranéenne, quoique Neboit (1991) signale des cas contradictoires où l'on peut invoquer soit une cause anthropique soit l'effet d'une variation climatique. Au Mexique Trautmann (1981) considère que le développement des chemins depuis les haciendas vers les

versants boisés pour exploiter la forêt a causé un rapide développement des ravines profondes et des barrancas. Kirkby (1972), sur un petit bassin-versant de la région d'Oaxaca évalue l'érosion, depuis le début de la colonisation, à environ 10 mm/an (# 100 T/ha/an) pendant près de cinq cents ans ; c'est sans doute excessif. Au contraire O'Hara (et al. 1993) observent dans les sédiments du Lac Patzcuaro une forte diminution du taux d'érosion après 480 BP (depuis la colonisation) ; en outre ils notent un changement qualitatif des sédiments qui suggère un changement radical d'une intense érosion superficielle de sols agricole avant 480 BP à une érosion restreinte mais profonde et en ravine après 480 BP ; celle-ci correspond à une érosion linéaire causée par le développement des routes, tandis que l'érosion superficielle cesse après la déprise des terres agricoles. Ceci rejoint aussi l'observation précédente de Trautmann (1981). A cette époque par suite de l'abandon des terres, après une brève reprise, l'érosion se serait stabilisée. Une intensification de l'érosion, tel le cas observé par Kirkby (1972) près d'Oaxaca, pourrait être réduite à des situations locales. En région méditerranéenne Neboit (1991), analysant la sédimentation sur des terrasses alluviales et l'occupation humaine, note des cas où la déprise agricole, suivie d'une recolonisation végétale, s'est accompagnée d'un arrêt de la sédimentation (en Italie du Sud) ; d'autres au contraire, où peut-être suivie de désertification, elle a entraîné un regain d'érosion (en Grèce macédonienne).

2. *L'érosion à l'époque moderne (1915 - 1970)*. La révolution agraire à partir de 1915 permet une redistribution des terres à des petits paysans. Ainsi s'étend l'agriculture des plaines et de l'aval des piémonts vers les versants qui étaient laissés à un pâturage extensif ou aux dépens des forêts. Mais les petits paysans, anciens ouvriers agricoles, ne savent pas ou n'ont pas les moyens de bien cultiver et aménager leurs terres. En outre le développement rapide des populations entraîne l'extension des terres cultivées sans ouvrages anti-érosifs, le déboisement des hauts-versants et la multiplication des chemins. Ceci est la cause certaine d'une reprise forte de l'érosion superficielle et en ravines. Ohngemach et Straka (1978) ont effectivement observé l'extension rapide des barrancas après destruction de la forêt dans la région de Puebla et de Tlaxcala ; cependant ils notent ensuite une stabilisation du processus. Des cas semblables nous ont été montrés par Werner (communication personnelle) sur les versants du volcan La Malinche près de Tlaxcala.

L'ÉROSION ACTUELLE

1. *Depuis vingt cinq ans* environ des travaux considérables ont été faits pour réduire l'érosion grâce à l'incitation des services agricoles des Etats mexicains, à savoir : cultures avec bande d'arrêt isohypse plantée de Cactus (maguey), Opuntia (nopal) ; remodelage et reforestation des hauts-versants ; aménagement des fonds de ravines et barrancas (barrages de pierre) ; réhabilitation agricole des tepetates dénudés par défonçage ; ameublissement et remodelage en terrasse avec bande d'arrêt (Pimentel 1992, Llerena-Villalpando et al 1992). L'érosion a été considérablement réduite, sauf dans les zones de défriche forestière ou de pâturage extensif, ou de profondes ravines non contrôlées. Les terres ainsi réhabilitées à partir des tepetates sont productives et stabilisées (Arias 1992, Marquez-Ramos et al. 1992).

2. *Des mesures d'érosion en petites parcelles* (type Wischmeier, 44 m²) ont été entreprises depuis une vingtaine d'années (Figuerola 1975). Plus récemment, depuis 1989, des mesures systématiques ont été faites (pluie, ruissellement, érosion) dans le cadre du programme de la Communauté Européenne "Etude des sols volcaniques indurés 'tepetates' des Bassins de Mexico et de Tlaxcala, en vue de leur réhabilitation agricole" (Arias et al. 1992, Baumann et al. 1992, Quantin et col. 1992). Les observations ont eu lieu sur quatre stations, l'une près de Texcoco (Etat de Mexico), les trois autres dans l'Etat de Tlaxcala. Il en ressort les faits majeurs suivants : la susceptibilité à l'érosion des tepetates cultivés varie d'une station à l'autre suivant l'indice d'érosivité des pluies ; deux des stations, pour une hauteur de pluie semblable, sont deux à trois fois plus érosives que les autres. Il y a une grande variabilité interannuelle du régime des pluies et de leur érosivité. Les tepetates dénudés par l'érosion dans leur état naturel ont une faible susceptibilité à l'érosion superficielle (5 à 10 T/ha/an) malgré un taux de ruissellement élevé (70 %). Au contraire le tepetate ameubli mais laissé à nu, bien que le taux de ruissellement soit très réduit, subit une érosion superficielle intense, variant de 21 à 128 T/ha et par an, suivant

l'érosivité des pluies. Sur les tepetates (et le sol naturel) cultivés en billon pour le maïs, ruissellement et érosion sont très réduits, respectivement à 5% et 1T/ha/an en station peu érosive ; ou augmenter respectivement à 20 % et 26 T/ha/an en station très érosive. Cette susceptibilité à l'érosion, outre l'érosivité des pluies dépend surtout du couvert végétal et de l'évolution des états de surface du sol (encroûtement ou non) en fonction des travaux culturaux (Janeau et al. 1992). Cette étude se poursuit dans un nouveau programme de l'Union Européenne, mais les mesures sont faites à l'échelle de parcelles de dimension paysanne (500 à 1000 m²) afin de tester l'effet du facteur échelle. Dans le cas du tepetate nu, les valeurs d'érosion restent semblables. Mais dans le cas du tepetate cultivé, les premiers résultats semblent indiquer des valeurs un peu moindres que sur petite parcelle, comme le remarque ailleurs Evans (1993).

Ces mesures montrent donc qu'après l'érosion des sols au-dessus des tepetates l'intensité de l'érosion superficielle se réduit et se stabilise bien que le ruissellement augmente. Mais l'érosion linéaire en ravine peut se poursuivre en remontant les versants et creusant des barrancas. Les sols cultivés (naturels ou de tepetate ameubli) bien aménagés contrôlent bien l'érosion, bien que cependant pour des pluies très érosives (intensité > 50 mm pendant au moins 30 minutes) les risques demeurent ; mais ils sont exceptionnels. Nous n'avons pas de mesures sur une assez longue période (au moins 10 ans) pour le prédire. Donc une agriculture bien conduite est un facteur de stabilité contre l'érosion en année moyenne. Le plus grand risque reste alors l'érosion linéaire en ravines le long des chemins et notamment dans les régions d'extension de défriche ou d'exploitation forestière en amont des versants. Une étude au Kenya (Harper et col. 1993) l'a clairement montré. Evans (1993) souligne aussi clairement l'importance du facteur échelle spatiale pour assurer une mesure raisonnable de l'érosion. Il conviendrait d'y ajouter les facteurs temps et variabilité climatique.

CONCLUSIONS

Savoir si l'érosion s'est plus développée avant ou après la conquête espagnole, ou si l'affleurement de tepetates stériles est la faute des indiens ou des conquistadores est un faux problème. Il est clair que chaque civilisation agricole, à son apogée, est capable de maîtriser la gestion des terres et de l'eau. Une intensification de l'agriculture peut conduire ou non à la dégradation des sols et à leur érosion ; mais l'abandon des terres également l'un ou l'autre.

Il est certain, l'étude d'O'Hara (et al. 1993) le montre, que les activités humaines, agricoles, pastorales ou forestières, non maîtrisées jouent un rôle capital dans l'accélération de l'érosion. En revanche ce rôle négatif de l'homme va se réduire sensiblement en période de développement optimum et stabilisé des sociétés rurales. Un besoin d'intensification de la production agricole peut conduire à une meilleure maîtrise de l'eau et des terres. Mais cet équilibre maintenu par l'homme est fragile ; il dépend d'une certaine stabilité de la société et d'une adaptation technologique appropriée. Toute cause de déséquilibre socio-économique, notamment un brusque changement de civilisation ou de régime politique peut désorganiser la gestion des terres et entraîner un regain d'érosion. Ceci est vrai à toutes les époques, tant préhispanique que coloniale ou moderne.

Un autre facteur important et plus difficile à discerner est celui d'un changement climatique. Ainsi un régime plus régulièrement humide favorise le développement de l'agriculture, donc celui des populations et conduit ensuite, après une utilisation extensive, à une intensification de l'agriculture et à un meilleur contrôle de l'érosion. Si le climat devient plus aride, le contrôle des terres et de l'eau devient d'autant plus nécessaire que la productivité est plus aléatoire et que les risques d'érosion sont accrus. Peut être est-ce là une cause de déclin de certaines civilisations, de la recrudescence des guerres tribales et finalement de l'abandon des terres et de la recrudescence de l'érosion.

De la conquête espagnole à l'époque moderne l'histoire se répète : d'abord l'abandon des terres indigènes et une érosion catastrophique, mais vite stabilisée ; puis une reconquête des terres lors de la révolution agraire, mais non contrôlée et accentuée par le développement rapide

des populations, donc encore une grave reprise de l'érosion. Maintenant apparaît la nécessité de mieux utiliser et même augmenter les ressources en sol, afin d'intensifier la production et aussi de préserver l'environnement ; donc une réhabilitation agricole des tepetates et l'aménagement rationnel des terres contre l'érosion. Les expériences récentes sont encourageantes (à l'égal sans doute de celles faites à l'apogée des civilisations préhispaniques). Ces expériences demandent à être conduites d'une manière plus rationnelle, prenant mieux en compte les facteurs échelle spatiale, temps et variabilité climatique, ainsi que les conditions socio-économiques.

REFERENCES

ALIPHAT M. et WERNER G., 1994 - The tepetates of the Central Mexican Highlands : Prehispanic and modern impact of agriculture and water management. Trans. 15th W.C. Soil Science, Acapulco, vol. 6a : 528-540.

ARIAS H. 1992 - Rehabilitación de tepetates : una alternativa para la producción agropecuaria y forestal. Terra, Mexico, vol. 10 : 309-317.

ARIAS H., MIRANDA M.E., et GABRIELS D., 1992 - Dinámica de la erosión en tepetates roturados. Terra, Mexico, vol. 10 : 370-373.

BAUMANN J., WERNER G., MUNOZ H. et al., 1992 - Mediciones preliminares de la erosión en el bloque de Tlaxcala, Mexico. Terra, Mexico, vol. 10 : 347-354.

EVANS R., 1993 - On assessing accelerated erosion of arable land by water. Soils and Fertilizers, vol. 56, n° 11 : 1285-1293.

FIGUEROA-SANDOVAL B., 1975 - Pérdida de suelos y nutrientes y su relación con el uso del suelo en ecosistemas de la Cuenca del Rio Texcoco. Tesis Maestria, Colegio Postgraduados de Chapingo, Mexico.

GARCIA-COOK A., 1978 - Poblamiento prehispánico. Fund. Aleman. Inv. Científica, Puebla, Comunicaciones n° 15 : 173-187.

HARPER et col., 1993 - Tana River Project. Development of ecologically sustainable catchment land uses. CEC Contrat n° TS2 A0256-UK(SMA), Second annual report 1992-93.

HEINE K., 1976 - Schneegrenzdepressionen, Klimatentwicklung, Bodenerosion und Mensch im Central Hochland im jungen Pleistozän und Holozän. Z. Geomorph. N.F. Suppl. 24, Stuttgart : 160-174.

JANEAU J.L., JEROME G., et MIRANDA M.E., 1992 - Evolución estructural de la superficie de suelos con tepetate. Terra, Mexico, vol. 10 : 374-378.

JOHNSON, 1977 - Do as the land bids. A study of Otomi resource use on the eve of irrigation. Doct. Thesis, Clark University, USA.

KIRKBY M.J., 1972 - The physical environment of the Nochixtlan Valley, Oaxaca. Univ. Publ. in Anthropology, Van der Bilt University. Nashville, USA.

LAUER W., 1979 - Medio ambiente y desarrollo cultural de la Región de Puebla-Tlaxcala. Fund. Aleman Inv. Científica, Puebla, Comunicaciones n° 16 : 29-54.

LLERENA-VILLALPANDO F.A. et SANCHEZ-BERNAL B., 1992 - Recuperación de tepetates en la vertiente oriental del Valle de Mexico. Terra, Mexico, vol. 10 : 302-308.

MARQUEZ-RAMOS A., ZEBROWSKI C. et NAVARRO-GARZA H., 1992 - Alternativas agronomicas para la recuperaci3n de tepetates. Terra, Mexico, vol. 10 : 465-473.

MIEHLICH G., 1991 - Chronosequences of volcanic ash soils. Hamburger Bodenkundliche Arbeiten, n° 15, 207 p.

NEBOIT R., 1993 - L'homme et l'erosion. L'erosion des sols dans le monde. Faculté Lettres et Sciences Humaines, Université Blaise Pascal, Fasc. 34, Clermont-Ferrand, 269 p.

O'HARA S.L., STREET-PERROTT F.A. et BURT T.P., 1993 - Accelerated soil erosion around a Mexican highland lake caused by prehispanic agriculture. Nature, vol. 362 : 48-51.

OHNGEMACH D. et STRAKA H., 1978 - La historia de la vegetaci3n en la regi3n Puebla-Tlaxcala durante el Cuaternario tardio. Fund. Aleman. Inv. Cientifica, Comunicaciones n° 15 : 189-204.

PENA D. et ZEBROWSKI C., 1992 - Los suelos y tepetates de la vertiente occidental de la Sierra Nevada. Terra, Mexico, vol. 10 : 151-155.

PIMENTEL-BIBRIESCA L., 1992 - Como hacer productivos a los tepetates en Mexico. Terra, Mexico, vol. 10 : 293-301.

QUANTIN P. et coll., 1992 - Etude des sols volcaniques indurés "tepetates" des Bassins de Mexico et de Tlaxcala, en vue de leur r3habilitation agricole. Rapp. Sci. Final, programme CEE n° TS2-A212C, 77 p.

SANDERS W.T., 1981 - Ecological adaptation in the Basin of Mexico : 23 000 BC to the present. Suppl. Handbook Middle Amer. Indians, vol. 1 : 147-197. Univ. Texas Press, Austin, USA.

TRAUTMANN W., 1981 - Las transformaciones en el paisaje cultural de Tlaxcala. Fund. Aleman. Inv. Cientifica, vol. XVII, Wiesbaden (Steiner Ed.).

WERNER G., 1986 - Landschaftsumgestaltung as Folge von Besiedlung, Vegetationänderung und Landnutzung durch die altindianische Bevölkerung im Staat Tlaxcala, Mexiko. Erdkunde, 40 : 262-270.

WILLIAMS B.J., 1992 - 'Tepetate' in 16th Century and contemporary folk terminology, Valley of Mexico. Terra, Mexico, vol. 10 : 483-493.