

# Géologie de la Sierra Madre orientale, de Pachuca à Ciudad Victoria

*Bertrand Guérin-Desjardins*

## INTRODUCTION

La Sierra Madre Orientale du Mexique est une province géologique, et également géographique, du Mexique. Elle se distingue très nettement, par différents caractères, des autres provinces géologiques que l'on a coutume de séparer dans ce pays. La Sierra Madre Orientale s'étend du nord au sud, depuis la frontière des Etats-Unis jusqu'à la frontière du Guatemala; elle est recouverte, mais non interrompue dans le centre du pays, par la zone de volcanisme récent (Popocatépetl, Ixtacihuatl etc.). Son trait principal est d'être une chaîne plissée au cours de la phase tectonique pyrénéenne, c'est-à-dire Eocène supérieur, constituée essentiellement par des terrains sédimentaires d'âge secondaire, marins pour la plus grande partie. L'état actuel de la Sierra montre de hauts reliefs (plus de 3 000 m) témoignant d'une érosion jeune, en pleine activité, avec des dénivelées et des pentes parfois très fortes, qui masquent partiellement ou totalement les états antérieurs correspondant à des surfaces de stabilisation de l'érosion ou à des reprises de celle-ci.

Elle s'oppose ainsi à la province géologique (et géographique) qui la borde à l'est, la plaine côtière (terres chaudes) où les altitudes des reliefs adoucis s'étagent de 0 à 300 m, et qui est constituée par des terrains sédimentaires marins tertiaires plissés modérément au cours de phases orogéniques ultérieures à la phase majeure pyrénéenne. C'est au contraire plus géographiquement que géologiquement qu'elle se distingue de la province qui la borde à l'ouest, celle des hauts plateaux, car ceux-ci formés par des massifs volcaniques d'âge oligomiopliocène, et de vastes étendues presque horizontales de sédiments détritiques continentaux post-volcaniques, sont en fait la couverture superficielle d'un

soubassement qui appartient à la Sierra Madre Orientale. Les multiples "fenêtres" qui laissent apparaître ce soubassement le montrent formé de terrains de même âge et de même configuration tectonique que ceux de la Sierra. La limite ouest de la Sierra est donc une mauvaise limite géologique, alors que c'est une bonne limite du point de vue purement morphologique et surtout climatique.

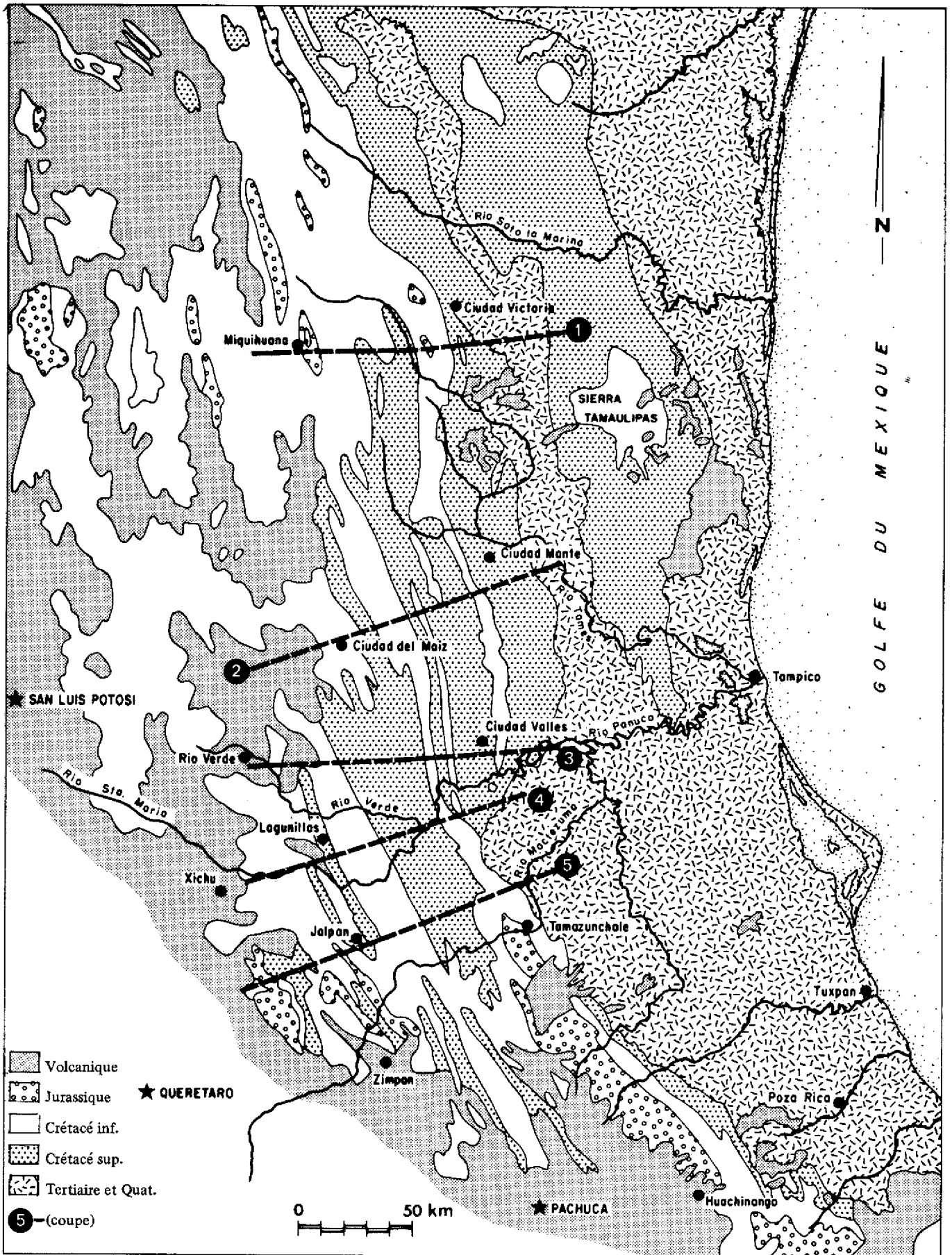
La Sierra Madre elle-même, parce qu'elle étage d'est en ouest des pentes à versant atlantique, une ligne de hautes crêtes où s'arrêtent ces versants, des vallées internes plus ou moins larges, une série de très hauts sommets et des pentes à versant occidental, face à la zone des plateaux, eux-mêmes, plus à l'ouest encore, séparés par la Sierra Madre Occidentale du versant pacifique, ne constitue pas une unité climatique mais, au contraire, un domaine où la rapidité des changements climatiques est remarquable. Les courbes de pluviosité comme les variations de la végétation, sont là pour le souligner.

## I - STRATIGRAPHIE

### *Précambrien*

#### 1. Le problème du socle

En dessous des roches sédimentaires déposées successivement dans des milieux tantôt marins, tantôt continentaux, au cours de l'histoire géologique de la région, et ultérieurement plissées pour constituer l'actuelle Sierra, existe une portion de la croûte terrestre particulière qui s'en distin-



Fond géologique très sommaire et non mis à jour tiré de la carte du Congrès de Géologie de 1956.

gue nettement pétrographiquement et tectoniquement. Elle est constituée par des roches dont l'origine peut être soit profonde (magmas refroidis donnant les roches éruptives de profondeur), soit sédimentaire, mais qui s'étant toutes trouvées soumises à des conditions de forte pression, de forte température ou de voisinage avec des circulations d'eaux chaudes, ont subi une rééquilibration chimique pouvant aller jusqu'à effacer complètement leur origine. C'est le domaine des roches cristallines, éruptives ou métamorphiques qui, pris dans son ensemble, acquiert une certaine rigidité vis-à-vis des mouvements tectoniques (ou orogéniques) en comparaison des roches sédimentaires réagissant avec plus de souplesse. A ce domaine a été donné le nom de socle.

La Sierra Madre Orientale ne laisse apparaître qu'en de très rares endroits le socle qui lui correspond; en ces endroits, on découvre qu'entre la série sédimentaire relativement connue, qui constitue les plis de la Sierra, et ce socle, existent, mais d'une manière très discontinue dans leur étendue, de très épaisses formations, sédimentaires elles-mêmes, pas ou très peu métamorphosées. Comme il n'a pas été mis en évidence ni qu'une partie de ce sédimentaire appartient au Précambrien, ni qu'une partie du cristallin fut en fait d'âge primaire ou postérieur, alors que les datations par méthodes radioactives prouvent l'âge précambrien de certains échantillons cristallins, on admet, pour le moment, ce qui n'est pas du tout un cas général, que les deux groupes différents par leurs lithologies le sont aussi par leurs âges: le socle cristallin est précambrien, ou tout au plus cambrien; le sédimentaire qui le surmonte ayant, dans ses couches les plus anciennes, fourni des fossiles du Silurien, commence sans doute avec cet étage. Le métamorphisme lui-même se trouve ainsi considéré comme pré-Silurien.

## 2. Les formations

a) Les formations que nous allons décrire dans leurs lieux respectifs, gneiss Huiznopala, schistes Granjeno, et quartzite La Presa, n'ont pas été séparées sur la carte. L'ensemble est groupé et représente le Précambrien, de symbole Pr.

b) Les régions où affleurent les roches cristallines présentent cette caractéristique commune d'être des coeurs d'anticlinaux réguliers de formations mésozoïques, tous deux situés dans la région des plis frontaux de la Sierra, L'érosion de la couverture sédimentaire jusqu'au niveau du

socle a, de plus, été facilitée par sa moindre épaisseur dans ces deux régions. Ce sont:

- l'anticlinal de Peregrina, à l'ouest de Ciudad Victoria,
- l'anticlinorium de Huayacocotla, au nord-est de Pa-chuca, où, dans trois anticlinaux différents voisins, affleure le cristallin.

### c) L'anticlinal de Peregrina

Les différents ravins profonds qui entaillent d'ouest en est le front de la Sierra à l'ouest et au nord-ouest de Ciudad Victoria (cañons du Novillo, de Peregrina, de Caballero), permettent d'atteindre le coeur de l'anticlinal, et montrent, au contact faillé de formations paléozoïques, des gneiss, des schistes et des quartzites. Ces formations ont été décrites par Carillo Bravo (1961) et un essai de datation radioactive exécuté sous la direction de K. Friès (1962).

Les gneiss représentent sans doute la partie la plus ancienne de cet ensemble; ils sont à grains fins, gris clair, et contiennent à côté des cristaux de quartz et de feldspath, des grenats rouges. Ils forment des bancs épais. Leur épaisseur est estimée à 400 m. Ces gneiss passent localement à des granites à gros cristaux, presque blancs.

Les schistes cristallins sont lustrés, et contiennent de la chlorite, du mica blanc (muscovite), du quartz, du graphite. Leur épaisseur pourrait atteindre 700 m. L'ensemble a reçu le nom de *esquitos Granjeno*. Le contact entre les schistes et les gneiss étant faillé, il y est difficile de trancher s'il s'agit d'une discordance ou d'un passage latéral (Friès 1962).

Les quartzites, à côté du quartz dominant, contiennent un peu de feldspath et de mica. On rencontre aussi, les accompagnant, quelques clacaires siliceux métamorphiques. L'épaisseur de cet ensemble, probablement discordant sur les formations précédentes, est de l'ordre de 100 m. Le nom donné à cette formation est *cuarcita La Presa*. Au sommet se trouve la discordance fondamentale, soulignée par la conglomérat Naranjal attribué au Silurien, par lequel débute les séries non métamorphiques.

### d) L'anticlinorium de Huayacocotla

400 km à vol d'oiseau séparent cette nouvelle zone d'affleurements de la précédente. Celle-ci forme tout d'abord un grand massif à l'ouest et au nord de Huiznopala (20 km au nord de Molango), puis deux zones d'affleurements réduits dans l'arroyo Jalapa, à l'est de Tlanchinol; enfin trois ravins au flanc est de l'anticlinal de Huayacocotla traversent une petite zone de gneiss entre le Permien et l'enfoncement sous le Mésozoïque.

L'ensemble ayant surtout du gneiss a reçu le nom de Huiznopala. Il est interstratifié avec quelques rares niveaux de quartzites ou de schistes et recoupé par quelques filons d'aprites et de pegmatites. L'épaisseur est estimée par K. Friès (1965) à 1 700 m. L'âge donné par la méthode radioactive est: 1 210 millions d'années ( $\pm 140$ ), ce qui correspond à du Précambrien tardif.

### 3. Conclusions

---

K. Friès (1965) rapproche l'ensemble de ces formations du complexe métamorphique du centre de l'état du Oaxaca. Comme, selon lui, elles représentent toutes le terme du métamorphisme de très épaisses séries sédimentaires schisteuses et gréseuses, il propose d'appeler leur domaine de sédimentation qui s'étend sur 750 km depuis Oaxaca jusqu'au-delà de Ciudad Victoria, le *geosinclinal oaxaqueño* (géosynclinal de Oaxaca) et de donner à l'orogénie qui affecta ce géosynclinal le nom d'*orogenia oaxaqueña* (orogénie oaxaquénienne).

### Paléozoïque

#### 1. Introduction: le problème du paléozoïque

---

Comme nous l'avons signalé au chapitre précédent, les deux anticlinaux de Peregrina et de Huayacocotla dont le coeur est érodé jusqu'au socle, montrent qu'il peut exister entre celui-ci et la couverture mésozoïque, des formations sédimentaires marines qui, grâce à leurs fossiles, ont été datées du Paléozoïque. Ces formations sont encadrées par deux grandes discordances fondamentales, l'une à la base, l'autre au sommet, en plus d'une discordance interne. Aussi, il devient absolument impossible de prédire, en tout autre point de la Sierra, quelles sont les zones de présence ou d'absence de Paléozoïque et sous quelle épaisseur il peut y être présent. La solution d'un tel problème, aux grandes répercussions pétrolières, ne peut être envisagée que par des méthodes géophysiques et postérieurement par des sondages. Sur le plan théorique, il laisse subsister un vaste doute, évident dans les coupes tectoniques, sur la manière dont a pu participer ou ne pas participer à l'orogénie tertiaire l'ensemble paléozoïque. Cette question se pose précisément parce que la série sédimentaire mésozoïque elle-même ne contient pas de niveau permanent, nettement plus plastique que tout autre, pouvant servir partout de surface de décollement.

### 2. Les formations

---

a) Les formations que nous allons décrire dans leurs lieux respectifs n'ont pas été séparées sur la carte dans la région de Ciudad Victoria (coupure 1). L'ensemble, y compris la formation Guacamaya du Permien, est groupé et représente le Paléozoïque de symbole Pal. Dans la région de Huayacocotla, où le Paléozoïque n'est représenté que par la formation Guacamaya, celle-ci a été isolée; son symbole est Pg. Enfin, nous signalons ici même que le groupe de formations dites Tolimán, d'âge non déterminé, pourrait peut-être représenter en partie des formations également paléozoïques. Aux environs de Miquihuana, dans les limites de notre secteur, ont été signalés (Imlay 1944) des schistes supposés paléozoïques que nous n'avons pas étudiés; dans la sierra de Catorce, à l'ouest de notre zone, des roches détritiques partiellement métamorphisées, sont attribuées au Paléozoïque (Baker 1922; Imlay 1943).

#### b) Série de Ciudad Victoria

Surmontant par la discordance fondamentale postérieure à l'orogénie oaxaquénienne, les terrains métamorphiques, on trouve dans le cañon de Peregrina les formations suivantes, de bas en haut:

Un conglomérat, appelé Naranjal, post-métamorphique puisqu'il contient des galets de gneiss, de schistes et de quartzites provenant des formations sous-jacentes. Son épaisseur est limitée à 40 m. L'absence de fossiles rend difficile la datation; Carrillo Bravo (1961) le suppose cambrien, alors que Friès (1962) le considère du même âge que la formation plus élevée datée du Silurien par des fossiles.

Un calcaire, appelé Victoria, de quelque 20 m d'épaisseur. Des coraux et des brachiopodes (*Rafinesquina* sp) y ont été trouvés. Attribué au Silurien inférieur par Carrillo Bravo (1961), supérieur par Friès (1962).

Une série dite Caballerangos (ou cañon de Caballeros, nom postérieur donc à abandonner) d'une épaisseur totale de 100 m, comprenant une alternance de calcaires sombres et de schistes noirs, puis une alternance de calcaires sombres et de grès fins quartzeux, où l'on a trouvé des coraux, des brachiopodes, des trilobites, enfin des schistes et des schistes gréseux contenant également des brachiopodes. L'âge prouvé est silurien supérieur.

Une série dite La Yerba, de 70 m d'épaisseur, comprenant des calcaires dolomitiques, des grès gris-vert, des schistes noirs ou gris-vert, ayant des plantes, enfin des roches sili- ceuses à brachiopodes. Ces différents fossiles ont permis de dater cette série du Devonien.

Une série détritique, baptisée Vicente Guerrero par Carrillo Bravo (1961) mais à laquelle il serait plus régulier de laisser le nom donné par A. Heim (1940) de Peregrina.

Elle est constituée par des schistes noirs et des grès gris foncé, à ciment siliceux, à grain moyen grossier, avec des nœuds conglomératiques. Des brachiopodes et des foraminifères ont permis de dater cette série du Carbonifère inférieur (Mississipien). L'épaisseur est de 160 m. Au sommet, une discordance angulaire séparant cette série de la suivante permet de déceler l'action d'une phase tectonique mineure, la phase coahuilienne (post-Mississipien, pré-Pennsylvanien). Cette phase est également connue dans les affleurements primaires à l'est de Chihuahua.

Au-dessus de la discordance, la formation Del Monte, de 200 m d'épaisseur, débute par un conglomérat à ciment marneux et à éléments empruntés aux formations précédentes, suivi par des calcaires gréseux foncés, ayant fourni des coraux, des crinoïdes, des goniatites, des fusulines puis par des schistes noirs et gris-vert. L'âge est carbonifère supérieur (pennsylvanien).

La série primaire comprend finalement une épaisse formation de flysch, alternance régulière de grès, de conglomérats, de schistes foncés, de grès à éléments de feldspaths (grauwackes), de calcaires gris clair ou gris foncé à fusulines. Cette série a reçu le nom de Guacamaya. Son épaisseur dépasse peut-être les 1 000 m. L'âge prouvé par les fusulines est permien. La base est peut-être une discordance, peu visible. Son sommet est une discordance fondamentale, témoignant de la phase orogénique tamaulipienne (*tamaulipica*).

c) Dans la région entre Molango et Calnali, tout le cœur de l'anticlinal de Huayacocotla est occupé par le flysch permien de la formation Guacamaya. L'épaisseur pourrait atteindre 1 500 m. A 10 km à l'ouest, sur les gneiss de l'anticlinal de Huiznopala, le Permien est absent: ceci montre l'importance des érosions qui ont suivi la phase orogénique tamaulipienne. Enfin, cette phase orogénique annonce une émergence générale de tout le domaine de la Sierra jusqu'à la grande transgression du Jurassique supérieur, émergence interrompue seulement par un golfe localisé de mers liasiques.

#### Mésozoïque - Trias - Formation Huizachal

a) Le nom a été créé par D.R. Seemes en 1921 (publié en 1948 par Imlay). Huizachal est un rancho et un cañon au sud-ouest de Ciudad Victoria. Le symbole est Th.

b) Cette formation est bien développée dans le cœur de l'anticlinal du Huizachal, qui lui a donné son nom, et dans les différents ravins de la sierra de Ciudad Victoria. Au sud, on trouve des affleurements de plus grande étendue sur les deux flancs de l'anticlinal de Huayacocotla. Enfin,

cette formation a été signalée à Miquihuana, et, en dehors de notre zone, dans la sierra de Catorce.

c) Le terme de molasse se justifie pour désigner le type de sédimentation correspondant à la lithologie variable de cette formation. On trouve en alternance des argiles, des argilites, des argiles sableuses, des grès plus ou moins grossiers, des conglomérats à galets arrondis de quartz et de roches vertes principalement. Les couleurs peuvent être vert, gris-verdâtre, le plus souvent rouge. On est donc en présence d'une molasse continentale.

La base est une discordance angulaire au-dessus de formations du Paléozoïque ou même du Précambrien. Le sommet est aussi une discordance angulaire que peuvent suivre soit le Lias marin, soit le Jurassique moyen continental, soit le Jurassique supérieur marin.

L'épaisseur, dans les coupes les plus complètes, dépasse 2 000 m. Ailleurs, l'érosion terminale est responsable d'épaisseurs moindres ou même de la disparition complète de la série.

Des plantes trouvées dans cette molasse ont donné un âge du Trias supérieur. La présence du Trias inférieur n'est donc pas prouvée. Il n'est pas non plus impossible que cette série ne comprenne une partie du Lias inférieur.

#### Lias - Formation Huayacocotla

a) Le nom a été créé par Imlay (*et al.*) en 1948. Huayacocotla est un village à 50 km au nord de Tulancingo. Le symbole est Jhy.

b) La formation Huayacocotla est inconnue dans l'anticlinal de Peregrina-Huizachal. Elle s'est développée largement depuis les environs de Huauchinango (peut-être même plus au sud) jusqu'au nord de Pisaflores, région où elle affleure à la faveur de différents anticlinaux. Mais elle n'existe pas dans les anticlinaux de Ciudad Victoria, où le Jurassique moyen continental repose sur le Trias supérieur continental.

Aussi, du point de vue paléographique, l'extension des mers liasiques est loin d'avoir couvert la totalité du domaine de la Sierra Madre. Il faut, au contraire, se représenter un golfe d'extension limité au sud-est de la zone étudiée.

c) Pétrographiquement, cette formation est constituée par des schistes argileux noirs. Aux environs du lieu même de sa définition, on trouve souvent des plaquettes rubannées ou varvées et quelques bancs de grès. Dans la région de Pisaflores, la série est essentiellement schisteuse.

La base est une discordance angulaire sur les séries rouges du Trias (Huizachal). Le sommet peut être, avec une dis-

cordance angulaire, soit de nouvelles formations rouges (Jurassique moyen), soit la formation Tamán (Jurassique supérieur).

L'épaisseur de 400 m à Huayacocotla atteint 500 m à Pisaflores.

Cette formation est surtout remarquable par les fossiles qu'elle contient. De nombreuses ammonites: *Coroniceras*, arietites, *Oxynoticeras*, *Echioceras*, *Microderoceras*, ont mis en évidence le Sinémurien inférieur et supérieur. Des plantes (continentales) ont été trouvées par Díaz Lozano (1916) puis citées par Buckhardt (1930), Maldonado-Koerdell (1950) et M.K. Erben (1956) d'âge pliensbachien. Cependant, une révision sur le terrain serait nécessaire pour préciser si elles ne représentent pas déjà l'apparition des faciès continentaux régressifs postérieurs au Lias inférieur marin.

### *Jurassique moyen continental*

Quoique très voisines par leur faciès, deux formations continentales ont été distinguées, l'une au nord (environs de Ciudad Victoria), l'autre au sud (environs de Huayacocotla), car leur âge n'est pas connu avec suffisamment d'exactitude pour qu'on soit sûr d'une corrélation exacte. Ces formations étaient jadis confondues avec la formation Huizachal à cause de la similitude des faciès. C'est le mérite de l'équipe de la Pemex (Carrillo Bravo *et al.*) d'avoir prouvé, dans les deux régions respectives, l'existence de deux séries différentes.

### **1. Formation Cahuassas**

---

a) Le nom a été créé par J. Carrillo Bravo, en 1961. Cahuassas est un rancho sur le fleuve Amajaque, à 40 km au nord de Molango. Le symbole est Jcs.

b) Pétrographiquement, cet ensemble de couches rouges a de grandes ressemblances avec la molasse triasique. Des argiles, des argilites alternent avec des grès, des grauwackes, et quelques conglomérats à galets de quartz et de grès. Il s'agit encore là d'une sédimentation typiquement continentale.

Les fossiles trouvés ont été quelques restes de plantes. L'âge jurassique moyen est probable, sans qu'on puisse fixer avec certitude si une partie du Jurassique inférieur n'est pas également comprise dans cette formation.

La base est une discordance angulaire sur la formation Huayacocotla.

Le sommet est aussi une discordance angulaire plus importante et bien visible au lieu de définition de la forma-

tion (même sur photo aérienne). Au-dessus, on trouve la corniche calcaire claire de la calcarénite Tepexic ou des premiers bancs de la formation Tamán.

L'épaisseur correspond au minimum à 400 m.

Cette formation termine le cycle sédimentaire à dominante continentale qui se déroule depuis le Trias, avant la grande transgression marine du Jurassique supérieur.

### **2. Formation La Joya**

---

a) Le nom a été créé par Mixon, en 1938. La Joya est un rancho dans la cluse du Huizachal. Le symbole est Jj.

b) La formation La Joya est constituée par un conglomérat basal d'épaisseur variable, depuis quelques centimètres jusqu'à 20 m à galets de roches éruptives, métamorphiques ou provenant des couches rouges sous-jacentes, puis, après un mince niveau calcaire conglomératique par une série d'argiles, d'argilites, de grès, de couleur rouge, verte et gris-vert.

La base est discordante sur la formation Huizachal. Le sommet est localement en légère discordance sous la formation Zuloaga. Cependant, la formation La Joya peut rapidement disparaître par biseau stratigraphique: aussi l'épaisseur est-elle variable, au maximum de 65 m.

On y a trouvé quelques gastéropodes d'âge imprécis, définissant simplement le Jurassique moyen et supérieur. L'âge admis est callovien.

### *Jurassique supérieur*

#### **1. Généralités**

---

a) A partir du Jurassique supérieur, les zones occupées par les formations de cette période et des périodes suivantes sont vastes, alors que toutes les formations précédentes n'affleurent que dans des régions limitées. Le Jurassique supérieur est partout présent entre les séries continentales rouges, précédemment décrites, qui correspondent à de longues périodes d'émersion, et les formations marines du Crétacé. Mais il peut recouvrir indifféremment les formations qui lui sont antérieures. Ainsi, il représente d'une manière caractéristique la base d'une grande transgression, c'est-à-dire de réenvahissement par la mer des zones émergées. Le caractère sédimentologique assez général de ces formations du Jurassique supérieur (en exceptant la zone immédiate de Tolimán où les dépôts chargés en grès et en grauwackes correspondent à une région côtière) est d'être franchement marines, mais de mer de peu de profondeur. Ainsi, elles re-

présentent une sédimentation épicontinentale plus que géo-synclinale.

b) Dans la région prise comme limite de notre étude, le Jurassique supérieur est présent dans les cinq zones suivantes:

1) Au nord-est, la zone de Miquihuana et de la sierra del Agua de Afuera, non étudiée et sur laquelle nous n'avons pas trouvé de publications détaillées.

2) La zone de Peregrina et de Huizachal, près de Ciudad Victoria. Les faciès du Jurassique supérieur se rattachent à ceux rencontrés plus au nord et à l'est (Sierra Madre Orientale entre Monterrey et Torreón): ils appartiennent aux formations Zuloaga Olvido et La Casita.

3) Au sud, la zone de l'anticlinorium Tamán (près de Tamazunchale)- Huayacocotla. Les trois formations distinguées sont Tepexic, Tamán, et Pimienta (nom provisoire, sans doute remplacé un jour par Cueva de los Arrieros).

4) Au sud-est, la zone de Tolimán - col de las Trancas, où l'ensemble du Jurassique supérieur est groupé dans la formation Las Trancas.

5) Au sud-ouest, la zone de Cuetzalan, non étudiée.

c) Les macrofossiles et les microfossiles rencontrés dans ces formations ont permis de les dater avec une certaine précision.

1) Le Callovien, correspondant au début de la transgression, a pu être mis en évidence sous la forme de la calcarénite Tepexic.

2) L'Oxfordien - Argovien est séparé du Séquanien - Kimmeridgien dans la région de Ciudad Victoria (Zuloaga et Olvido) alors qu'il ne l'est pas dans l'ensemble Tamán.

3) Enfin, le Portlandien est défini sous les faciès Pimienta et La Casita et semble représenter l'essentiel de la formation Las Trancas dont la base cependant peut être antérieure.

Nous étudierons ces formations, dans l'ordre à peu près chronologique suivant: Tepexic - Zuloaga - Tamán - Olvido - Las Trancas - La Casita - Pimienta.

## 2. Calcarénite Tepexic

a) Le nom a été créé par Imlay en 1952. Tepexic est un lieu-dit près de Necaxa. Le symbole est Jx.

b) Ce niveau a été mis en évidence dans la région de l'anticlinorium de Huayacocotla, depuis Calnali jusqu'à Huauchinango (coupures 7 et 8).

Pétrographiquement, il s'agit d'un calcaire gris à gris foncé, à grain grossier, avec quelques grains de quartz, mais surtout des petits débris calcaires, d'où son nom de calcarénite. La base passe souvent à un véritable conglomérat calcaire. La stratification est peu marquée, en bancs moyens de 30 à 50 cm.

A la base de ce calcaire, se trouve la discordance angulaire marquée qui le sépare des couches rouges continentales du Jurassique moyen. Au sommet suivent, en concordance, les calcaires de la formation Tamán. L'épaisseur totale est de l'ordre de 25 m.

On a collecté des huîtres (*Ostrea* sp.), des gryphées (*Gryphea* sp.) et des ammonites (*Reineckeia* sp. R. Aff. *neogaea*, R. cf. *neogaea*, et *Reineckeites* sp.). L'âge ainsi prouvé est du Callovien supérieur.

Paléogéographiquement, ce calcaire marin, détritique, en discordance angulaire sur une série continentale, est le marqueur type de la base d'une transgression.

## 3. Formation Zuloaga

a) Le nom a été créé par Imlay, en 1938. Zuloaga est un rancho dans la sierra de Sombrerillo, au nord de Melchor Ocampo. Le symbole est Jz.

b) Dans notre région, cette formation se rencontre aux flancs de l'anticlinal de Peregrina et aux flancs de l'anticlinal de Huizachal.

Pétrographiquement, il s'agit d'un calcaire compact, gris plus ou moins foncé, en gros bancs, avec quelques intercalations argileuses. Certains bancs sont dolomitiques. A la base, se trouve un conglomérat quartzifère, ferrugineux, mince, qui recouvre, en discordance, les niveaux rouges de La Joya. La formation Zuloaga marque une corniche dans le paysage (photo 1). Au sommet suivent, en concordance, les calcaires et couches à gypse de l'Olvido. L'épaisseur, dans cette région, est de l'ordre de 80 m. Une faune de lamelibranches a été trouvée par Imlay (1938) dans la formation La Gloria considérée comme équivalent latéral de la formation Zuloaga, et a permis d'attribuer l'âge oxfordien à ces deux formations.

Paléogéographiquement, ces calcaires dénotent un faciès marin épicontinental, marquent la base de la grande transgression marine, sans doute un peu plus tardive dans cette région nord que dans la région sud de Huayacocotla.

## 4. Formation Tamán

a) Le nom a été créé par Heim en 1940. Tamán est un village au bord de la route à 10 km de Tamazunchale. Le symbole est Jt.

b) Pétrographiquement, il s'agit de calcaires noirs bien lités, à grain fin (microcristallin) alternant avec des marnes noires en barres minces. Localement, à la base de la série, les marnes noires, à tendance schisteuse, peuvent prendre une proportion importante par rapport aux bancs calcaires. Il n'y a pas de silex. Les bancs sont toujours bien marqués, d'épaisseur moyenne (40 à 60 cm).

Des fossiles variés, et en particulier des ammonites, ont été trouvés dans cette série: *Haploceras fialar* (Opp.), *H. transatlanticum* Burckh., *Perisphinctes cyclodorsatus* Hoesch, *Aspidoceras* sp., *Aulacomiyella lata*. L'âge a pu être ainsi fixé avec une certaine précision: il va de l'Oxfordien supérieur au Kimmeridgien supérieur.

Au point de vue sédimentologique, ces caractères montrent qu'il s'agit d'une sédimentation marine franche, sans doute loin de la côte (absente de tout détritique), épicontinentale.

La base de la série n'est pas visible sur la route de Tamazunchale à Tamán, l'anticlinal correspondant étant fermé dans la formation Tamán. Elle est visible dans les anticlinaux qui se développent immédiatement au sud (río Amajac). Le contact est discordant sur la série rouge Cahuajas; plus au sud, où existe la calcarénite Tepexic, le contact est concordant avec cette série. Le sommet est concordant avec la formation Pimienta.

L'épaisseur est extrêmement variable: c'est que précisément comme première grande formation généralisée d'une transgression, les dépôts se sont faits sur des fonds certainement non aplanis. Vers le sud, près du haut fond que devait représenter la zone de Calnali-Molango, l'épaisseur est très faible, de l'ordre de 100 m. Elle s'épaissit rapidement en allant vers le nord et dépasse 600 m à Tamán. Elle doit de nouveau diminuer un peu en direction de Xilitla; un peu au nord de Pisaflores et au nord-ouest de Tamazunchale, le Jurassique moyen s'envoie et ne réapparaît plus dans les anticlinaux de la Sierra. Vers l'ouest, le faciès a disparu, sans doute parce que la transgression a été plus tardive.

Enfin, au nord, près de Ciudad Victoria, les faciès du même âge étant différents, d'autres noms leur ont été donnés: Zuloaga pour l'Oxfordien et l'Argovien; Olvido pour le Séquanien et le Kimmeridgien que nous allons décrire maintenant.

### 5. Formation Olvido

a) Le nom a été donné par A. Heim, en 1940. Olvido est un rancho, au sud-est du cañon de Huizachal. Le symbole est Jol.

b) Pétrographiquement, cette formation est constituée des calcaires rosés, à grain fin, alternant avec des marnes et des argiles roses, rouges et jaunes. Des niveaux de gypse de quelques centimètres à quelques mètres existent dans ces argiles.

La base et le sommet de cette formation sont concordants avec les formations marines qui précèdent (Argovien) et qui suivent (Kimmeridgien supérieur). Aussi, malgré

l'absence de fossiles dans ce faciès saumâtre, l'âge peut être considéré comme séquanien-kimmeridgien inférieur. L'épaisseur est de 200 m; mais la plasticité que confèrent à cette série les niveaux d'argile à gypse peut permettre une disharmonie tectonique des couches supérieures plus rigides. Sans pouvoir étendre à toute la Sierra Madre le rôle de cette couche particulière, il est intéressant de signaler ici cette possibilité d'un certain décollement de la couverture au niveau de la formation Olvido.

### 6. Formation Las Trancas

a) Le nom a été créé par Segestrom en 1956. Las Trancas est un col au Km 217 de la route México-Tamazunchale. Le symbole est Jlt.

b) Pétrographiquement, sous l'unique vocable de Las Trancas, il existe différentes variations d'un endroit à l'autre. Nous distinguerons, en gros, d'est en ouest, trois zones.

Dans la région même qui a donné son nom à la formation, c'est-à-dire dans l'anticlinal de las Trancas, et à l'ouest dans l'anticlinal de Nicolas Flores, l'aspect pétrographique est celui de schistes lustrés. Ce sont des calcaires, des calcaires argileux et des argiles en plaquettes très minces, avec des faces brillantes, "lustrées" par la présence des micas blancs (séricite). Ses couleurs sont variables, du noir au blanc en passant par tous les gris, avec beaucoup de plaquettes à reflets rosés, ou franchement roses. Les plaquettes vont du millimètre au centimètre, avec quelques bancs dépassant les 10 cm. On a signalé quelques bancs de grauwackes.

Dans l'anticlinal de la Cuesta de Huasmazontla (coupure 5) entre Pinal de Amoles et Ahuacatlan, le faciès est schisteux, mais moins lustré: ce sont surtout des calcaires noirs en petits bancs, abondamment pourvus de filonnets de calcite. Certains bancs atteignent 20 cm d'épaisseur.

Enfin, dans le grand affleurement de Tolimán (coupure 7) ce faciès se charge, à mesure que l'on va vers le nord et l'est, en bancs de grauwackes, les schistes sont argileux, noirs, à reflets rouille, parfois sériciteux.

Dans les deux premières régions, des ammonites ont été trouvées: *Parodontoceras* sp., *Protancyloceras* sp., *Corongoceras* sp., *Spiticeras* sp., et *Mazapilites* sp. Ces fossiles donnent un âge portlandien, et sans doute kimmeridgien en partie. La base de la formation Las Trancas serait un passage latéral de la formation Tamán, tandis que le reste serait le passage latéral de la formation Pimienta.

La base de cette formation n'est visible nulle part, si ce n'est au nord de Tolimán où elle repose sur des schistes micacés et des quartzites d'âge inconnu. Le sommet est concordant apparemment avec les formations du Crétacé: vers l'est, le Crétacé inférieur a été identifié; vers l'ouest, une

série calcaire homogène mince doit représenter le seul calcaire El Doctor. L'épaisseur est de l'ordre de 500 m. Ces faciès schisteux correspondent à des zones de moindre résistance à l'érosion, à reliefs mous arrondis.

Les variations de faciès que nous venons de décrire témoignent d'une approche paléogéographique de la côte dans la zone de Tolimán: mer franche à ammonites et à sédimentation épicontinentale à Las Trancas, sédimentation néritique à Tolimán.

### 7. Formation Pimienta (partie jurassique)

a) Le nom a été créé par Heim en 1940. Pimienta est un lieudit sur la route. Le symbole est Jp.

b) Nous sommes obligés de faire une remarque relative au nom de la formation: l'ensemble de la formation Pimienta, telle qu'elle a été définie par Heim et considérée jusqu'au Congrès de Géologie de 1956 compris (excursion C-16), s'est révélé, après étude de microfaune par la Pemex, comme comprenant du Jurassique supérieur et du Crétacé inférieur. Il a fallu la couper en deux: Pimienta jurassique (Jp), Pimienta crétacée (Kp). Or, au lieudit même de Pimienta, c'est la partie crétacée qui affleure: ainsi le nom devient mauvais pour désigner l'un comme l'autre de ces deux membres. La Pemex, dans un rapport inédit, propose pour le Jurassique supérieur: Cueva de los Arriegos, qui 1) n'a pas été publié; 2) est long. En attendant, la solution de ce problème linguistique, nous avons gardé Pimienta, coupée en deux!

c) Pétrographiquement, la formation Pimienta, essentiellement calcaire, se distingue par quelques critères des calcaires qui l'encadrent. Les calcaires sont noirs ou gris foncé, bien lités, en bancs minces (10,20 cm). Ils contiennent des lits de silex noirs abondants; les bancs sont parfois un peu marneux. Les délits entre les bancs sont marneux, souvent assez épais; certains délits marneux sont verdâtres.

La base est concordante avec la formation Tamán; le sommet est concordant, mais séparé par un conglomérat de la continuation de cette série sous forme de Pimienta (partie jurassique). L'épaisseur est de l'ordre de 200 m.

Quelques ammonites et surtout des microfossiles ont permis d'en déterminer l'âge portlandien: *Calpionella elliptica*, *Gobochaete alpina*, *Nannoconus* sp., *Tintinopsella oblonga*.

L'ensemble de la formation Pimienta se comporte vis-à-vis de l'érosion comme une série moins résistante que la formation Tamán et que la formation calcaire Chapulhuacan.

### 8. Formation La Casita

a) Le nom a été créé par Imlay, en 1937. La Casita est un lieudit dans la sierra de Parras. Le symbole est Jlc.

b) Pétrographiquement, cette formation est constituée par des marnes sableuses, avec quelques débris charbonneux, des calcaires marneux (avec certains niveaux phosphatés) et des grès. La base et le sommet sont concordants avec, d'une part, la formation Olvido et d'autre par la formation Taraises, que nous avons groupées avec le Tamaulipas inférieur.

L'épaisseur est de l'ordre de 100 m. Des microfossiles et des macrofossiles ont permis de fixer l'âge kimmeridgien supérieur-portlandien. Ces fossiles marins voisinant avec des couches à influences continentales montrent que le régime saumâtre de la formation Olvido ne fait que s'ouvrir partiellement aux influences marines et reste littoral pendant le dépôt de la formation La Casita.

### Crétacé inférieur

#### 1. Introduction

Le Crétacé inférieur est représenté par une épaisse série essentiellement calcaire. Si certaines variations de la lithologie de ces calcaires existent à l'échelle de l'échantillon, l'ensemble, très massif à cause de la rareté des joints marneux, se comporte morphologiquement comme une grande masse homogène. De plus, la patine grise et surtout le développement des aspects karstiques dans la partie est de la Sierra et des croûtes calcaires dans la partie ouest, accompagnant indifféremment les différents faciès, augmentent encore l'apparente unité des affleurements de ces calcaires; enfin, leur rôle morphologique est toujours celui d'une formation dure, très résistante à l'érosion.

Pendant, des critères pétrographiques secondaires permettent de suivre sur le terrain les séparations stratigraphiques que seule l'étude systématique sur plaque mince des foraminifères permet d'établir avec certitude. Là où cette étude a été menée, le Crétacé inférieur a pu être séparé en deux séries principales, qui ont reçu d'ailleurs divers noms, à cause des variations de faciès secondaires cités plus haut. Aux termes de Tamaulipas inférieur et Tamaulipas supérieur, utilisés largement par la Pemex, mais non publiés, nous avons préféré les synonymes de: Chapulhuacan et El Doctor. Et nous avons maintenu en dessous de ces deux ensembles la séparation de Pimienta, dont le sommet est: Pimienta (partie crétacée). Enfin, nous avons laissé tomber le nom de Santuario (Segerstrom 1962) car il semble bien

que cette série, telle qu'elle est décrite en fait par son auteur, doit représenter la formation Pimienta crétacée et la formation Chapulhuacan (?). Cependant, dans la région de Ciudad Victoria, nous n'avons pas isolé les affleurements minces et localisés de ce qui en est plus ou moins l'équivalent, la formation Taraises. Dans cette région, le groupe Taraises-Cupido, équivalent de Pimienta (crétacé)-Chapulhuacan, garde le nom de Tamaulipas inférieur.

### 2. Formation Pimienta (partie crétacée)

a) Le nom a été créé par Heim, rectifié par la Pemex (voir chapitre VI). Pimienta est un lieudit en amont de Tamaulipas. Le symbole est Kp.

b) Pétrographiquement, cette formation a les mêmes caractéristiques que la partie jurassique: calcaires gris fins en petits bancs, lits de silex, délits marneux, parfois verts. Ceux-ci semblent un peu plus abondants dans la partie crétacée de Pimienta que dans la partie jurassique. Les micro-organismes ont permis d'en fixer l'âge: on voit apparaître *Stenosemellopsis hispanica*, et *Calpionellites darderi*, qui indiquent le Berriasien, Valanginien.

La base est marquée par un conglomérat calcaire d'un mètre d'épaisseur environ, visible sur la route de Tamazunchale, près du Km 338, qui suit en concordance la partie jurassique de cette formation. Le sommet est concordant avec le calcaire Chapulhuacan, qui marque une corniche. L'épaisseur est estimée à 250 m, mais elle est variable. Cette série est présente dans les plis frontaux de la Sierra et paraît ne pas exister dans les plis internes.

### 3. Formation Chapulhuacan (synonyme de Tamaulipas inférieur)

a) Le nom a été créé par Bodenlos, en 1956. Chapulhuacan est un village, au Km 328 de la route de Tamazunchale. Le symbole est Kch.

b) Dans une zone où se succèdent des faciès calcaires très voisins et où la rareté des fossiles est la cause de quelques confusions et de difficultés de raccordement entre différents auteurs, l'ensemble calcaire faisant nettement saillie et ayant des caractéristiques aisément repérables, peut servir de niveau repère. C'est lui qui a été baptisé Tenestipa par Heim, en 1940, Chapulhuacan par Bodenlos en 1956 et qui est inclus dans le Tamaulipas inférieur par la Pemex.

Pétrographiquement, il s'agit d'un calcaire pur, compact, à grain fin à grossier, gris clair à foncé (il ressemble à certain faciès El Doctor). Les délits marneux qui séparent les bancs sont rares et très minces. Le plus souvent, surtout à la base de la série dans la région de Chapulhuacan et

de Ahuacatlan, les bancs sont séparés par des joints stylolithiques, très marqués. Les bancs sont épais (50 cm à 1 m). Enfin, de gros rognons de silex font souvent saillie à la surface d'érosion de ces calcaires.

La base est concordante avec la formation Pimienta (partie crétacée). Le sommet est concordant soit avec la masse des calcaires El Doctor, marquée généralement par un conglomérat calcaire, soit avec un mince niveau argileux en retrait, l'horizon Otates.

L'épaisseur de 300 m sur la route panaméricaine atteint 400 m entre Pisaflores et Ahuacatlan. C'est aussi le chiffre cité près de Ciudad Victoria pour l'ensemble Taraises-Tamaulipas inférieur. Les micro-foraminifères sont nombreux, les plus caractéristiques étant: *Microcalamoïdes diversus*, *Colomiella mexicana*, *Colomiella recta*, *Globochaete alpina*, *Nannoconus steinmanni*. L'âge que les microfaunes permettent d'attribuer à cet ensemble comprend le sommet du Valanginien, l'Hauterivien, le Barrémien et l'Aptien inférieur.

D'après son auteur, le nom Chapulhuacan était réservé à la partie correspondant à l'Hauterivien, et le nom Ahuacatlan au Barrémien-Aptien inférieur. Mais la distinction est locale et ne peut être élargie, en l'absence d'un contrôle micropaléontologique permanent à l'ensemble de la Sierra.

### 4. Horizon Otates

a) Ce nom a été créé par la Pemex, vers 1960. Le canyon de Otates est situé au flanc ouest de la sierra de Tamaulipas. Le symbole est Ko.

b) Pétrographiquement, cet "horizon" d'une vingtaine de mètres d'épaisseur comprend des petits bancs calcaires et des marnes noires, suffisamment épaisses pour lui conférer une extrême débilite face à l'érosion. Il apparaît toujours en retrait dans la topographie; de plus, l'humidité relative du sol qui lui correspond rend plus vigoureuse la végétation qui souligne ainsi cet horizon. Des microfaunes permettent de lui affecter l'âge aptien. Au-dessous, concordant, se développe la série massive de la formation Chapulhuacan, synonyme de Tamaulipas inférieur, au-dessus, concordant aussi, la série massive du Tamaulipas supérieur ou El Doctor.

Cet horizon repère a donc, à juste raison, été distingué là où il existe. Son aire de développement est limitée aux plis frontaux de la Sierra; on le trouve de part et d'autre de l'anticlinorium de Huayacocotla; sur la route de Tamazunchale, il passe au petit col du cerro Boludo; enfin, il est particulièrement apparent dans les différents barrancos de la sierra de Ciudad Victoria. Plus à l'ouest, il disparaît. La limite des formations Chapulhuacan et El Doctor est alors marquée par un conglomérat dont nous parlerons au paragraphe suivant.

## 5. Formation El Doctor

a) Ce nom a été créé par B. W. Wilson en 1955. El Doctor est un village au nord-est de Cadereyta. Le symbole est Ka.

b) La formation El Doctor étant un ensemble de dépôts calcaires dans une mer à récifs, on rencontre tous les faciès typiques associés à ce milieu écologique particulier: récifs proprement dits (calcaires construits: *bioherms* et *biostroms*); calcaires organodétritiques (*fore-reef* et *back-reef*), calcaires fins provenant de vases à microorganismes. Divers noms ont été utilisés pour différencier certains de ces faciès, avec parfois des synonymies. Heim lui-même (1940: 324) constate que dans une seule carrière de El Abra, cinq faciès différents sont observés passant les uns aux autres. Il est donc logique de maintenir un nom unique pour désigner cet ensemble particulier de formations associées. Celui de El Doctor, déjà largement employé, et choisi dans une région où cette sédimentation récifale et circum-récifale est bien visible, nous paraît être le meilleur.

c) On peut donc trouver, pétrographiquement, de grandes variations dans la nature des calcaires:

—Des calcaires fins, homogènes, en bancs épais, mais bien marqués, avec quelques joints marneux: la couleur peut aller du noir, faciès Victoria développé dans les plis frontaux près de Ciudad Victoria, ou dans la sierra de Tamaulipas, jusqu'au beige clair, faciès Rayón développé dans les anticlinaux centraux de Ciudad del Maíz à Pedro Montoya.

—Des calcaires grossiers, recristallisés, massifs, sans aucune stratification visible, avec zones à rudistes, à coraux: c'est le type Taninul, celui des environs mêmes du village El Doctor, celui de Tamabra. La couleur va du blanc au noir.

—Des calcaires à milioles, en bancs massifs; c'est le type El Abra, très mélangé avec le précédent; sierra de Nicolas Pérez, environs d'Ahuacatlan par exemple.

—Des dolomies primaires comme dans la région de Pinal de Amoles, secondaires, à faciès "peau d'éléphant" comme à Ahuacatlan.

—Enfin, des calcaires en bancs minces, développés dans les zones internes de la Sierra et généralement au sommet de la série: ce faciès, dit *cuesta del cura* est le seul qui mériterait être distingué par son type et sa position stratigraphique.

Les macrofossiles, rudistes, lamellibranches, quelques rarissimes ammonites (*Desmoceras*), et surtout les très abondants microforaminifères (Bonet 1956) permettent de fixer l'âge de cette série avec précision: Albien-Cenomanien.

La base de cette série est soit l'horizon Otates, concordant, soit le Tamaulipas inférieur (Chapulhuacan) avec présence fréquente d'un conglomérat basal, à orbitolines (photo 2) mais sans discordance angulaire. Enfin, dans la région de Tolimán, qui fut un haut fond certain jusqu'au delà du Jurassique supérieur, le calcaire El Doctor, très mince, repose sur le Jurassique supérieur.

Les épaisseurs, en accord avec la sédimentologie particulière, sont très variables: le millier de mètres est atteint à El Doctor même, et dans la grande zone des anticlinaux larges depuis Pachuca jusqu'à Jaumave (derrière les anticlinaux frontaux). L'épaisseur est peut-être moindre au front de la Sierra (600 m) et diminue rapidement à l'ouest du grand synclinal de Vizarrón.

d) Morphologiquement, ces calcaires durs sont peu attaqués par l'érosion; ils marquent toujours des reliefs très accusés. Les surfaces actuelles ne sont pas à proprement parler des surfaces structurales, mais en sont souvent très voisines, car la formation marneuse supérieure (Méndez) s'est comportée, au contraire, d'une manière très peu résistante. Les calcaires, tous très purs, sont le siège d'une intense activité karstique. Les eaux ont une grande facilité d'infiltration: aussi les grandes régions dont le sous-sol n'est formé que par du calcaire El Doctor sont-elles dépourvues d'eau, inaptes aux cultures et peu habitées. Dans certains bas fonds cependant, l'accumulation des argiles rouges de décalcification fournit un certain sol et peut retenir l'eau en colmatant des fonds de dolines. Ces mares naturelles ou légèrement aménagées sont appelées dans ces régions: *jaguey*.

e) Les calcaires El Doctor fournissent un certain nombre de carrières pour cimenterie en dehors de notre zone (près de México, près de San Luis Potosí) qui n'a pas de grands centres industriels. Au nord-ouest de El Doctor, on trouve plusieurs carrières qui exploitent le calcaire sous le nom de "marbre" pour la construction... ou les pierres tombales. Enfin, de petites, mais abondantes et diverses, mines existent dans ces calcaires, au front de la transversale volcanique. Mais ce ne sont en aucun cas des minerais syn-sédimentaires. Il sont toujours dûs à des minéralisations d'origine volcanique d'âge récent.

## Crétacé Supérieur

### 1. Introduction

La Crétacé supérieur (du Turonien au Maestrichien) occupe dans la Sierra et en bordure de la Sierra de très grandes zones, le plus souvent synclinales. En gros, on peut dire que c'est une série à dominante marneuse très épaisse (1 000

à 2 000 m). La sédimentation comprenant des éléments détritiques fins s'oppose donc nettement à celle, uniquement calcaire, du Crétacé moyen. La couleur (gris-jaunâtre) et le relief mou des zones d'affleurements sont caractéristiques et permettent facilement de les reconnaître, sur le terrain comme sur les photos aériennes.

Partant de la succession lithologique la plus répandue, nous allons montrer comment en allant vers le centre et vers le sud, les faciès s'en différencient:

Dans la bordure et dans la zone frontale de la Sierra, on trouve la succession la plus fréquente suivante: l'ensemble marneux n'est, dans toute son épaisseur (800 m en moyenne), que rarement traversé par quelques bancs marneocalcaires ou calcaires plus durs: c'est le type Méndez. Le contact de base avec le calcaire El Doctor se fait au moyen de deux formations minces le San Felipe marneocalcaire, et l'Agua Nueva calcaire à lits marneux minces.

Vers l'ouest, le premier fait est la disparition des deux formations de transition, au moins en tant qu'individualité pétrographique. Plus à l'ouest encore, dans la zone Jalpán-Cárdenas-Ciudad del Maíz, toute la série marneuse se charge en bancs de calcaires et de grès fins roux et au sommet apparaissent des séries détritiques rouges, dites de Cárdenas.

Vers le sud-ouest, la série est une alternance de marnes et calcaires, avec accessoirement des grès: c'est le faciès Mexcala. Sa position interne lui a valu fréquemment une schistosité secondaire d'origine tectonique. Enfin au sud, ce faciès n'occupe que la base de la série marneuse; sous le nom de Soyatal c'est l'équivalent de l'Agua Nueva et du San Felipe, il est inutile de garder ce terme, alors qu'à partir de Taxquillo, vers le sud-ouest, leur équivalent sous forme récifale mérite d'être isolé sous le nom de Cuautla, faciès développé largement dans le Morelos.

### 2. Formation Agua Nueva

a) Le nom a été créé par Stephenson en 1936. Agua Nueva est un rancho dans la sierra de Tamaulipas. Son symbole est Kan.

b) Pétrographiquement, il s'agit d'une série de calcaires fins homogènes gris clair à gris foncé, souvent tachetés, lités en bancs très nets, de faible épaisseur (20 m en moyenne); les joints marneux sont minces; la série se débite en dalles naturellement (cette aptitude a été utilisée aux sites préhispaniques de Toluquilla, près de El Doctor et de Vista Hermosa, près de Nuevo Morelos). Les silex noirs en minces lits (2-3 cm) parallèles au plan de stratification sont fréquents et caractéristiques. Les traversées de la sierra de Nuevo Morelos, de Valles-Rayón, et de Xilitla surtout montrent des coupes complètes et bien dégagées de cette série.

La base est concordante avec le toit du calcaire El Doctor. Le sommet est concordant avec la formation San Felipe.

L'épaisseur est partout faible (50 m) sauf dans la région de Xilitla où elle atteint 150 m, accompagnée d'un développement important des niveaux argileux, souvent verts. Morphologiquement, cette série est moins résistante que le calcaire, et plus que le San Felipe ou le Méndez. Elle se situe donc sur une zone de rupture de pente, mais il est impossible de distinguer, sur photo aérienne, sa présence ou son absence.

Les microfaunes (dont les *Globo truncana* visibles à la loupe) permettent de le reconnaître et lui attribuent l'âge turonien.

### 3. Formation San Felipe

a) Le nom a été créé par G. Jeffreys en 1910 (publié par Muir 1936). San Felipe est un village entre Valles et Taninul, à l'entrée de la cluse de El Abra. Son symbole est Ksf.

b) Pétrographiquement, cette série s'individualise nettement des séries qui l'encadrent. Quand l'Agua Nueva est manquante, elle est encadrée entre des calcaires massifs et des marnes: la succession de bancs minces (10, 20 cm) à patine gris-jaunâtre clair, de calcaires marneux, avec des délits marneux larges et toujours présents, est facilement reconnaissable. On la trouve présente dans les traversées de la Sierra citées plus haut. Sur la route panaméricaine au nord de Valles, on roule dans le San Felipe subhorizontal.

Il existe à la base une discordance cartographique, mais non angulaire: tantôt sur l'Agua Nueva, tantôt directement sur le calcaire El Doctor (photo 3). Le sommet est concordant avec les marnes Méndez.

En avant de la Sierra, l'épaisseur peut atteindre 300 m. Elle est de moins de 100 m dans la zone des plis frontaux. Enfin, plus à l'ouest cette série disparaît et le Méndez est transgressif sur le calcaire El Doctor. Ceci peut être dû à une érosion pré-Méndez, correspondant à une phase mineure, pré-orogénique dans le Santonien (?).

L'âge attribué par la faune à cette série est coniacien-santonien (précision de la Pemex, Bonnet 1956) alors que Heim (1940) la situe dans le Coniacien. Morphologiquement plus résistante que les marnes, il est possible de l'en séparer sur photo aérienne, mais non de la distinguer des calcaires. Il faut une indication de terrain pour le préciser.

### 4. Formation Méndez

a) Le nom a été créé par G. Jeffreys, en 1910 (publié par Muir 1936). Méndez est une station du chemin de fer, entre Ebano et Tampico. Son symbole est Km.

b) Pétrographiquement, la formation Méndez est constituée par des marnes compactes, le plus souvent grises, légèrement verdâtres, en cassure fraîche, jaunâtres en patine. La série est massive, sans litage apparent. Localement, certains bancs minces marnocalcaires plus résistants soulignent la stratification et permettent la mesure d'un pendage. Ces marnes ne sont pas plastiques; elles ont un délit conchoidal classique. Elles sont désignées parfois par les habitants sous le nom de *choy*. Macrofaunes (huîtres, *Exogyra*, etc.) et surtout microfaunes fixent son âge avec précision: Campanien-Maestrichien.

La base de la série est une discordance cartographique mais non angulaire, tantôt sur le San Felipe, tantôt sur l'Agua Nueva, tantôt sur El Doctor. Le sommet étant contemporain de grands événements paléogéographiques et tectoniques, présente différents aspects, suivant les régions, qui peuvent être classés en quatre variétés:

—Uniquement en bordure de la Sierra, toujours à l'est de la "flexure frontale", le sommet du Méndez passe progressivement et en concordance à la formation Velasco du Paléocène (sédimentation marine argileuse avec bancs de grès). Les dépôts se font dans un bassin qui reste marin et sans accuser de discordance angulaire.

—Dans la région centrale de la Sierra (synclinal de Cárdenas), la partie supérieure du Méndez passe latéralement à des séries gréseuses: il se pourrait que le sommet lui-même passe en concordance avec une série rouge gréseuse marquant la régression finale (le retrait de la mer) du Crétacé supérieur.

—Vers le sud-ouest, à peu près sur la zone du changement de faciès du Méndez au Mexcala, le sommet est marqué par une discordance fondamentale angulaire à la base des formations continentales, conglomératiques et volcaniques dont l'âge anté-oligocène n'est pas vraiment prouvé. Dans ce grand intervalle de temps (tout l'Eocène), s'est déroulée la phase orogénique moyenne du plissement.

—Enfin, ailleurs, dans la grande majorité des synclinaux, le Méndez est la formation la plus jeune et son sommet n'est pas visible. Le quaternaire seul peut le découvrir (terrasses anciennes, alluvions récentes, coulées de basalte).

## 5. Formation Cárdenas

a) Le nom a été créé par Heim, en 1940. Cárdenas est un gros village à l'est de Río Verde. Le symbole est Kca.

b) Nous restreignons l'usage de ce terme aux seuls niveaux rouges. La formation décrite par Heim (1940) inclue des séries marneuses et marnocalcaires grises, typiquement marines, entre un Méndez classique et les formations rou-

ges, tandis que la Pemex considère tout le Crétacé supérieur post-El Doctor comme présent sous un faciès particulier dit Cárdenas dans les synclinaux centraux.

Ces séries rouges supérieures sont rencontrées le long de la voie ferrée entre Cárdenas et Tamasopo et affleurent particulièrement bien grâce à la tranchée de la nouvelle route de Río Verde à Valles.

La série comprend des marnes brunes, des argiles rouges, des grès fins à grossiers rouges. L'épaisseur atteint 500 m. Des gastéropodes lacustres en cours de détermination y ont été trouvés. L'aspect de la série n'est pas sans rappeler le Rognacien (âge danien) de Provence.

Cette série rouge s'étend vers le sud jusqu'à Villa la Palma et vers le nord jusqu'à Ciudad del Maíz. Elle serait l'indication d'un soulèvement de cette zone, annonciateur de la phase tectonique ultérieure et du retrait de la mer de tout le domaine de la Sierra.

## 6. Formation Mexcala

a) Mexcala provient de la région de Morelos? Le symbole est Kx.

b) Le changement de faciès du type purement marneux au type Mexcala est progressif. Il consiste en un enrichissement de la série marneuse en petits bancs de grès et en petits bancs de calcaires, jusqu'à devenir une alternance irrégulière de bancs de ces différentes composantes. Ce faciès se développe en direction du sud-ouest à partir d'une ligne SSE-NNE allant de Pachuca à Lagunillas. A Lagunillas même le faciès est plus Méndez que Mexcala. La limite ne peut être cartographiée. Dans une mise au net de la carte, il faudrait alors utiliser la même couleur pour Km et Kx.

On constate que cette ligne de variation du faciès est plus ou moins parallèle à l'axe des plis; à l'ouest de cette ligne on se trouve dans une zone tectoniquement interne de la Sierra, où jouèrent des pressions orogéniques plus fortes sur cette formation, accusant par la schistosité sa différenciation avec le Méndez classique.

Morphologiquement, la série, comme le Méndez, est peu résistante à l'érosion: elle occupe des dépressions synclinales. Son épaisseur est de l'ordre du millier de mètres. La base de la série est concordante soit sur le San Felipe soit sur El Doctor. Le sommet est marqué par la grande discordance post-orogénique en dessous des formations volcaniques.

## 7. Formation Cuautla

a) Le nom a été créé par Friès, en 1956. Cuautla est une ville de l'état du Morelos. Le symbole est Kc.

b) Sur la carte géologique (compure 7), le faciès (analogue aux faciès largement développés dans le Morelos) particulier du cerro Hermána, au nord-ouest de Alfajayucan se rattache à la formation Cuautla, largement présente dans l'état du Morelos. Il consiste en bancs calcaires épais, récifaux, principalement à hippurites. L'âge est turonien, contemporain de l'Agua Nueva. L'épaisseur est de 300 m mais diminue latéralement rapidement, jusqu'à s'annuler, comme il est classique avec le type *biostrom* des récifs.

## II - TECTONIQUE

### Introduction

1. Les caractéristiques de la Sierra Madre Orientale présentées dans les chapitres précédents montrent qu'il subsiste, pour une connaissance complète en tant que chaîne plissée, deux inconnues principales:

—La première sur laquelle nous avons insisté à propos du Précambrien et du Paléozoïque, est liée au comportement du socle et du sédimentaire paléozoïque par rapport aux plis de couvertures. En effet, la rareté et la réduction des zones d'affleurements où apparaissent les formations pré-Jurassique supérieur ne permettent ni de dégager le rôle joué par celles-ci, ni de saisir quelle peut être l'indépendance au dessus d'elles du comportement tectonique des formations post-Jurassique moyen. Au contraire, les massifs centraux des Alpes et des Pyrénées et les phénomènes à leur périphérie éclairent ce même problème et montrent l'importance de sa résolution pour l'explication d'ensemble du mécanisme tectonique de ces chaînes.

—L'autre inconnue provient du développement en allant vers l'ouest du recouvrement post-orogénique de la chaîne par des formations volcaniques. On connaît bien la chaîne par sa zone externe et par son avant-pays; on ne connaît pas la zone interne qui pourrait être le lieu soit d'un métamorphisme contemporain de l'orogénie, soit de plis chevauchants, voire de nappes. Cependant, les rares fenêtres de Mésozoïque sous le volcanique ne fournissent aucun indice de ces phénomènes. Nous admettons donc que pour le moment, la portion de la Sierra Madre dont nous allons décrire la tectonique n'est pas limitée seulement vers le sud et le nord (limite transversale) mais qu'elle n'est qu'une partie d'un ensemble plus vaste en épaisseur et en largeur cerné par trop peu de données pour qu'on puisse y intégrer avec précision notre zone d'étude.

2. Des études récentes sur les géosynclinaux (Auboin 1959) ayant précisé le sens de ce terme, tant par la sédimentation dont ils sont le siège que par leur comportement tectonique (avec métamorphisme, intrusions etc.) nous ne pensons pas que le terme puisse s'appliquer à la Sierra Madre. Cette "querelle des anciens et des modernes" (partisans et adversaires du "géosynclinal mexicain") n'a que peu d'intérêt si l'on tient à rester au fait principal suivant: le sédimentaire mésozoïque de 2 à 3 000 m d'épaisseur s'est déposé dans une fosse subsidiaire allongée dans le sens de l'actuelle chaîne, a été ensuite plissé, au cours d'une phase orogénique majeure de resserrement, surélevé, soit au cours de cette phase soit plutôt ultérieurement et, postérieurement à l'orogénie principale, au cours de périodes de distension, a été le siège d'épanchements volcaniques abondants.

Le resserrement est d'une grande importance, et variable suivant les zones: on peut affirmer que les 100 km de largeur moyenne actuels de la Sierra correspondaient à une largeur de 150 km du domaine de sédimentation. Obligatoirement, les blocs rigides du socle ont subi des resserrements de cet ordre.

Supérieure à celle du Jura, bien inférieure à celle des Pyrénées, l'épaisseur citée plus haut du sédimentaire de la Sierra Madre suffisait à placer cette chaîne dans une situation intermédiaire entre ces deux chaînes: le style tectonique des plissements qui d'une zone externe à allure jurassienne évolue vers une zone interne à caractères voisins de certains caractères pyrénéens confirme cette situation intermédiaire.

3. Avant d'aborder la phase orogénique majeure responsable de ce plissement, dont l'âge fera l'objet d'une discussion et le style celui d'une description, nous résumerons les phases orogéniques importantes ou secondaires de l'histoire géologique antérieure à l'orogénie majeure.

### Résumé des mouvements orogéniques pré-Tertiaire

Les discordances angulaires, les discordances cartographiques et certains conglomérats ont permis de mettre en évidence des phases orogéniques ou épiorogéniques au cours de l'histoire géologique du domaine qui devait devenir la Sierra Madre Orientale. Nous en dressons ici le catalogue sans entrer dans le détail, puisqu'il s'agit de faits localisés et que les connaissances sont insuffisantes pour procéder à des généralisations à tout l'ensemble de la Sierra.

1. Le Précambrien se termine par une phase très importante de plissement et de métamorphisme, la phase oaxaquénienne. Son âge peut être précambrien ou cambrien.

2. Une phase dite coahuilienne suivie d'une discordance angulaire sépare le Pennsylvanien du Mississipien.

3. Une phase dite tamaulipienne plisse le Permien avant l'émergence et le dépôt du Trias supérieur continental. L'âge est permien ou triasique inférieur.

4. Des oscillations gauchissent localement l'ouest mexicain permettant l'incursion d'un golfe marin du Lias. Les formations continentales du Jurassique moyen recouvrent en discordance angulaire les formations antérieures (dans la région de Peregrina). Elles-mêmes sont suivies d'une autre discordance angulaire notable, témoin d'une phase orogénique qui pourrait s'appeler potosienne, puisque cette discordance est bien visible sur les rives de l'Amajaque, dans l'extrême pointe sud-est de l'état du San Luis Potosí. Son âge serait jurassique moyen.

5. Trop mineure pour être isolée comme phase orogénique, une rupture de sédimentation est marquée par la conglomérat de base du Crétacé inférieur du Berriasien (Pimienta, partie crétacée).

6. Enfin une phase assez généralisée d'âge coniacien se traduit par une érosion locale des formations Agua Nueva et San Felipe et par une base transgressive du Santonien (Méndez). Mais l'absence de discordance angulaire montre qu'il s'agit encore d'une oscillation non accompagnée de plissement.

### L'âge de l'orogénie majeure

#### 1. Introduction

La méthode à la fois classique et irremplaçable pour dater un plissement consiste à trouver la couche inclinée la plus récente possible. L'âge du plissement se situe entre les deux âges respectifs de ces couches. Si la méthode ne peut pas s'appliquer, il faut alors en tirer les conséquences: phases multiples en un même lieu, phase unique dérivant lentement dans le temps et dans l'espace etc. Beaucoup de chaînes connues et, pour prendre un exemple précis, la chaîne des Pyrénées, ont livré la complexité de leur histoire orogénique en réponse à une telle investigation appliquée avec rigueur. L'idée communément admise d'un plissement laramien de la Sierra Madre Orientale du Mexique (Eocène inférieur) ne saurait être adoptée sans que l'on demande: pourquoi?

#### 2. Discordance au front de la Sierra

Dans plusieurs synclinaux au front de la Sierra Madre depuis Huichihuayan jusqu'à Cuetzalan, les grès et argiles

du Chicontepec (Eocène inférieur) sont plissés avec les marnes Méndez du Crétacé supérieur. Dans toute la plaine côtière, les formations, y comprise la formation Tuxpan, du Miocène, sont affectées de pendages non négligeables et forment des structures anticlinales et synclinales. On ne saurait donc trouver de formations horizontales tertiaires non affectées par un plissement. Il faut en déduire au minimum la première conséquence suivante: une ou plusieurs phases tectoniques ont eu lieu jusqu'au Miocène dans la plaine côtière.

Les études détaillées de géologie de surface et les sondages pétroliers dans cette plaine côtière ont montré que la première discordance angulaire notable du terrain n'est ni à la base du Paléocène, ni de l'Eocène, mais au sommet de celui-ci. C'est la formation Palma Real de l'Oligocène qui est discordante et transgressive sur les formations précédentes. Cette discordance sépare donc dans la zone correspondante deux phases tectoniques l'une de la fin de l'Eocène-ante-Oligocène, c'est-à-dire de l'Eocène supérieur, l'autre postérieure. La phase majeure de plissements des plis frontaux est donc de l'Eocène supérieur, c'est-à-dire pyrénéenne.

#### 3. Dans la Sierra

Les couches plissées les plus récentes datent du Maestrichien. Aucune formation tertiaire marine n'a été rencontrée. Le plissement est post-Maestrichien. Que peut-on dire de plus?

Dans les environs de Pachuca (près de Mixquiahuala, de la colonie Juárez, de Apaxco, de Atotonilco el Grande) existe horizontal et discordant sur le Crétacé (El Doctor ou Méndez) un conglomérat à blocs de calcaire et ciment rouge. Ce conglomérat est donc post-tectonique. Mais quel est son âge?

De proche en proche, ce conglomérat dit El Morro a été rapproché d'un conglomérat de même type qui dans les environs de Guanajuato a livré un fossile (Congrès de Mexico, excursion C-9: 33). Il s'agit des restes d'un petit rongeur que l'on suppose dater de l'Eocène supérieur ou de l'Oligocène inférieur, *Floresomys guanajuatoensis* (Friès et al. 1955). Deux remarques s'imposent: 1) la similitude des conditions de formations de ces conglomérats (post-tectoniques, continentaux) explique leur ressemblance; mais cette ressemblance ne prouve pas qu'ils soient obligatoirement contemporains. 2) L'espèce correspondant au fossile ayant été créée spécialement pour lui, il ne saurait être considéré comme un bon fossile: il est peut-être eocène supérieur mais il est peut-être oligocène inférieur.

La conclusion est que le plissement de la Sierra est post-Maestrichien, pré-Oligocène. En particulier, il pourrait

être comme celui des plis frontaux eocène supérieur, c'est-à-dire correspondre à la phase pyrénéenne.

#### 4. Argument paléogéographique

Cependant, il faut noter que l'Eocène inférieur (Chicontepec) est une formation abondamment pourvue de grès (type flysch), très épaisse. D'où peut provenir ce matériel? En l'absence:

a) d'indications de l'orientation des apports dans ces grès,

b) de preuves d'existence d'un massif émergé alimentateur de ces quartz quelque part vers l'est de la fosse sédimentaire, on peut penser qu'une partie du plissement de la Sierra accompagné d'une émergence et d'une érosion intense est contemporain de ce flysch. Le plissement aurait débuté à l'Eocène inférieur.

#### 5. Conclusion

Les informations en notre possession pour le moment nous permettent de conclure à la possibilité d'une phase tectonique majeure se déclenchant dans la région centrale de la chaîne à l'Eocène inférieur, puis déplaçant vers l'est sa zone d'activité maximale, pour affecter à l'Eocène supérieur l'avant-pays immédiat. Au niveau de Guanajuato, l'arrêt de l'activité orogénique est pré-Oligocène. Il en est sans doute de même dans la région frontale de la Sierra, alors que vers la côte le temps d'arrêt entre l'Eocène supérieur et l'Oligocène inférieur est suivi d'une seconde phase au Miocène. On voit donc dériver vers l'est au cours du Tertiaire la zone d'action des contraintes orogéniques affectant l'écorce terrestre en voie de plissement.

#### Descriptions des unités tectoniques

##### 1. Introduction

La première partie du rapport traitant de la stratigraphie avait fait apparaître différentes variations de faciès s'effectuant depuis le front de la Sierra en allant généralement vers l'O-S-O ou le S-O. La configuration tectonique actuelle de la Sierra, résultat des plissements dont nous venons de discuter l'âge, peut également être divisée, grosso modo, suivant des lignes N-N-O, S-S-E en quatre domaines différents.

Cependant deux inconnues nous obligeront à laisser de côté pour le moment toute tentative d'explication de ces

différences: l'une est due à notre ignorance de ce que fut l'histoire paléogéographique et stratigraphique dans l'intérieur de la Sierra depuis la fin du Crétacé jusqu'au dépôt des formations volcaniques. Nous nous posons les questions suivantes sans pouvoir y répondre: quelle a pu être l'épaisseur de sédiments ultérieurement érodés surmontant les niveaux que nous rencontrons actuellement? A quelle profondeur, sous quelle charge, se sont effectués les plissements? L'autre inconnue est celle que nous avons signalée à propos du Paléozoïque et du Jurassique inférieur: nous ignorons le comportement du socle et du sédimentaire paléozoïque vis-à-vis de la tectonique de couverture et à quels niveaux ont pu avoir lieu des décollements. Sur la planche de coupes tectoniques, qu'il est nécessaire d'avoir sous les yeux, avec les cartes géologiques, pour suivre ce chapitre, l'interprétation en profondeur de ce problème est purement schématique.

Les quatre zones que l'on peut distinguer sont, d'est en ouest:

- le front de la Sierra
- la zone externe
- la zone centrale
- la zone interne.

Ces zones partagent le secteur de la Sierra que nous avons étudié, mais ne sauraient être considérées comme valables pour toute la largeur de la Sierra, tant que celle-ci demeurera vers l'ouest en grande partie méconnue.

##### 2. Le front de la Sierra

L'existence d'un front oriental de la Sierra parfaitement déterminé est déjà en elle-même une caractéristique de cette chaîne. En effet, depuis Monterrey et jusqu'à Villa Juárez, avec un "relai" dont nous parlerons, on peut localiser avec précision une entité géologique et géographique qui présente les caractéristiques suivantes:

- Topographiquement, la plaine côtière dont les ondulations adoucies oscillent entre 100 et 200 m butte sur la première pente nettement accusée qui monte rapidement à plus de 500 m (1 000 m en certains endroits); il s'agit donc d'un front géographique net de la Sierra.

- Tectoniquement, cette pente est toujours le flanc oriental d'un anticlinal serré; comme le montrent les coupes, ce flanc peut être l'objet de plusieurs replis anticlinaux de moindre importance et de moindre extension axiale. L'ensemble peut alors être considéré comme un anticlinorium. C'est à la faveur de cet anticlinorium qu'affluent le Précambrien et le Paléozoïque de Ciudad Victoria et de Huayacocotla, ainsi que le Jurassique de Tamán.

—Par l'intermédiaire de cette retombée de l'anticlinorium, se produit sur une largeur réduite l'enfoncement du Crétacé inférieur (et partant de toutes les formations pré-Crétacé inférieur sous l'épaisse série marneuse du Méndez, du Velasco et du Chicontepec). Ainsi, cette retombée joue le rôle d'une flexure frontale. L'importance de ce phénomène exige que le socle lui-même y participe: nous avons interprété cette participation comme une grande faille inverse ou plusieurs failles inverses groupées) puisqu'il doit y avoir contraction.

—Enfin, on peut remarquer que la limite occidentale des formations tertiaires marines de la côte peut être plus ou moins rapprochée du front de la Sierra, mais ne le dépasse jamais vers l'ouest. Il est possible que l'accident tectonique conduisant à cette flexure ait été aussi le responsable de la limite paléogéographique des mers tertiaires.

Cet anticlinorium frontal de la Sierra Madre Orientale constitue la sierra de Ciudad Victoria, relayée vers le sud par la sierra de Prada, la sierra de la Boca, la sierra Cucharas, la sierra de Tanchipa, et la sierra de las Palmas, et s'annonce sous le Crétacé supérieur et le Tertiaire au niveau du río Tampoan. C'est qu'entre temps s'est produit un phénomène de relai: l'anticlinal de la sierra de Colmena qui était au niveau de Antigua Morelos (coupe 2) le deuxième anticlinal à l'ouest (après celui correspondant à la sierra de Nicolas Pérez) prend le relai pour jouer à son tour, vers le sud, le rôle d'anticlinorium frontal de la Sierra.

### 3. La zone "externe"

Cette zone externe est bordée vers l'ouest par une limite imprécise. Nous la définissons comme étant essentiellement une zone d'anticlinaux et de synclinaux serrés, généralement disymétriques et déversés vers l'est. Le coeur des synclinaux est constitué par du Crétacé supérieur. Les plis s'apparentent aux plis concentriques que l'on peut définir théoriquement comme plis conservant l'épaisseur des couches (le Jura franco-suisse en est un exemple). On trouve aussi une autre caractéristique qui rappelle le Jura: les plis "en genoux" ou les plis coffrés. Certains de ceux-ci peuvent être des plis "en éventail", déversés vers l'est et vers l'ouest (Nuevo Morelos, Ciudad del Maíz).

Cette zone est accompagnée de deux faits tectoniques notables:

—Premièrement, dans l'ordre de la microtectonique, les couches sont souvent l'objet de replis ou plis en chevrons particulièrement remarquables. On peut y constater la tendance dominante vers le type "pli concentrique" avec quelques épaississements dans la charnière annonçant l'évolution vers le type "pli parallèle" (photos 15 et 17).

—Deuxièmement, dans l'ordre de la macrotectonique, le déversement des plis peut s'accompagner d'un étirement des flancs renversés conduisant à une rupture avec disparition d'éléments appartenant à ce flanc. On passe alors de l'anticlinal au synclinal par l'intermédiaire d'une grande faille dont le plan est incliné et qui introduit un chevauchement du Crétacé inférieur (El Doctor) sur le Crétacé supérieur (Méndez).

Ce phénomène est bien visible sur la route entre Antigua Morelos et Ciudad del Maíz: le quatrième synclinal après El Naranjo, au niveau de El Platanito, montre un flanc ouest suivant le type faillé que nous venons de décrire (coupe 2). Il en est de même du synclinal de El Obispito, traversé par la route de Río Verde à Valles immédiatement après le carrefour de Las Canoas et la sierra Peña Blanca. Le contact faillé est très incliné (30°) et s'accompagne d'une zone broyée de quelques mètres d'épaisseur (coupe 3). Enfin nous interprétons comme un mécanisme du même genre, mais avec un lambeau de flanc inverse conservé, le chevauchement de la série de Ahuacatlan sur la série de Xilitla (coupe 5).

### 4. La zone "centrale"

Cette zone a des limites encore moins définies que la zone précédente. Cependant nous pensons nécessaire de l'isoler comme étant celle des grandes étendues purement calcaires. Son existence tient à deux causes. Tout d'abord les plis sont moins serrés et les anticlinaux peuvent être des bombements larges. On trouve ainsi, à l'ouest de Río Verde, puis entre Lagunillas et Tamapatz ainsi qu'entre Jalpan et Landa de Matamoros, des domaines assez larges où les pendages, quand ils sont observables, sont subhorizontaux. Ensuite, jusque dans les synclinaux, l'érosion a fait disparaître toute trace de formation marneuse.

Il devient alors très difficile de mettre ceux-ci en évidence, surtout quand à la fois le faciès massif sans stratification des calcaires et l'abondance des croûtes calcaires rend à peu près impossible l'observation des pendages. C'est en photo aérienne qu'une certaine morphologie des alignements permet de déceler les couches verticales: mais, outre que nous ne possédons qu'un petit nombre de photos, il n'est pas possible de distinguer sur celles-ci ni les couches horizontales ou faiblement inclinées ni les passages des synclinaux et anticlinaux.

Sur nos cartes géologiques, la zone en question apparaît sans difficulté puisque redevable d'une seule couleur, celle du faciès El Doctor, sur les coupes tectoniques, nous avons interprété les plis probables de cet ensemble purement calcaire.

### 5. La zone "interne"

---

Ici, le terme "interne" est pris dans le sens habituel que l'on donne à ce mot dans le langage tectonique. Il s'agit bien d'une zone occupant une position interne dans le domaine subissant les contraintes de l'orogénie. Sa limite est une ligne SE-NO passant au col de Las Trancas et se dirigeant vers l'ouest de Río Verde. Le synclinal de Jalpan et le grand synclinal de Vizarrón-Huiguerrillas sont compris dans cette zone. Vers l'ouest, la limite n'est pas visible à cause du recouvrement volcanique. L'appartenance à une zone "interne" tectonique des unités rencontrées est prouvée par deux faits corrélatifs: l'apparition des minéraux de métamorphisme et l'apparition des plis isoclinaux.

Aussi bien au col de Las Trancas (sur la route de Tamazunchale) dans le Jurassique supérieur, que, au nord de Vizarrón, dans le Crétacé supérieur, les grands ensembles argileux ont un faciès de schistes lustrés. Les plaquettes de schistes sont recouvertes par des micas blancs de petites dimensions qui leur donnent un aspect soyeux, brillant. Ce sont des schistes sériciteux (*filíticos* des auteurs de langue espagnole). En fait, comme nous allons le voir, la schistosité elle-même ne suit pas toujours la stratification. Cette apparition de minéraux micacés, inconnue dans les autres zones de la Sierra, est le témoignage d'un léger métamorphisme qui correspondrait à des pressions tectoniques plus fortes que dans les zones centrales et externes et un enfouissement sous une certaine épaisseur de sédiments.

Ces deux conditions sont également nécessaires pour expliquer le style particulier du plissement en plis isoclinaux et l'importance de la schistosité d'origine tectonique qui les accompagne. C'est surtout dans le grand synclinal de Vizarrón et dans celui de Jalpan que le Crétacé supérieur présente ces particularités. Ce plissement isoclinal très serré où les couches et les plans axiaux sont presque parallèles, avec des charnières très aiguës (photo 25) rend difficile le décompte de chaque pli. Il est certain qu'une disharmonie doit se produire entre les plis de la formation marneuse et les plis moins souples des calcaires sous-jacents. Mais le rapport entre la largeur actuelle d'un affleurement et la largeur originelle de la zone de sédimentation correspondante est sûrement plus petit dans cette zone (1/2 à 1/3?) que dans les zones externes où nous l'avons estimé à 3/4.

Le problème posé par l'observation de cette schistosité tectonique développée et des plis isoclinaux se rapporte à l'épaisseur des sédiments qu'il faut admettre en dessus du Crétacé supérieur. Or précisément les connaissances actuelles de paléogéographie conduisent à penser que la formation Méndez du Crétacé supérieur a été la dernière avant le plissement.

Nous concluerons donc en insistant sur le fait que nous avons essayé de présenter ici, dans ses grandes lignes, le style tectonique de la Sierra Madre sans masquer les problèmes non résolus mais en montrant au contraire qu'une extension vers l'ouest des recherches pourrait apporter de très utiles éclaircissements.

### III— LES FORMATIONS POST-TECTONIQUES

---

#### 1. Introduction

---

Nous avons fait appel, pour compléter les cartes géologiques aux limites de notre étude, aux publications existantes qui se rapportent aux formations post-tectoniques, volcaniques d'une part, vers le sud-ouest, marines d'autre part, vers l'est. La stratigraphie et la description des unités qui correspondent à ces ensembles de formations qui n'appartiennent pas à la Sierra Madre proprement dite, ne seront pas décrites ici. Il suffit de se reporter aux publications principales: carte de Pachuca, pour la zone volcanique; excursion C8 du Congrès de Géologie de México (1956) pour les formations marines de la plaine côtière.

Nous donnerons seulement quelques indications relatives aux formations post-tectoniques rencontrées dans notre zone d'étude.

#### 2. Formations volcaniques anciennes

---

Entre Río Verde et Rayón, ainsi qu'en plusieurs endroits de la feuille Cadereyta, des massifs de roches éruptives ont été séparés des formations volcaniques récentes par analogie avec les divisions cartographiques adoptées sur la feuille de Pachuca. Aucun des critères ne sont des critères rigoureux permettant de dater ces venues volcaniques. Mais leur ensemble justifie la distinction fondamentale adoptée par les géologues dans ces régions. Ce sont d'abord des critères pétrographiques: les roches du groupe volcanique ancien (*grupo San Juan*) sont généralement de type acide: rhyolite, ou intermédiaire: trachyte. Sur le terrain, elles ont des patines rousses, roses, blanchâtres.

L'épaisseur est généralement notable, dépassant la centaine de mètres.

Ensuite interviennent des critères morphologiques: ces roches volcaniques anciennes se sont déposées dans une morphologie différente de la morphologie actuelle. Une érosion appréciable ayant joué depuis leur dépôt, ces massifs forment des reliefs déchiquetés et la surface d'érosion ancienne sur laquelle ils se sont déposés, est généralement

une surface perchée. L'âge est inconnu, et ce n'est que par analogie avec d'autres régions, qu'il est supposé "miocène-oligocène".

### 3. Formations volcaniques récentes

Des surfaces de dimensions très variables de formations volcaniques récentes, se rencontrent dans toutes les zones de la Sierra comme en bordure de celle-ci, sans que l'on puisse déceler de facteurs présidant à leur distribution. Les critères qui permettent de les considérer comme récentes sont en opposition avec les critères signalés au paragraphe précédent.

Pétrographiquement, ces formations sont de type basique; ce sont des andésites ou des basaltes. Leur patine est noire, gris foncé, parfois gris bleuté. L'épaisseur est généralement faible: de quelques mètres à quelques dizaines de mètres.

Le critère le plus important et immédiatement décelable est le critère morphologique. Ces coulées volcaniques se sont épanchées dans une morphologie correspondant à peu près à la morphologie actuelle. La coupe 5 (Valles) montre plusieurs exemples de lave ayant emprunté les fonds de vallée actuelle. Tantôt la rivière actuelle coule sur le basalte, tantôt le lit s'est creusé de quelques mètres entre la lave et la roche sédimentaire encaissante. Exceptionnellement, comme à Pinihuan, au sud de Rayón, le Río Verde s'est encaissé d'une dizaine de mètres dans le basalte.

L'âge reste cependant inconnu. Il est vraisemblable que ces formations dites "récentes" peuvent être d'âges variables allant du Pliocène supérieur au Quaternaire récent.

### 4. Terrasses anciennes

Sur la coupure 5, et principalement sur la feuille Rayón, des terrasses anciennes occupant des positions relativement élevées par rapport au fond des vallées (de 20 à 50 m) ont été cartographiées indépendamment du Quaternaire récent.

Leur épaisseur, en moyenne d'une vingtaine de mètres, la grosseur du matériel: galets roulés très arrondis de calcaire, indiquent un régime fluvial ancien beaucoup plus important que le régime actuel. Il arrive parfois, comme dans la vallée de Cárdenas (vers le sud) ou dans celle de Jalpan (vers l'est) que le cours d'eau actuel soit pour ainsi dire inexistant. On peut conclure que le drainage se faisait aux époques anciennes suivant un réseau hydrographique largement différent du réseau actuel. Entre Lagunillas et Tanlacu, nous avons cartographié comme terrasse ancienne une grande vallée, sèche actuellement, dont le fond est constitué par

des alluvions grossières roulées: cette vallée est un ancien passage du Río Verde, allant vers le Santa Maria, et capté ensuite par un affluent de celui-ci.

Ailleurs, des distinctions cartographiques ont été faites là où deux niveaux de terrasses alluviales existent: l'un noté comme terrasse ancienne, l'autre comme Quaternaire actuel. Il ne faut pas cependant attribuer d'autre valeur de datation à cette séparation: d'une vallée à l'autre les critères nous manquent pour esquisser même une tentative de corrélation de ces différents moments du Quaternaire.

### 5. Quaternaire récent

Sous cette rubrique, nous avons groupé les fonds alluviaux plats des grandes vallées, ainsi que les formations de piedmont (brèche de pente) légèrement inclinées. Dans la région de Rayón et plus au nord de Tula, les croûtes calcaires masquent le sous-sol et nous l'avons interprété comme alluvions quaternaires, bien qu'il ne soit pas impossible que certaines coulées basaltiques récentes occupent certaines parties des fonds de vallées. C'est aussi dans cette rubrique que nous avons classé le Quaternaire non différencié des différentes cartes, inédites ou publiées, intégrées à notre rapport.

Août 1965.

### BIBLIOGRAPHIE

- ALVAREZ, M., Jr., 1949. Tectonics of Mexico. *Bull. Am. Assoc. Pet. Geol.* 33 (8): 1319-1335.
- ALVAREZ M., Jr., 1958. Tectónica profunda de México. *Bol. Asoc. Mex. Geol. Pet.* 10 (3-4): 163-182.
- ARELLANO A., R.V., 1953. Geología de los cañones de Peregrina y Santa Engracia (Victoria, Tamaulipas). *Primera Convención de la Asoc. Mex. Geol. Pet. Resumen* 97.
- AUBOUIN, J., 1959. A propos d'un centenaire: les aventures de la notion de geosynclinal. *Rev. Géogr. Phys. et Géol. Dynam.* Juillet-Septembre 1958: 135-188.
- BODENLOS, A.J., 1956. Notas sobre la geología de la Sierra Madre en la sección Zimapán-Tamazunchale. *XXe Congrès Géologique International de México, Guide des excursions A-14 et C-6*: 293-309.
- BONET, F., 1953. Cuevas de la Sierra Madre Oriental en la región de Xilitla. *Bol. Inst. Geol. de México* 57.
- BOSE, E., 1906. La fauna de moluscos del senoniano de Cárdenas, San Luis Potosí. *Bol. Inst. Geol. de México* 24.
- BOSE, E., 1906. De San Luis Potosí à Tampico. *Xe Congrès Géologique International de México, Guide des excursions XXX*.
- BOSE, E. et O.A. CAVINS, 1927. The Cretaceous and Tertiary of Southern Texas and Northern Mexico. *Univ. Texas Bull.* 2748.
- BURCKHARDT, C., 1930. Etude synthétique sur le Mésozoïque mexicain. *Mem. Soc. Paleont. Suisse* XLIX-L.
- CARRILLO BRAVO, J., 1959. Notas sobre el paleozoico de la región de Ciudad Victoria, Tamaulipas. *Bol. Asoc. Mex. Geol. Pet.* 11 (11-12): 671-681.
- CARRILLO BRAVO, J., 1961. Geología del anticlinorio Huizachal-Peregrina al noroeste de Ciudad Victoria, Tamaulipas. *Bol. Asoc. Mex. Geol. Pet.* 13 (1-2): 1-98.

## Géologie de la Sierra Madre Orientale de Pachuca a Ciudad Victoria

- CARRILLO BRAVO, J., 1961. Las "capas rojas" del mesozoico inferior y medio en el anticlinorio de Huayacocotla. *Primera Convención Nacional de Ingenieros y Técnicos en Exploración y Explotación del Petróleo, México. Resúmenes*: 49-50.
- CSERNA, Z. de, 1956. Tectónica de la Sierra Madre Oriental de México, entre Torreón y Monterrey. *XXe Congrès Géologique International de México. Mémoires*.
- CSERNA, Z. de, 1958. Notes of the Tectonics of Southern México. Habitat of Oil *Am. Assoc. Pet. Geol.*: 523-532.
- CSERNA, Z. de, 1960. Orogenesis in Time and Space in México. *Geol. Rundschau* 50: 595-605.
- CSERNA, Z. de, 1961. Tectonic Map of México. 1:2 500 000. Geological Society of America.
- ERBEN, H.K., 1954. Nuevos datos sobre el liásico de Huayacocotla, Veracruz. *Bol. Soc. Geol. Mex.* 17 (31-40).
- ERBEN, H.K., 1956. *El jurásico inferior de México y sus amonitas*.
- ERBEN, H.K., 1956. El jurásico medio y el calloviano de México. *XXe Congrès Géologique International de México. Mémoires*.
- ERBEN, H.K., 1956. Estratigrafía a lo largo de la carretera entre México D.F. y las áreas de Huauchinango-Necaxa, Pue., y Huayacocotla, Ver. *XXe Congrès Géologique International de México. Mémoires*.
- FLAWN, P.T. et T. DIAZ., 1959. Problems of Paleozoic Tectonics in North Central and Northeastern México. *Bull. Am. Assoc. Pet. Geol.* 43 (1): 224-230.
- FLAWN, P.T., 1961. Rocas metamórficas en el amazón tectónico de la parte septentrional de México. *Bol. Assoc. Mex. Geol. Pet.* XIII (3-4): 105-115.
- GIRTY, G.H., 1926. A New Area of Carboniferous rocks in México. *Science, New Serie* 63 (1628): 286-287.
- GUZMAN, E.J. et Z. de CSERNA, 1963. Tectonic History of México. In *Backbone of the Americas*. American Association of Petrology and Geology, Tulsa, Oklahoma.
- HARRINGTON, H.J., 1956. Morphostructural Regions of South America. In *Handbook of South American Geology. Geol. Soc. Am. Mem.* 65: XIII-XVIII.
- HEIM, A., 1926. Notes of the Jurassic of Tamazunchale (Sierra Madre Oriental, México). *Eclogae Geologicae Helveticae* XX: 84-87. Bâle.
- HEIM, A., 1934. El Bernal de Horcasitas, a Volcanic Plug in the Tampico Plain, México. *Zeit. Vulcan.* XV: 254-260.
- HEIM, A., 1940. The Front Ranges of Sierra Madre Oriental, México, from Ciudad Victoria to Tamazunchale. *Eclogae Geologicae Helveticae* 33 (2): 313-352. Bâle.
- HUMPHREY, W.E., 1953. Excursión al cañón de Peregrina, Ciudad Victoria, Tamaulipas. *Primera Convención de la Asoc. Mex. Geol. Pet. Resumen*.
- IMLAY, R.W., 1943. Jurassic Formations of Gulf Region. *Bull. Am. Assoc. Pet. Geol.* 27 (11): 1407-1533.
- IMLAY, R.W., 1944. Cretaceous Formations of Central America and México. *Bull. Am. Assoc. Pet. Geol.* 28 (8): 1077-1195.
- IMLAY, R.W., 1952. Correlation of the Jurassic Formations of North America, exclusive of Canada. *Bull. Geol. Soc. of America* 63: 953-992.
- IMLAY, R.W., 1953. Las formaciones jurásicas de México. *Bol. Soc. Geol. Méx.* 16.
- IMLAY, R.W., E. CEPEDA, M. ALVAREZ et T. DIAZ, 1948. Stratigraphic Relations of Certain Jurassic Formations in Eastern México. *Bull. Am. Assoc. Pet. Geol.* 32 (9): 1750-1761.
- KING, P.B., 1942. Tectonics of Northern Mexico. *VIII American Science Congress in Washington, Proceedings* IV: 395-398.
- KING, P.B., 1947. Carta geológica de la parte septentrional de la República Mexicana. Instituto de Geología, Cartas geológicas. Mem. 3. México.
- KING, R.E., 1942. Paleozoic Stratigraphy of México. *VIII American Science Congress in Washington, Proceedings*. IV: 109-119.
- KUEGELGEN, H. von, 1958. Der Aufbau der zentralen Sierra Madre Oriental, México. *Deutsche Geol. Gesell. Zeitschr.* 110: 117-142.
- MALDONADO-KOERDELL, M., 1954. Nomenclatura, bibliografía y correlación de las formaciones arqueozoicas y paleozoicas de México. *Bol. Asoc. Mex. Geol. Petrol.* VI (3-4): 113-138.
- MARTINEZ-PEREZ, J., 1962. Estudio geológico de una porción de la Sierra Madre Oriental al oriente de Zacaultipán y Tanguistengo. Thèse. Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, México.
- MIXON R.B., G. E. MURRAY et T. DIAZ, 1959. Age and Correlation of Huizachal Group (Mesozoic), State of Tamaulipas. *Bull. Am. Assoc. Pet. Geol.* 43 (4): 757-771.
- MUIR, J.M., 1936. *Geology of the Tampico Region, México*. American Association of Petrology and geology, Tulsa, Oklahoma.
- RAISZ, E., 1959. *Land Forms of México*. Cambridge, Massachusetts.
- REYES-DOMINGUEZ, E., 1961. Identificación de sedimentos paleozoicos en el Estado de Hidalgo, México. *Primera Convención Nacional de Ingenieros y Técnicos en Exploración y Explotación del Petróleo, México. Resúmenes* 49.
- SCHUCHERT, C., 1935. *Historical Geology of the Antillean-Caribbean Region*. John Wiley, New-York.
- SEGERSTROM, K., 1956. Geología general y rocas volcánicas del área entre México, D.F. y Huauchinango, Puebla. *XXe Congrès Géologique International de México. Guide des excursions* A 10 et C 13: 13-26.
- SEGERSTROM, K. 1962. Geology of South-Central Hidalgo and Northeastern Mexico, Mexico. *US Geological Survey, Bull.* 1104C: 87-162.
- SILVA-PINEDA, A., 1963. Plantas del triásico superior del Estado de Hidalgo. *Inst. Geol. Paleont. Mex.* 18. UNAM, México.
- SIMONS, F.S. et E. MAPES, 1956. Geology and Ore Deposits of the Zimapan Mining District, State of Hidalgo, México. *US Geological Survey, Professional Papers* 284.
- MATERIAL CARTOGRAFICO Y FOTOGRAFICO
- DETENAL 1971.  
 Carta topográfica, geológica, edafológica y uso del suelo. Hoja Zinapécuaro E 14-A 14, escala 1:50 000.  
 Carta topográfica, geológica, edafológica y uso del suelo. Hoja Maravatío E 14-A 15, escala 1:50 000.  
 Carta topográfica, geológica, edafológica y uso del suelo. Hoja Tzitzio E 14-A 24, escala 1:50 000.  
 Carta topográfica, geológica, edafológica y uso del suelo. Hoja Cd. Hidalgo E 14-A 25, escala 1:50 000.  
 Carta de climas. Hoja México 14 Q-V al reverso modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarla a las condiciones de la República Mexicana), escala 1:50 000.
- DETENAL 1971.  
 Fotografías áreas en color, escala aproximada 1:25 000. Fecha de vuelo junio 1976. Zona 20B.



**Photo 1.** Cañón del Huizachal. Mo. de Ciudad Victoria (Tamaulipas). Une prise vers le SE, à 18 km à vol d'oiseau de Ciudad Victoria, depuis la route de Tula – à environ 1 370 m d'altitude. Les couches rougeâtres du Trias sont situées au fond de la vallée (photo: G. Stresser-Péan).



**Photo 2.** Conglomérat dans la formation El Doctor, du Crétacé inférieur. Piste de San Juan au NE de Zimapan, Mo. de Zimapan (Hidalgo), à 1 900 m d'altitude (photo: B. Guérin-Desjardins).



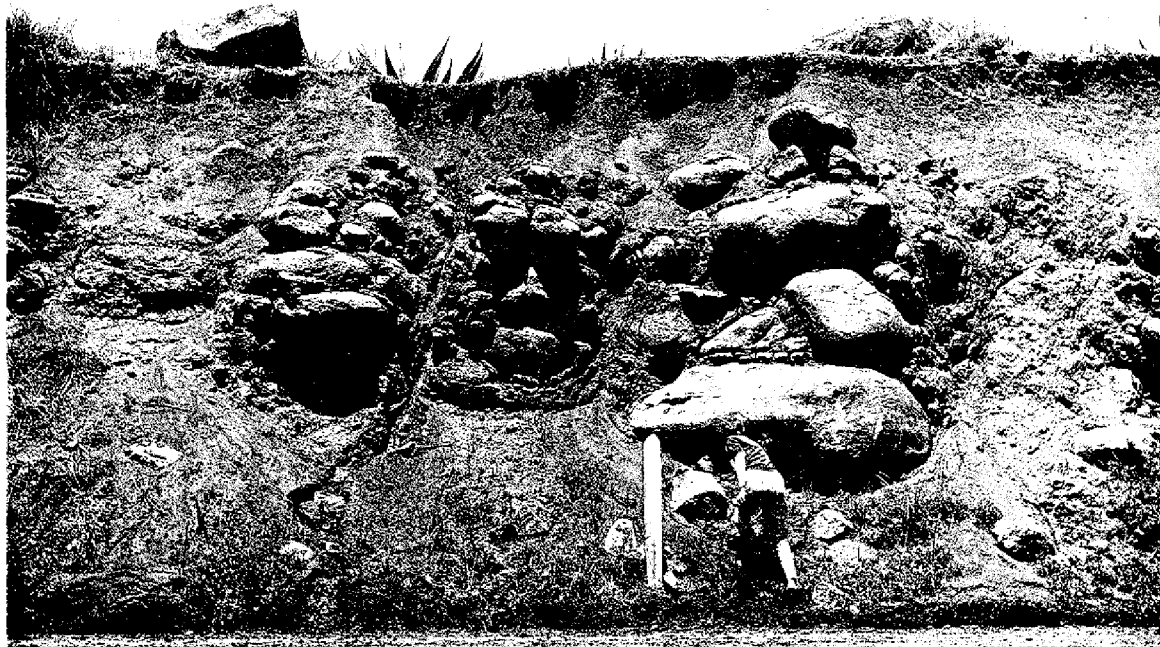
**Photo 3.** Contact entre la formation El Doctor (calcaires massifs du Cenomanien, Crétacé inférieur) et de la formation San Felipe (calcaires marneux en plaquettes du Coniacien, Crétacé supérieur). Bord de la route de Valles –a Tamazunchale –a 300 m au sud de Santiaguillo, Mo. de Ciudad de Valles (San Luis Potosí) à 150 m d'altitude (photo: B. Guérin-Desjardins et J. Lesage).



**Photo 4.** Formation Mexcala (couches marno-calcaires du Crétacé supérieur) au premier plan et au fond, sommets situés à l'ouest de Higuerrillas et formés par les calcaires durs de El Doctor, 8 ou 9 km au nord de Vizarrón, route à Higuerrillas, Mo. Cadereyta (Querétaro) (photo: G. Stresser-Péan).



**Photo 5.** Coullé de Basalte sur sédiments de la formation Tarango (Pliocène). Km 86,6 de la route México-Querétaro, Mo. de Soyaniquilpan (México) (photo: G. Stresser-Peán).



**Photo 6.** Erosion en boule d'une coulée de basalte quaternaire. Km 110 de la route México-Querétaro, Mo. Polotitlan (México) (photo: G. Stresser-Peán).



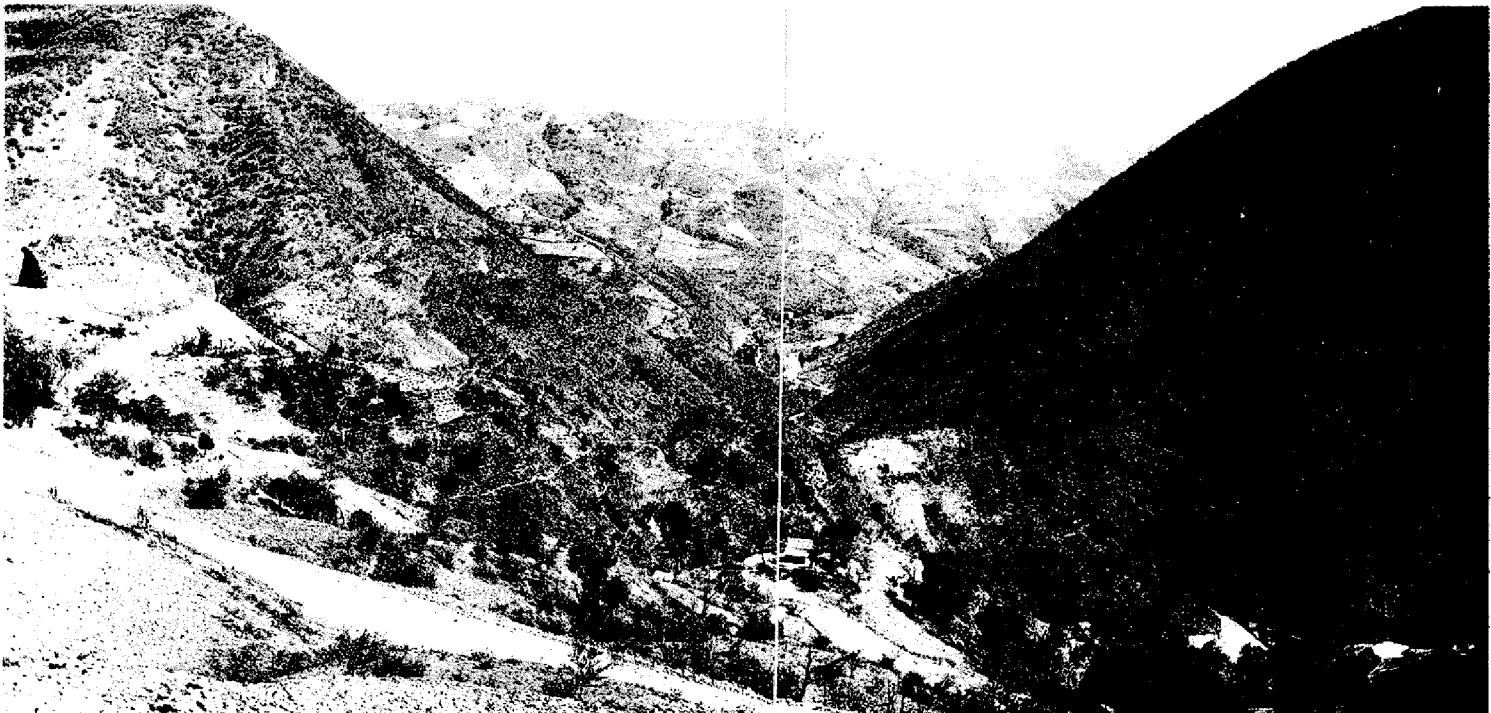
**Photo 7.** Terrasse ancienne sur une coulée de basalte. Piste de Rayón à Lagunillas, à moins de 5 km au NE de cette dernière ville, Mo. Lagunillas (San Luis Potosí) à 1 000 m d'altitude (photo B. Guérin-Desjardins).



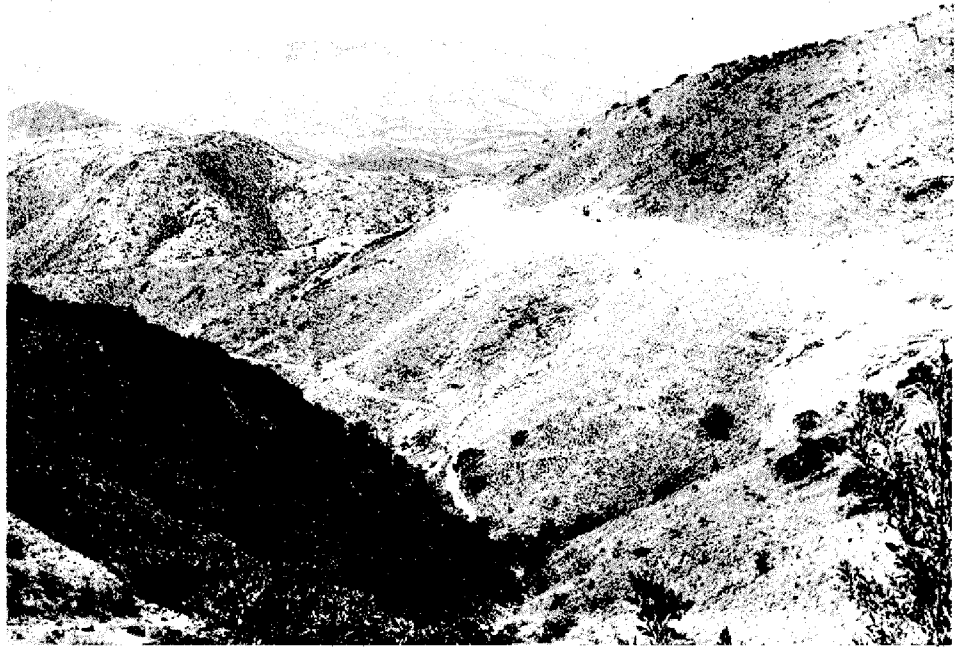
**Photo 8.** Mesas: culot éruptif et coulées de basalte quaternaire dominant une plaine de la formation Velasco (Crétacé supérieur), 8 km au nord de Llera, sur la route de Ciudad Victoria, Mo. de Llera (Tamaulipas) à 500 m d'altitude (photo: G. Stresser-Péan).



**Photo 9.** Cerro La Peña del Padre, au nord de Neblinas, et au premier plan vallée du río Tancuilin, formation Pimienta (Jurassique supérieur et Crétacé inférieur) et formation Chapulhuacan. Mo. de Landa de Matamoros (Querétaro) (photo: B. Guérin-Desjardins).



**Photo 10.** Vue depuis la côte de Huazmazontla, en direction d'est. Jurassique supérieur, Crétacé inférieur, moyen et supérieur. Mo. de Amales (Querétaro) (photo: B. Guérin-Desjardins).



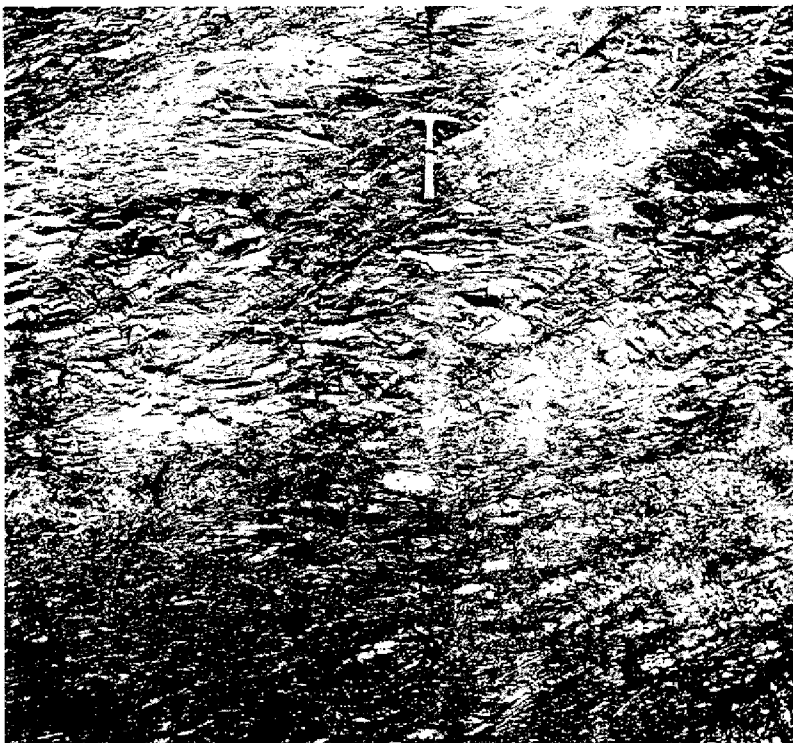
**Photo 11.** Synclinal de Vizarrón du Crétacé supérieur de la formation Mexcala entre deux anticlinaux de calcaire de la formation El Doctor du Crétacé inférieur. Descente de El Madroño à Peña Blanca, route Jalpan-Cadereyta, Mo. de Peñamiller (Querétaro) (photo: B. Guérin-Desjardins).



**Photo 12.** Cerro de Media Luna (culminant à 2 700 m d'altitude), au sud des montagnes de Pinal de Amales, contact entre le Crétacé supérieur de la formation Mexcala et le calcaire du Crétacé inférieur de la formation El Doctor. Mo. de Peñamiller (Querétaro) (photo: G. Stresser-Péan).



**Photo 13.** Vallée du río Concá et au fond, cerro de Santo Domingo: au sommet des calcaires durs du Crétacé inférieur de la formation El Doctor et dans la pente des calcaires tendres du Crétacé supérieur; coullé de basalte quaternaire du premier plan. Environ de Concá, Mo. de Arroyo Seco (Querétaro) (photo: B. Guérin-Desjardins).



**Photo 14.** Schistosité oblique dans les couches de schistes argileux du Jurassique supérieur de la formation Las Trancas. 2 km au nord de Bernal, Mo. de Ezequiel Montes (Querétaro à 2 000 m d'altitude) (photo: B. Guérin-Desjardins).



**Photo 16.** Charnière de plissement dans les calcaires de la formation El Doctor du Crétacé inférieur, 6 km à vol d'oiseau de Pinal de Amales, environ de Madroño, Mo. de Amales (Querétaro) (photo: G. Stresser-Péan).



**Photo 15.** Pli en chevron dans les calcaires de la formation San Felipe du Crétacé supérieur. Route de Tamazunchale à Tamán à 3 km du pont de Tamazunchale sur le río Moctezuma, Mo. de Tamazunchale (San Luis Potosí) à 200 m d'altitude (photo: B. Guérin-Desjardins et J. Lesage).



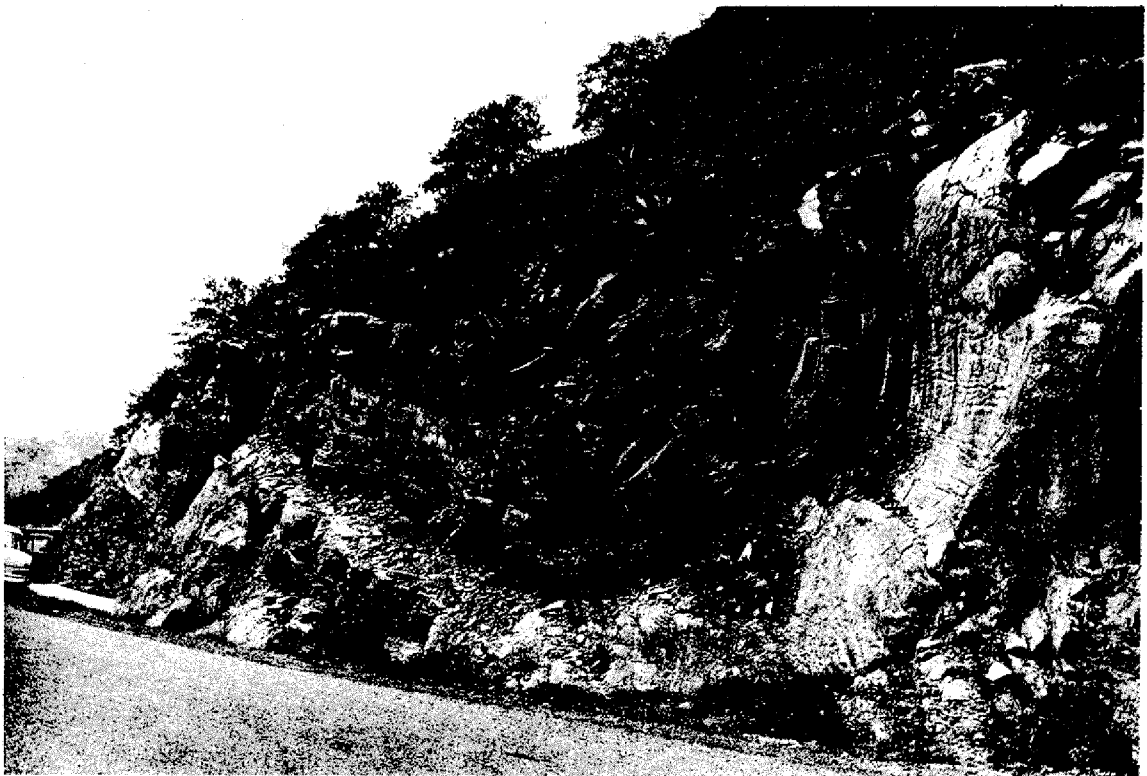
**Photo 17.** Pli en chevron dans les calcaires de la formation El Doctor du Crétacé inférieur, la base des couches est située à gauche de la photo. Sommet de la côte de Huazmazontla, Mo. de Amales (Querétaro) (photo: G. Stresser-Péan).



**Photo 18.** Désharmonie dans les plissements des calcaires de la formation El Doctor (?) du Crétacé inférieur. Sommet de la côte de Huazmazontla, Mo. de Amales (Querétaro) (photo: G. Stresser-Péan).



**Photo 19.** Charnières avec joints radiaux dans le Crétacé inférieur, Km 32 de la route de San Luis Potosí à Río Verde, Mo. de Zaragoza (San Luis Potosí) à 2 000 m d'altitude (photo: G. Stresser-Péan).



**Photo 20.** Suite de la photo 19.



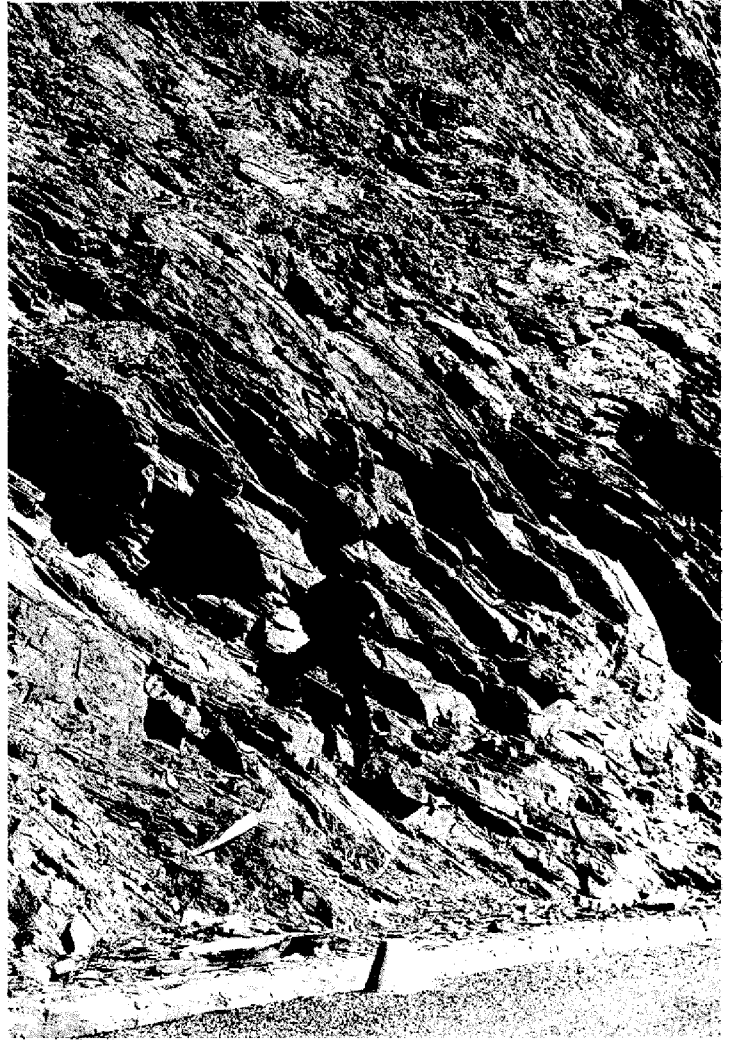
**Photo 21.** Charnière faillée dans les calcaires durs de la formation El Doctor du Crétacé inférieur. Km 37,5 de la route de San Luis Potosí à Río Verde, entre Joconoxtle et San Francisco, Mo. de Zaragoza (San Luis Potosí) à 2 300 m d'altitude (photo: B. Guérin-Desjardins).



**Photo 22.** Détail de la charnière faillée de la photo 21.



**Photo 24.** Schistosité tectonique dans une charnière des couches marno-calcaires du Crétacé supérieur de la formation Mexcala. Environs de Higuerrillas, Mo. de Cadereyta (Querétaro) (photo: G. Stresser-Péan).



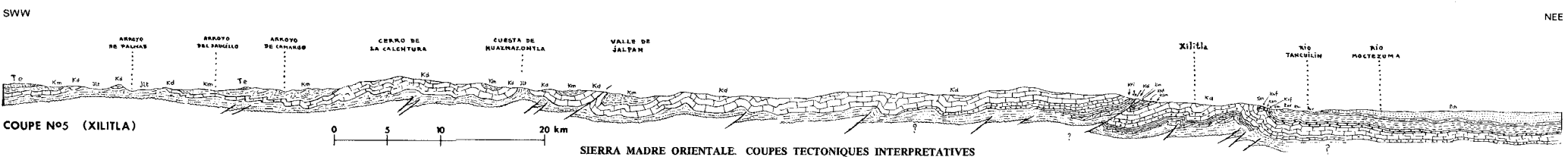
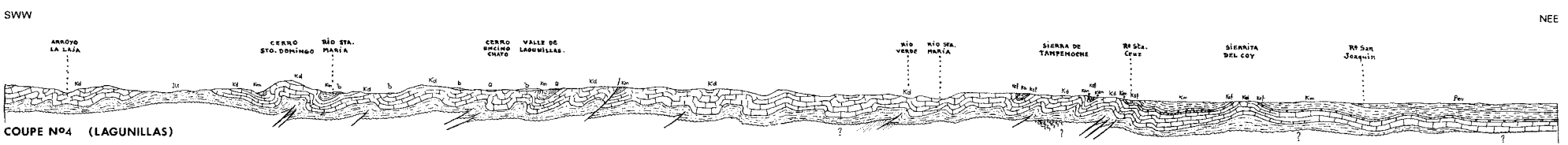
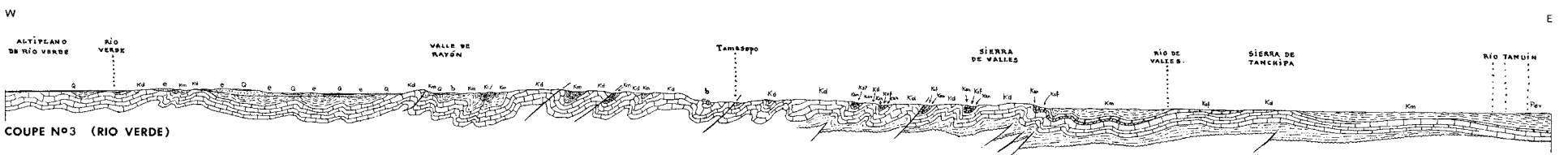
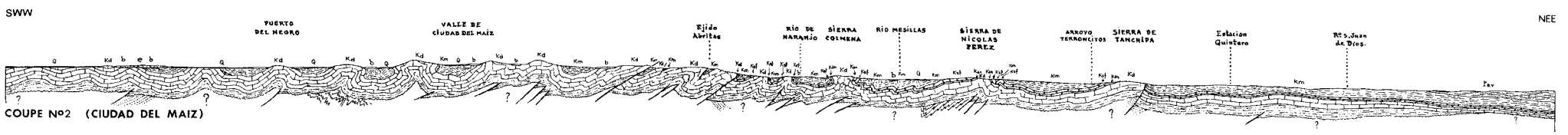
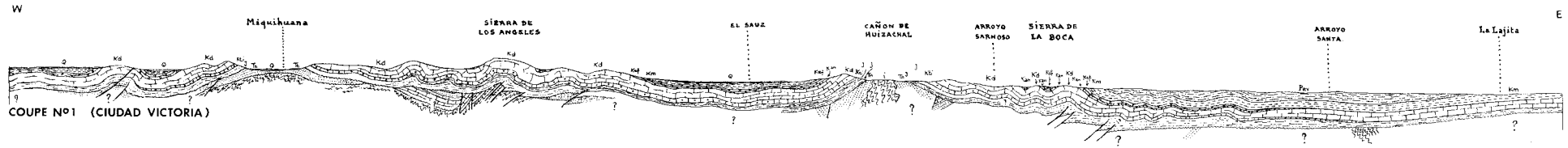
**Photo 23.** Schistosité tectonique dans une charnière de la formation Mexcala du Crétacé supérieur. 10 km. au nord de Vizarrón, Mo. de Cadereyta (Querétaro) (photo: G. Stresser-Péan).

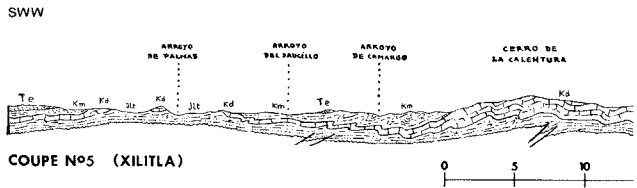
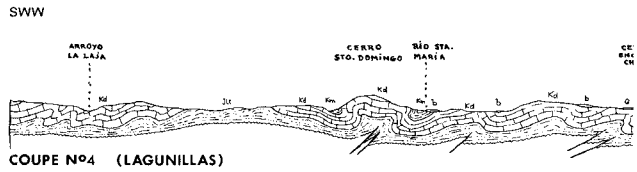
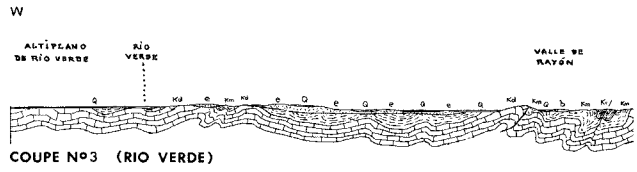
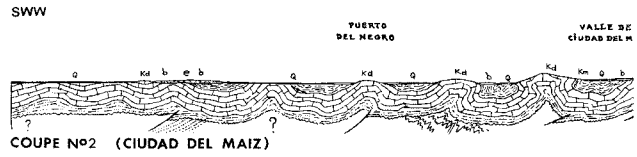
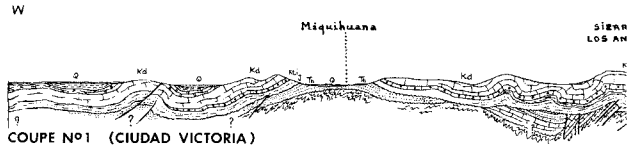


**Photo 25.** Schistosité tectonique: pli isoclinal NW dans les couches alternées de calcaires et de marnes du Crétacé supérieur. Sud de Camargo sur la route de Pinal de Amales à Peña Blanca, Mo. de Peñamiller (Querétaro) (photo: G. Stresser-Péan).



**Photo 26.** Repli de flanc normal dans les couches alternées de calcaires et de marnes du Crétacé supérieur. Sud de Camargo sur la route de Pinal de Amales à Peña Blanca, Mo. de Peñamiller (Querétaro) (photo: G. Stresser-Péan).





TIERRA  
SANA



E DE  
DEL M.



CEJ  
BNC  
CH



