

LES GISEMENTS D'OBSIDIENNE DE L'AXE TRANSMEXICAIN

Alain DEMANT*

RESUME

Des gisements d'obsidienne sont associés aux manifestations volcaniques de l'Axe Transmexicain. Ils sont localisés entre Tequila et Magdalena (Jal.), au SW de Guadalajara, dans la région de Los Azufres (Mich.), ainsi qu'à l'extrémité orientale de l'Axe. Les obsidiennes de chaque gisement possèdent des caractéristiques pétrographiques et chimiques qui leur sont propres. Elles pourraient ainsi servir à déterminer l'origine des matériaux utilisés pour la fabrication des outils préhispaniques.

RESUMEN

Yacimientos de obsidiana estan asociados con las manifestaciones volcánicas ácidas del Eje Transmexicano. Se ubican entre Tequila y Magdalena (Jal.), al SW de la ciudad de Guadalajara, en la región de Los Azufres (Mich.), así como en la parte más oriental del Eje. Las obsidianas de cada yacimiento tienen características petrográficas y químicas propias. Pueden, por lo tanto, ser utilizadas para determinar el origen del material empleado en la fabricación de los artefactos prehispánicos.

ABSTRACT

Obsidians are closely related to the acidic volcanism of the Transmexican Belt. They are located between Tequila and Magdalena (Jal.), SW of the city of Guadalajara, in the region of Los Azufres (Mich.), and in the eastern part of the belt. Obsidians from each locality have their own petrographical and chemical characteristics which can be used to determine the origin of the material employed for obsidian artefacts.

* Laboratoire de Pétrologie, Université Aix-Marseille III
Faculté des Sciences de St Jérôme, 13397 MARSEILLE CEDEX 13

INTRODUCTION

L'obsidienne est classiquement définie comme un verre volcanique naturel de composition rhyolitique (teneur en silice > 72 %). Les variétés riches en eau (jusqu'à 5-6 % en proportions pondérales) sont désignées par le terme de rétinite ou pechstein ; elles se distinguent des obsidiennes proprement dites par leur aspect plus mat, résineux. Obsidiennes et rétinites contiennent généralement peu de phénocristaux, présentent une cassure conchoïdale et ont une couleur sombre, noire à verdâtre. Les laves rhyolitiques peuvent en outre, par suite d'un phénomène de trempe au contact de l'eau, acquérir une structure vitreuse particulière : ces verres ont une couleur grise et un débit dit perlitique, lié à la présence de fissures de retrait circulaires. De tels verres, chauffés entre 800 et 1 100°C, possèdent la propriété de s'expanser ; ils sont de ce fait très recherchés pour la fabrication d'isolants thermiques et phoniques utilisés dans la construction.

Nous ne nous intéresserons dans cet article qu'aux gisements d'obsidienne ou de rétinite, c'est-à-dire à des roches dont les propriétés mécaniques permettent d'obtenir par percussion des fragments à cassures tranchantes. Ce matériel fut particulièrement utilisé par les Indiens du Mexique pour la confection d'objets coupants, tels que pointes de flèches ou poignards.

Les obsidiennes sont des roches relativement fréquentes au Mexique ; elles sont associées aux manifestations volcaniques acides de la Sierra Madre Occidentale et de l'Axe Transmexicain. Nous ne décrivons que les gisements de l'Axe Transmexicain, secteur que nous avons étudié en détail dans le cadre d'une thèse d'Etat (DEMANT 1981).

PRESENTATION DE L'AXE TRANSMEXICAIN

La chaîne volcanique du Mexique central, définie par MOOSER (1972) comme "Axe Transmexicain", présente, à la différence des chaînes calco-alcalines classiques, une disposition oblique par rapport à la zone de subduction (la fosse d'Amérique Centrale ou fosse d'Acapulco), lieu où la plaque de Cocos s'enfonce sous le continent nord-américain. L'Axe Transmexicain se surimpose ainsi aux autres provinces géologiques du Mexique (Fig. 1), la chaîne mésozoïque plissée de la Sierra Madre Orientale, d'une part, la meseta oligocène de la Sierra Madre Occidentale, d'autre part (DEMANT *et al.* 1976 ; DEMANT 1978). L'étude d'ensemble de cet axe volcanique (DEMANT 1981) a permis de montrer que, contrairement à ce qui était admis, ce volcanisme est d'âge uniquement quaternaire (< 1 m.a.).

Un certain nombre de grands strato-volcans andésitiques, culminant à plus de 5 000 m dans le cas du Pico de Orizaba et du Popocatepetl, s'observent dans l'Axe Transmexicain dont ils constituent, à tort d'ailleurs, si l'on considère le très grand nombre de volcans monogéniques (plus de 3 000), l'image classique. Ces grands édifices sont tous, hormis le Volcan de Colima, localisés dans la partie orientale de l'Axe (Fig. 2).

Du point de vue pétrographique, les andésites (52 à 60 % de SiO₂) sont les laves les plus fréquentes. Les basaltes ne sont cependant pas rares, de même que les rhyolites. Les manifestations acides sont groupées et souvent associées à des structures de type caldera. Elles sont localisées dans quatre secteurs : la partie occidentale de l'Axe (région de Tequila-Magdalena), la caldera de La Prima-

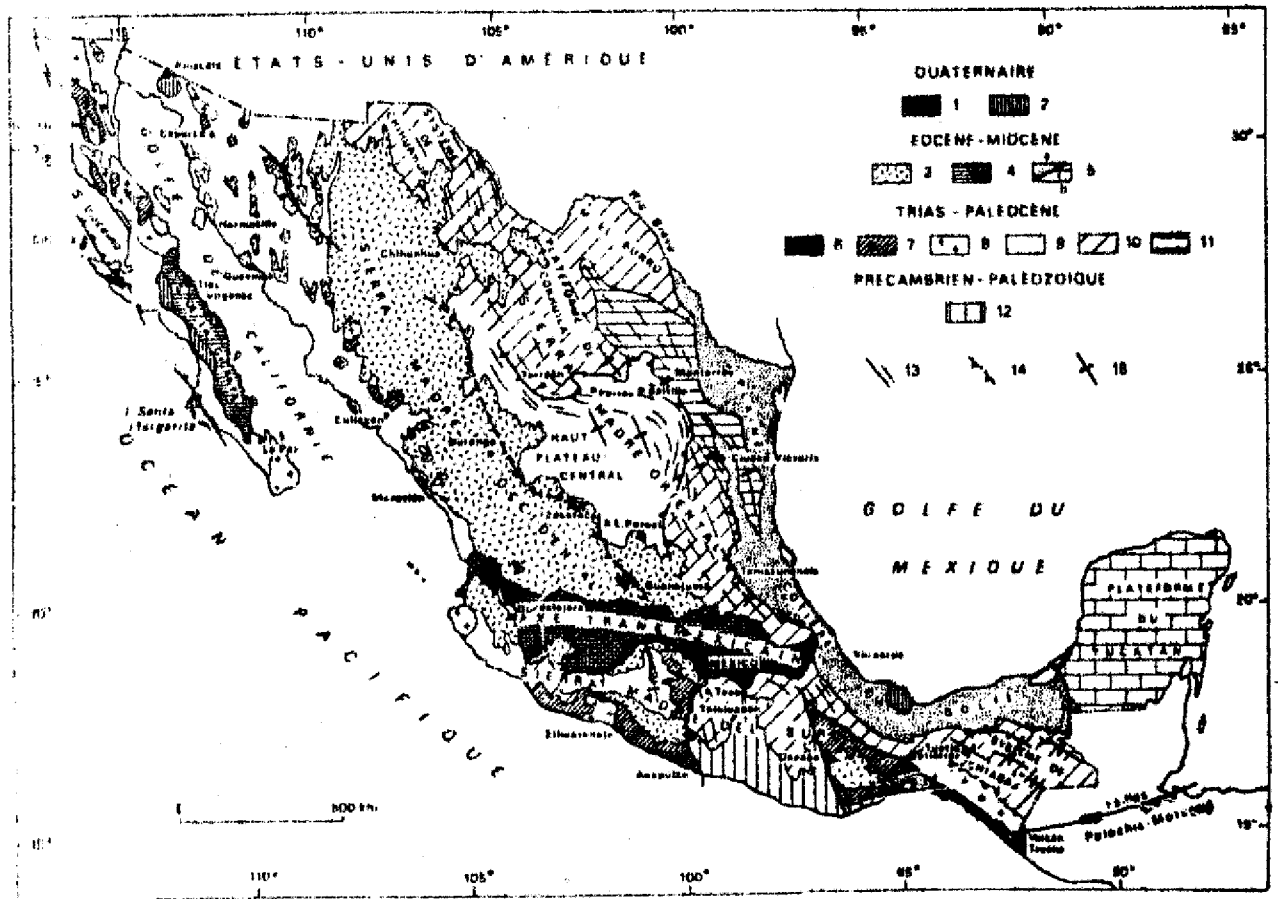


Figure 1 : CARTE STRUCTURALE SCHEMATIQUE DU MEXIQUE (d'après CORDOBA et al., 1980 et TARDY 1980)

1-Axe Transmexicain 2-Volcanisme alcalin 3-Ignimbrites de la Sierra Madre Occidentale 4-Andésites miocènes 5a-Dépôts terrigènes 5b-Calcaires 6-Séquence ophiolitique 7-Séries volcano-sédimentaires d'arc 8-Batholites 9-Bassin interne 10-Ride 11-Bassin de Sabinas 12-Socle 13-Directions tectoniques 14-Chevauchements 15-Axe des plis de fond miocènes

ville, près de Guadalajara, le massif de Los Azufres, à l'est de Morelia, et enfin les Cerros Derrumbadas et la caldera de Los Hornos, à l'extrémité orientale de l'axe (Fig. 2).

LES GISEMENTS D'OBSIDIENNE DE L'AXE TRANSMEXICAIN

Nous indiquerons pour chaque gisement le contexte géologique régional et la localisation, ainsi que les caractéristiques pétrographiques et chimiques principales des obsidiennes, ce qui pourrait être de quelque utilité pour déterminer la provenance des matériaux ayant servi à la fabrication des outils que l'on trouve dans les sites pré-hispaniques.

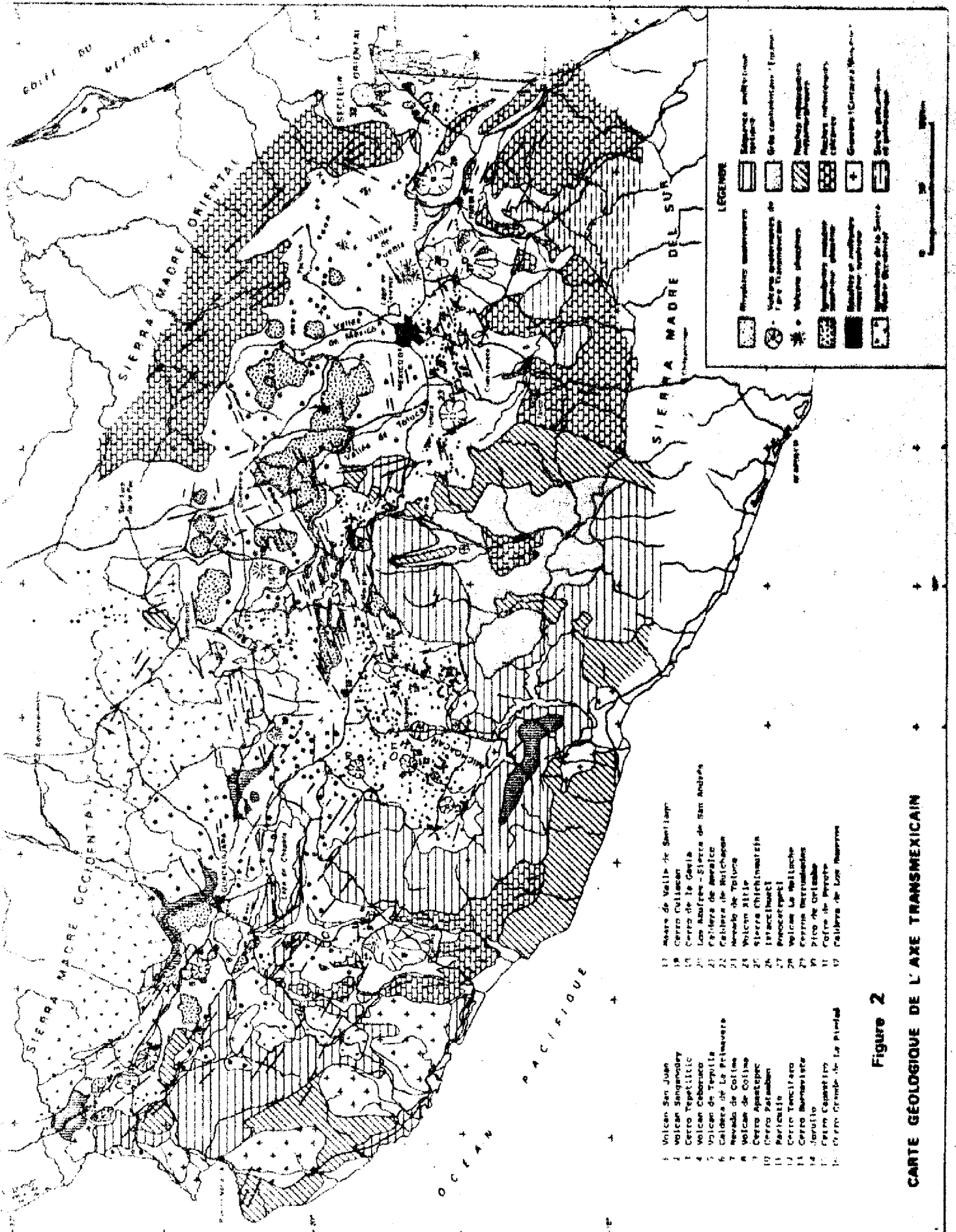


Figure 2
 CARTE GÉOLOGIQUE DE L'AXE TRANSMEXICAIN

A. La région Tequila-Magdalena (Jal.)

Entre le lac Chapala et l'océan Pacifique, le volcanisme quaternaire se localise dans un graben orienté NW-SE (DEMANT, 1979). Un certain nombre de strato-volcans de taille moyenne se dressent dans ce secteur (Fig. 2). Le plus connu est le Ceboruco dont la dernière éruption ne date que de 1870. Sur les fractures régionales s'alignent en outre des cônes scoriacés qui ont alimenté des coulées de basalte ou d'andésite, ainsi que quelques dômes-coulées dacitiques ou rhyolitiques.

D'importants gisements d'obsidienne sont localisés dans ce secteur, entre Tequila et Magdalena; nous les avons figurés sur la carte géologique (Fig. 3). Les obsidiennes apparaissent sous forme de poches ou de filons, de dimensions variables, au front et en bordure des coulées rhyolitiques. Ces dernières se placent chronologiquement entre les vastes épanchements basaltiques de la Mesa Santa Rosa, les plus anciennes manifestations de la région occidentale de l'Axe, datés de $0,926 \pm 0,045$ m.a. (DEMANT, 1981; NIXON et al. sous-presse), et les coulées d'andésite à deux pyroxènes du Volcan de Tequila, strato-volcan de 1.500 m de hauteur relative, datées de $0,226 \pm 0,025$ m.a.

Du point de vue pétrographique, les obsidiennes de Tequila sont soit aphyriques, soit avec quelques phénocristaux d'anorthose (Ab65-70 Or22-27 An6-10) qui englobent parfois des cristaux de plagioclase. Autour de ces feldspaths, se développent des sphérulites de dévitrification, peu nombreux. Dans la matrice vitreuse apparaissent par contre un grand nombre de fins cristallites feldspathiques, alignés dans le sens de la fluidalité de la lave. Les analyses chimiques (Tableau I) montrent que toutes ces laves ont une composition de rhyolites, riches en alcalins. Ces teneurs élevées, surtout en K_2O , par rapport au pourcentage d'alumine, expliquent la présence d'aégyrine dans la norme, bien que, minéralogiquement, aucune des phases n'indique un caractère hyper-alcalin.

B. La caldera de La Primavera (Jal.)

Ce vaste massif rhyolitique, situé à moins de 10 km à l'WSW de Guadalajara, correspond à une structure de type caldera dont les premières éruptions datent de 150 000 ans (MAHOOD 1980 et 1981). C'est il y a environ 100 000 ans que, par suite de l'émission de volumineuses coulées de cendres (Tala Tuff, Fig. 4), s'est produit un effondrement à l'aplomb de la chambre magmatique, ayant entraîné la formation d'une caldera d'environ 11 km de diamètre. Dans cette zone centrale déprimée s'est installé un lac. Entre 95 000 et 30 000 ans, une vingtaine de dômes rhyolitiques se sont édifiés, certains à l'intérieur de la caldera où, par suite du contact avec l'eau, ils ont acquis une carapace externe vitreuse perlitique, d'autres sur les fractures bordières. Les plus récents sont situés au sud, sur le flanc externe, et les coulées se sont épanchées vers la périphérie du massif (MAHOOD 1981). Les gisements d'obsidienne sont associés aux coulées rhyolitiques. Les plus importants sont ceux de la coulée du Cañon de las Flores, de la coulée provenant du Cerro El Pedernal, ainsi que ceux des épanchements issus des dômes du flanc sud (Fig. 4). Des passées d'obsidiennes apparaissent en de très nombreux autres endroits du massif de La Primavera, notamment en bordure des dômes rhyolitiques.

En lame mince, ces obsidiennes sont totalement aphyriques. Elles se caractérisent cependant par la présence de très fines aiguilles de clinopyroxène,

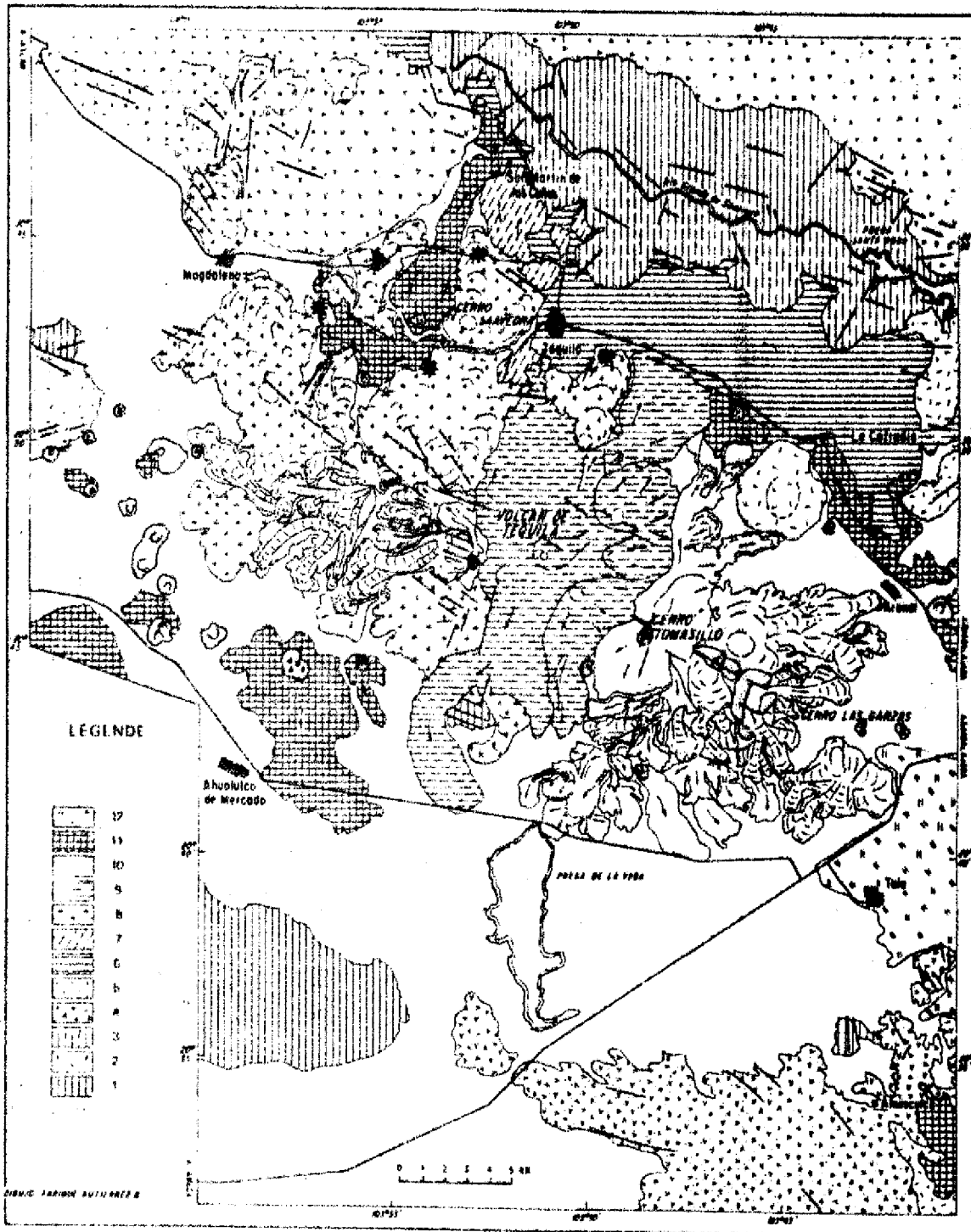


Figure 3 : CARTE GEOLOGIQUE DE LA REGION DE TEQUILA

- 1 - Andésites oligocènes
 - 2 - Ignimbrites oligo-miocènes
 - 3 - Volcanisme miocène supérieur
 - 4 - basaltique
 - 5 - ignimbritique
 - 6 - Volcanisme pliocène acide. Axe Transmexicain : Mesa basaltique Santa Rosa
 - 7 - Dacite de San Martín de las Cañas
 - 8 - Rhyolites
 - 9 - Andésites du Volcan de Tequila
 - 10 - Système adventif sud
 - 11 - Cônes scoriacés et coulées
 - 12 - Tuf de Tala.
- * - gisements d'obsidienne

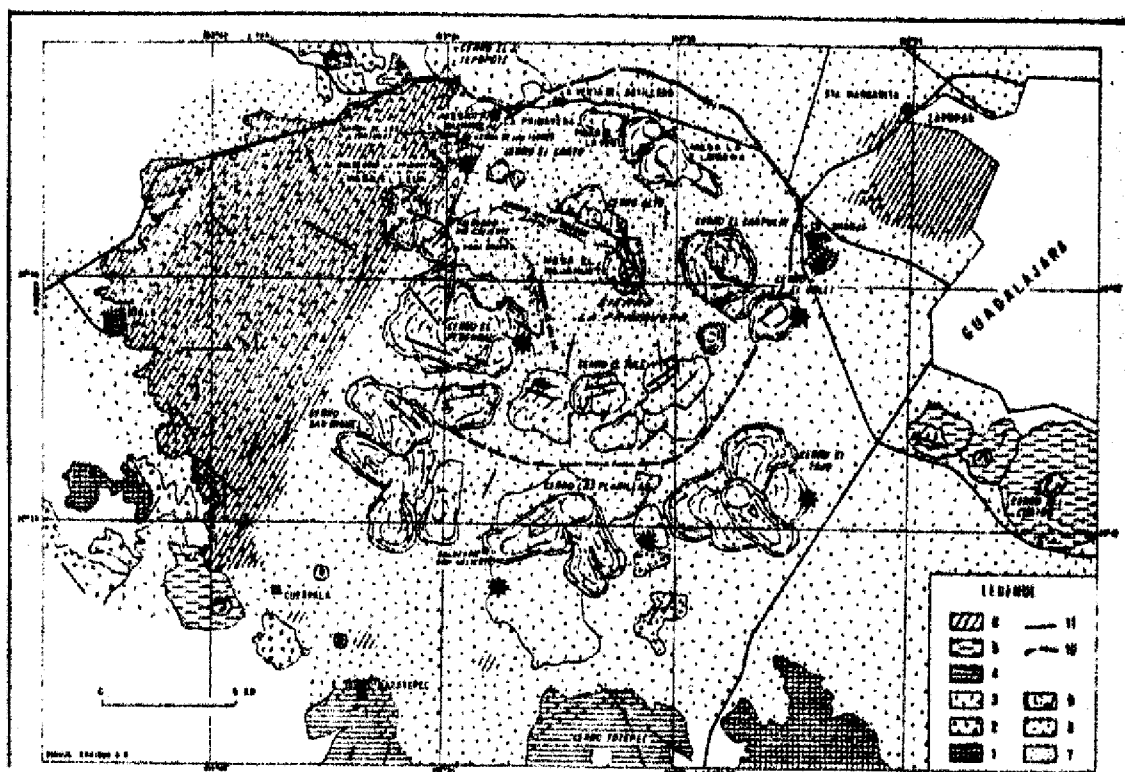


Figure 4 : CARTE GEOLOGIQUE DU MASSIF DE LA PRIMAVERA

1-Andésites oligocènes 2-Ignimbrites oligo-miocènes
 3-Ignimbrites pliocènes d'Acatlan 4-Volcans andésitiques pliocènes
 5-Volcans basaltiques et andésitiques quaternaires Caldera de La Primavera : 6-Tuf ignimbritique de Tala
 7-Dépôts sédimentaires intra-caldera 8-Ponces de retombées aériennes
 9-Dômes rhyolitiques 10-Limites approximatives de la caldera 11-failles principales.

de coloration verdâtre, et de microlites de sanidine. Du point de vue chimique, ces rhyolites se différencient par leurs teneurs relativement faibles en alumine, fortes en fer total, et par la présence d'aegyrine dans la norme CIPW, ce qui souligne la nature hyper-alkaline de ces magmas (Tableau I). Ce sont les seules laves de ce type au sein de l'axe Transmexicain (DEMANT 1981).

C. Le massif de Los Azufres (Mich.)

A l'est du lac de Chapala, s'ouvre un nouveau secteur, le Michoacan, rendu célèbre par l'éruption du volcan Parícutin en 1943-1952 (Fig. 2). C'est dans cette partie de l'axe Transmexicain que l'activité volcanique a été la plus intense durant le Quaternaire. Un grand nombre de volcans monogéniques, basaltiques à dacitiques, ont recouvert cette région qui s'étend jusqu'au système de failles Queretaro-Taxco (Fig. 2 ; DEMANT 1978). Les rhyolites sont cantonnées au massif de Los Azufres, dans le Michoacan nord-oriental.

Ce vaste massif, qui culmine à 3 600 m d'altitude, est situé à une dizaine de kilomètres à l'ouest de Ciudad Hidalgo (Fig. 5). Son sommet est formé par trois dômes rhyolitiques imposants qui sont recoupés par un réseau dense de fractures orientées E-W. Au pied de ce relief, au N et au NW, s'observent également des dômes de rhyolite, au sommet aplati, qui sont désignés localement sous le nom de mesa (Fig. 5). Des coulées relativement fluides, atteignant parfois près de 10 km de long, en sont issues. Au front de celles-ci, les faciès d'obsidienne sont relativement fréquents. Entre Ciudad Hidalgo, le lac de Cuitzeo et Acambaro, 19 dômes ont été reconnus (SILVA-MORA 1979 ; DEMANT 1981). Comme dans le cas de la région de Tequila, ces dômes ne sont cependant pas associés à une structure de type caldera.

Deux gisements d'obsidienne sont plus particulièrement intéressants. L'un est situé à l'entrée ouest de Zinapécuaro, il s'agit d'une carrière exploitée en bordure d'un dôme rhyolitique (Fig. 5) ; l'autre, plus important, se situe près de la piste menant à Ucareo, au lieu-dit Cruz Vieja (Feuille topographique DETENAL au 1/50 000ème Zinapécuaro E14A14). Un arroyo entaille à ce niveau une coulée d'obsidienne de plus de 30 m d'épaisseur, qui provient de la Mesa Grande (Fig. 5)¹.

Les obsidiennes de Zinapécuaro ont une coloration gris-vert ; elles renferment quelques cristaux de quartz et de feldspath. Celles d'Ucareo sont, par contre, totalement aphyriques et seuls de fins trichites alignés dans le sens d'écoulement de la lave s'observent en lame mince. Au point de vue chimique, les rhyolites de Los Azufres sont typiquement calco-alcalines (Tableau I), ce qui est clairement indiqué par la composition des phases minérales présentes dans les faciès de laves porphyriques (SILVA-MORA 1979).

D. Les obsidiennes de la partie orientale de l'Axe Transmexicain

À l'est des failles Queretaro-Taxco (Fig. 2), l'aspect du volcanisme change de manière brutale (DEMANT 1978). De grands strato-volcans andésitiques, entre lesquels se sont installées de vastes étendues lacustres, dominent en effet le haut-plateau central. Les volcans monogéniques sont groupés et alignés sur des directions tectoniques ENE-WSW au sud de Mexico, où ils forment la Sierra Chichinautzin (NEGENDANK 1973 ; BLOOMFIELD 1975 ; MARTIN DEL POZZO 1980), et plus à l'est dans la région San Salvador el Seco - Guadalupe Victoria (Fig. 2).

Les manifestations rhyolitiques n'apparaissent qu'à l'extrémité orientale de l'Axe, dans la caldera de Los Humeros ; elles forment également les dômes situés au sud de celle-ci : les Cerros Derrumbadas, Pinto, Pizarro et Las Águilas (Fig. 2). Du fait de leur mise en place dans une zone lacustre, l'édification de ces dômes a été précédée par des explosions phréato-magmatiques qui ont construit des anneaux de pyroclastites (DEMANT 1981).

La caldera de Los Humeros (Fig. 6) est, comme celle de La Primavera, une structure récente dont les dernières manifestations sont d'âge holocène. Précédant l'effondrement en caldera, de vastes épanchements basaltiques se sont mis en place, ainsi que quelques dômes rhyolitiques, tel que le Cerro Oyameles (Fig. 6). La forme convexe actuelle du massif résulte d'un bombement, lié à l'augmentation de pression dans la chambre magmatique, qui s'est produit avant

¹ L'abondance des éclats et des fragments travaillés parsemant le sol au N de Cruz Vieja, montre que des ateliers de taille ont fonctionné près de ce gisement.

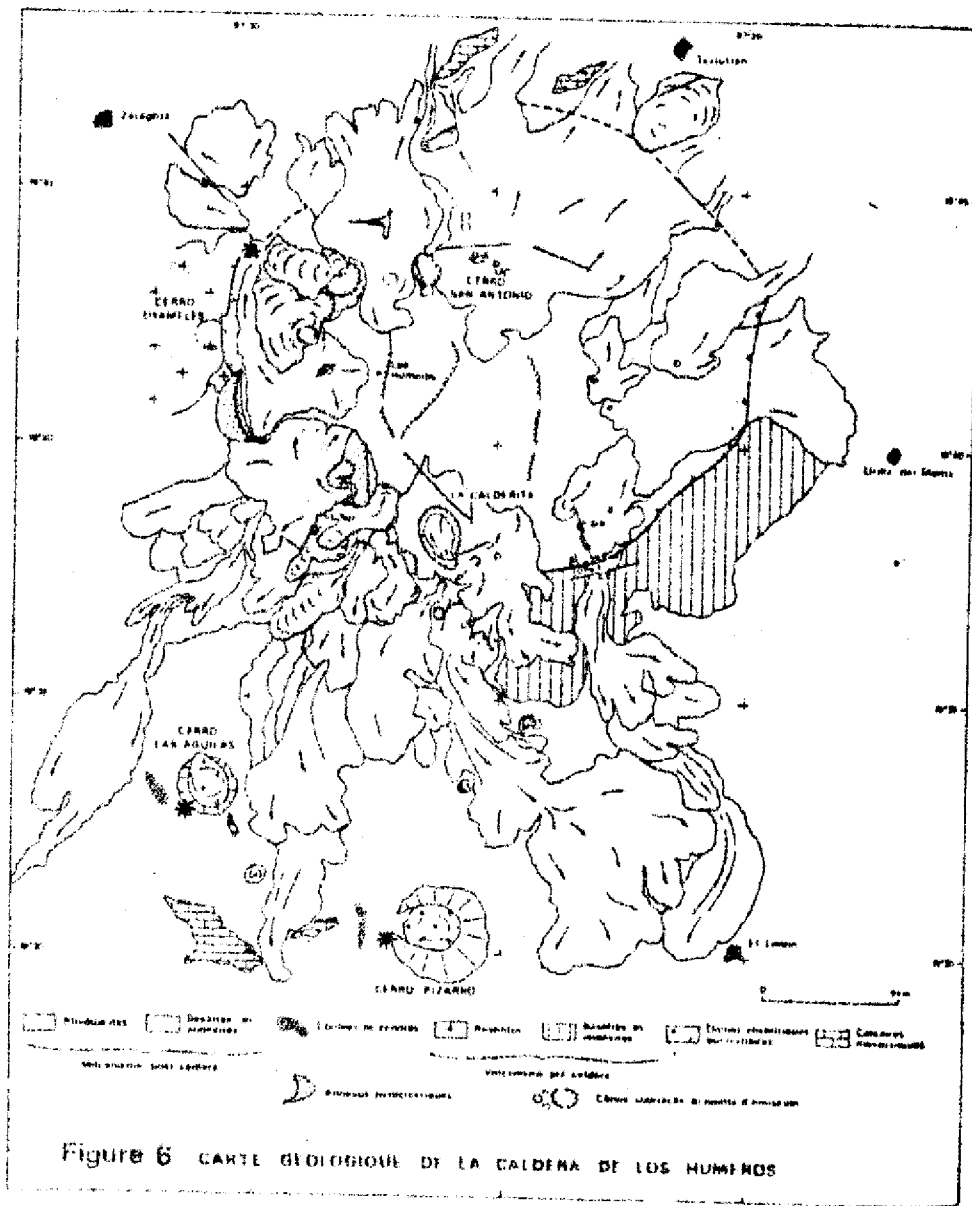


Figure 6 CARTE GÉOLOGIQUE DE LA CALDERA DE LOS HORNOS

que les magmas riches en gaz ne sortent sous forme de coulées de cendres et de retombées aériennes de ponces (DEMANT, 1981). La phase post-effondrement a été marquée par des émissions de lave ayant une composition bimodale : basaltes et andésites basaltiques, d'une part, coulées visqueuses dacitiques, d'autre part.

Les faciès d'obsidienne apparaissent essentiellement au nord du Cerro Oyamelas, au niveau où celui-ci est recoupé par la faille bordière de la caldera (Fig. 6) ; on observe ainsi parfaitement le passage progressif de l'obsidienne à la rhyolite. Il convient de noter que de nombreux fragments d'obsidienne partiellement fondus sont englobés dans les coulées basaltiques du rebord sud-est de la caldera, ce qui indique que des manifestations acides ont été recouvertes par les émissions postérieures.

En bordure des dômes rhyolitiques des Cerros Derrumbadas, Pizarro, Finto et Las Agullas (Fig. 6 et 7), s'observent parfois des faciès d'obsidienne. Ceux-ci sont cependant dispersés car il s'agit de blocs provenant des brèches d'écroulement qui ont accompagné le développement des dômes. Elles renferment quelques phénocristaux de biotite + plagioclase ± sanidine, mais surtout de très nombreux microlites de biotite et sanidine. Elles se distinguent, du point de vue chimique, par des valeurs plus élevées en Al_2O_3 et CaO (Tableau I).

CONCLUSION

Il existe dans l'Axe Transmexicain un certain nombre de gisements d'obsidienne qui étaient sans doute connus des civilisations pré-hispaniques. Les plus intéressants pour la confection d'outils sont ceux qui sont associés aux coulées rhyolitiques : région de Tequila, La Primavera et Ucareo. De véritables coulées d'obsidiennes s'observent même en certains endroits. Dans le cas de gisements situés en bordure de dômes acides, les lits d'obsidienne alternent avec des faciès microponcifiés gris et le diaclasage marqué de la roche rend la taille plus difficile.

Les analyses pétrographiques et chimiques permettent de déterminer si les outils d'obsidienne présents sur un site proviennent de tel ou tel gisement situé dans la région. Elles servent en particulier à caractériser chacun des quatre secteurs de l'Axe Transmexicain. Dans le cas d'une origine plus lointaine, la détermination du lieu de provenance du matériel devient rapidement plus complexe : il existe en effet au nord de l'Axe Transmexicain d'importantes manifestations acides de type ignimbritique, d'âge miocène à pliocène, auxquelles sont associés également des dômes et des coulées rhyolitiques. Les variations minéralogiques et chimiques étant, en outre, relativement restreintes dans les termes magmatiques les plus différenciés (rhyolite), il devient difficile de distinguer par ces seuls critères de nombreux gisements. Enfin, il ne faut pas oublier que les méthodes pétrographiques et chimiques sont destructives : il faut broyer l'échantillon pour réaliser une analyse chimique ou le polir jusqu'à une épaisseur de 3/100e de mm pour obtenir une lame mince. Il n'est donc pas toujours possible de les employer sur des outils pré-hispaniques.

BIBLIOGRAPHIE

- BLOOMFIELD, K. A late Quaternary monogenetic volcano field in central Mexico, 1975 *Geology Rundschau* v. 64, pp. 476-497.
- CORDOBA, D.A., M. TARDY, J.C. CARFANTAN, M.F. CAMPA, C. RANGIN. Le Mexique mésogéen et le passage au système cordilleraire de type Californie 28e Congrès de Géologie Internationale, Colloque C5, Géologie des chaînes alpines issues de la Téthys, pp. 18-29. Paris.
- DEMANT, A. Características del Eje Neovolcánico Transmexicano: y sus problemas de interpretación; *Revista* v.2, pp. 172-187, Instituto de Geología U.N.A.M., México D.F.
- DEMANT, A. Vulcanología y petrografía del sector occidental del Eje Neovolcánico; *Revista* v.3, pp. 39-57, Instituto de Geología, U.N.A.M., México D.F.

- DEMANT, A. 1981 *L'Axe néo-volcanique transmexicain. Etude volcanologique et pétrographique. Signification géodynamique.* Thèse de Doctorat d'Etat, Université Aix-Marseille III, Marseille.
- DEMANT, A., R. MAUVOIS, et L. SILVA-MORA 1976 *El Eje Neovolcánico. III Congreso Latinoamericano de Geología, Libro-guía 4, Acapulco, MEXIQUE.*
- ERFFA, A. von, W. HILGER, K. KNOBLICH, et P. WEYL 1977 *Geologia de la cuenca alta de Puebla-Tlaxcala. Das Mexiko Projekt der Deutschen Forschungsgemeinschaft, IX, F. Steiner Verlag, Wiesbaden, ALLEMAGNE FEDERAL*
- MAHOOD, G.A. 1980 *Geological evolution of a Pleistocene rhyolitic center: Sierra La Primavera, México; J. Volcanol. Geotherm. Res. v.8, pp. 199-230.*
- MAHOOD, G.A. 1981 *Chemical evolution of a Pleistocene rhyolitic center: Sierra La Primavera, Jalisco, México; Contribut. Mineralog. Petrolog. v.77, pp.129-149.*
- MARTIN DEL POZZO, A.L. 1980 *Vulcanologia de la Sierra Chichinautzin. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias, U.N.A.M. México D.F.*
- MOOSER, F. 1972 *The Mexican volcanic belt; structure and tectonics; Geofisic International v.12, pp. 57-70.*
- NEGENDANK, J.F.W. 1973 *Some aspects of volcanic rocks of the Valley of Mexico; Bulletin Volcanolog. v.37, pp. 292-303.*
- NIXON, G.T., J.E. HARKEL, R.L. ARMSTRONG, et A. DEMANT (à paraître) *Potassium-argon geochronometry of Quaternary volcanic rocks in the Trans-Mexican Volcanic Belt.*
- SILVA-MORA, L. 1979 *Contribution à la connaissance de l'Axe volcanique transmexicain: étude géologique et pétrologie des laves du Michoacan oriental.* Thèse de Doctorat Ingénieur, Université Aix-Marseille III, Marseille
- TARDY, M. 1980 *Contribution à l'étude géologique de la Sierra Madre orientale du Mexique.* Thèse de Doctorat d'Etat, Université Pierre et Marie Curie. Paris.

LOCALISATION DES ECHANTILLONS FIGURANT DANS LE TABLEAU I.

- 627 Front de coulée, 3 km à l'ESE de Tequila, en bordure de la voie ferrée Guadalajara - Tepic.
Feuille topographique TEQUILA, F13D54 (20°52'10"N - 103°49'00"W)
- 619 Front de coulée provenant du Cerro Saavedra, en bordure de la route Guadalajara - Tepic.
Feuille topographique TEQUILA, F13D54 (20°54'35"N - 103°51'57"W)
- 275 Coulée rhyolitique de Santa Teresa.
Feuille topographique TEQUILA, F13D54 (20°54'21"N - 103°55'15"W)
- 633 Front de coulée au sud de Magdalena.
Feuille topographique TEQUILA, F13D54 (20°53'08"N - 103°56'12"W)
- 90 Coulée du Cañon de las Flores, analyse in MAHOOD (1981).
Feuille topographique GUADALAJARA OESTE F13D65
20°42'30"N - 103°34'30"W

TABLEAU 1 : ANALYSES CHIMIQUES D'ORSIDIENNES DE L'AXE TRANSMEXICAIN

	627	619	275	633	90	290	175	73	40	443	1166	49
SiO ₂	73,70	73,88	74,12	75,28	75,23	76,02	76,14	76,81	76,82	76,14	76,72	73,39
TiO ₂	0,24	0,07	0,10	0,10	0,15	0,12	0,12	0,08	0,08	0,18	0,11	0,06
Al ₂ O ₃	13,32	13,24	13,34	12,98	12,05	11,32	11,43	11,65	11,67	12,92	12,20	14,56
Fe ₂ O ₃	0,07	0,32	0,47	0,33	0,71	0,73	0,84	0,71	0,66	0,22	1,02	0,40
FeO	1,06	1,01	1,05	0,93	1,29	1,02	0,95	0,76	0,81	0,74	-	0,79
MnO	0,04	0,06	0,05	0,05	0,06	0,04	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,05
MgO	0,14	0,12	0,07	0,12	0,06	0,04	0,05	-	-	0,08	0,27	0,13
CaO	0,74	0,50	0,47	0,48	0,34	0,22	0,24	0,23	0,23	0,84	0,45	0,97
Na ₂ O	4,70	4,69	4,27	4,65	4,76	4,62	4,66	4,68	4,62	4,36	3,85	4,64
K ₂ O	4,96	5,64	5,17	5,46	4,22	4,50	4,54	4,39	4,39	4,55	4,75	4,03
P ₂ O ₅	0,02	0,02	0,01	0,01	-	-	-	-	-	0,01	-	0,06
H ₂ O ⁺	0,30	0,19	0,22	0,14	-	-	-	-	-	0,48	0,54	0,89
H ₂ O ⁻	0,03	0,02	0,06	0,01	0,81	1,05	0,96	0,76	0,87	0,01	0,01	-
Total	99,32	99,76	99,40	100,54	100,16	99,68	99,98	100,11	100,19	100,36	99,95	100,05
Q	25,60	24,91	27,65	27,32	30,09	33,94	33,42	33,78	33,82	31,75	34,60	27,47
Or	29,34	33,36	30,58	32,30	28,10	26,99	27,12	26,14	26,14	26,95	28,27	24,06
Ab	39,72	36,58	36,09	36,34	35,82	33,53	33,74	35,61	35,72	36,90	32,74	39,58
An	0,56	-	1,92	-	-	-	-	-	-	2,21	1,95	4,50
Ag	-	1,40	-	1,41	2,60	2,99	3,21	2,49	2,25	-	-	-
Di	2,59	2,06	0,31	2,02	1,50	0,98	1,06	1,03	1,03	0,79	0,25	3,70
Hy	0,57	1,07	1,48	0,88	1,60	1,36	1,22	0,80	0,89	0,73	1,61	-
Mt	0,10	-	0,68	-	-	-	-	-	-	0,32	0,30	0,31
Ilm	0,46	0,13	0,19	0,19	0,29	0,23	0,21	0,15	0,15	0,34	0,21	0,12
Ap	0,05	0,05	0,02	0,02	-	-	-	-	-	0,02	-	0,14

- 290 Coulées du *balneario* Agua Caliente, in MAHOOD (1981).
Feuille topographique GUADALAJARA OESTE, F13D65
20°33'30"N - 103°34'00"W
- 175 Coulées du Cerro El Pedernal, in MAHOOD (1981).
Feuille topographique GUADALAJARA OESTE, F13D65
20°39'00"N - 103°33'00"W
- 73 Obsidienne de l'Arroyo Colorado, in MAHOOD (1981).
Feuille topographique GUADALAJARA OESTE, F13D65
20°34'30"N - 103°30'30"W
- 40 Coulée est du Cerro El Tejo, in MAHOOD (1981).
Feuille topographique GUADALAJARA OESTE, F13D65
20°35'30"N - 103°27'15"W
- 443 Front de coulée de la Mesa Grande, 1 km à l'ESE du hameau de La Colonia.
Feuille topographique ZINAPECUARO, E14A14 (19°53'40"N - 100°45'41"W)
- 1166 Rhyolite du Cerro Oyameles, rebord NW de la caldera de Los Humeros.
Feuille topographique 1/100 000^e Defensa Nacional TEZIUTLAN, 14Q-1(1)
19°43'30"N - 97°29'50"W
- 49 Brèche des Cerros Derrumbadas, en bordure de la route fédérale 140
Puebla - Jalapa, in von ERFFA et al (1977).
Feuille topographique 1/100 000^e Defensa Nacional HUAMANTLA, 14Q-1(4)
19°17'30"N - 97°29'55"W