

Ext. SPOT 1 : Utilisation des images, bilan, résultats  
Paris, nov. 1987

USAGE DU SOL, SYSTEMES ET PAYSAGES AGRAIRES DANS LE  
CENTRE DE L'ETAT DE VERACRUZ - MEXIQUE : PREMIERS RESULTATS.

LAND USE, SYSTEMS RURAL SYSTEMS AND LANDSCAPES IN THE  
CENTER OF THE VERACRUZ'S STATE (MEXICO) : FIRST RESULTS.

Luc CAMBREZY\*, Régine CHAUME\*  
Odile HOFFMANN\*, Rafael PALMA\*\*

\*Institut français de recherche scientifique pour le développement  
en coopération (ORSTOM).

\*\* Instituto nacional de investigaciones sobre los recursos  
bióticos (INIREB).

RESUME (1).

La diversité écologique et la variabilité des pratiques agricoles  
dans le temps comme dans l'espace, posent des problèmes  
méthodologiques particuliers. L'analyse multitemporale et le  
traitement sur partition préalable de l'image sont des conditions  
nécessaires à la réalisation d'une cartographie rigoureuse de  
l'usage des sols. L'intégration de l'image satellitaire dans un  
système d'information géographique améliore les possibilités  
d'interprétation de l'image, en même temps qu'elle enrichit la base  
de données localisées.

ABSTRACT (1).

Ecological diversity and variability in agricultural practices both  
in time and space raise methodological issues.  
Multitemporal analysis and data processing on a precut image are  
necessary conditions before realizing a detailed land-use map.  
Integration of satellite imagery in a geographical information  
system increases possibilities of image interpretation as well as  
it enhances the spatialized data base.

INTRODUCTION.

Les travaux présentés ici correspondent aux tous premiers résultats  
du programme de recherche pour la région de Xalapa, état de  
Veracruz - Mexique (convention CNES - ORSTOM. PEPs N° 164).  
Fondamentalement, on avait posé l'hypothèse d'une possible  
substitution de l'image satellite à la photographie aérienne pour  
des travaux de reconnaissance des conditions physiques et d'analyse  
du milieu rural. Cette hypothèse vérifiée on pourrait alors  
procéder à une cartographie rapide et actualisée de superficies  
importantes, dans chacun des thèmes de recherche retenus : morpho-  
pédologie, végétation naturelle, usage des sols, paysages et  
systèmes agraires, télédétection et systèmes d'information  
géographiques. Les résultats sont très inégaux selon les thèmes  
(2ème partie). L'extrême hétérogénéité du milieu comme les  
problèmes méthodologiques induits par cette diversité ont en effet  
considérablement compliqué la tâche (1ère partie).

(1) Ce travail a été réalisé en collaboration avec : au Mexique,  
R. ARRIAGA, A. CAMPOS, D. GEISSERT, A. LOPEZ, (INIREB), E. MEZA,  
R. GUTIERREZ, (DGCP - SEP), R. PASQUIS (CIRAD) et E. ALMEIDA,  
L. ESCRIBANO, R. GOMEZ.  
en France, A. AING, B. LORTIC, I. RANNOU, M. RAKOTO, (ORSTOM -  
Bondy) ; D. CHAUME (CNUSC - Montpellier).

**A) Une extrême diversité du milieu physique : les grandes divisions du milieu naturel.**

Notre zone d'étude, soit l'essentiel de l'image 592-311, correspond à la partie centrale de l'Etat de Veracruz. L'effet de barrière provoqué par la "Sierra Madre orientale" est ici accusé par la présence d'un important massif volcanique qui renforce les contrastes entre l'Altiplano et la Sierra (Schéma 1, et planche couleur 1).

**1) LA SIERRA MADRE ORIENTAL.**

La "Sierra Madre Oriental" correspond au versant Atlantique de l'Altiplano. Cette chaîne calcaire est traversée d'une succession d'appareils volcaniques très élevés coupant le Mexique d'Est en Ouest, de l'Atlantique au Pacifique.

I1 - Ce premier ensemble correspond aux "tierras templadas" ; c'est une zone de transition entre la plaine côtière aux caractéristiques climatiques franchement tropicales et les zones froides d'altitude. Entre 1000 m et 1800 m d'altitude cet étage bénéficie de précipitations oscillant entre 1200 mm et 2000 mm.

La pente générale vers l'est est faible mais le réseau hydrographique s'enfonce dans ce piémont par de profondes "barrancas" qui compartimentent le milieu. La Formation végétale dominante est de type forêt mesophile, (planche couleur 2).

I2 - Cette unité appartient à l'axe néo-volcanique mentionné plus haut. A partir de 1800 m jusqu'au sommet du "Cofre de Perote", les pentes sont fortes, la température diminue sans toutefois permettre la formation de neiges persistantes (température moyenne au sommet : 4°). Si l'effet de barrière entraîne une très forte nébulosité au vent, les précipitations diminuent progressivement (1000 mm au sommet). La végétation passe successivement des feuillus (chênes) aux résineux puis à la prairie herbacée de type "Paramo" (planche couleur 3).

**2) L'ALTIPLANO.**

L'Altiplano mexicain correspond à un haut plateau tabulaire perché entre les deux sierras (S. Madre Oriental et S. Madre Occidental) à 2000 - 2400 m d'altitude. Beaucoup plus sec dans son ensemble, l'aridité se renforce sous le vent des grands édifices volcaniques. A cette latitude, la formation de volcans a contribué au compartimentage de l'Altiplano en bassins endoréiques (ex. : Vallée de Mexico). La végétation se résume aux plantes grasses (yuccas - cactus) et aux formations herbacées, abondantes dans les dépressions salines.

II1 - En partant de l'Est la "Vallée" de Perote correspond au 1er bassin de ce type. Cet ensemble à 2400 m d'altitude est marqué par une très forte aridité (parfois moins de 400 mm). Ces faibles précipitations sont par ailleurs très inégalement réparties : En hiver, les très basses températures, voire les gelées, et l'absence de précipitations empêchent pratiquement toute production agricole. L'érosion éolienne sur un sol rendu pulvérulent par la sécheresse, devient très importante (planche couleur 4).

II2 - Cette unité s'individualise surtout par l'extension des coulées de lave peu altérées accompagnées d'une végétation xérophile. L'ensemble domine la vallée de Perote de quelques

centaines de mètres. Les caractéristiques climatiques ne se différencient guère de celles de la vallée. En revanche, la topographie devient nettement plus accidentée.

A cette diversité écologique correspond une importante variabilité spatiale et temporelle dans l'usage des sols. En quelques kilomètres on passe de la végétation herbacée d'altitude aux cultures tropicales (mangue, canne à sucre, café) ; ou encore de la végétation xérophile de l'Altiplano aride, aux cultures tempérées (maïs, haricot, pomme de terre, blé, avoine, blé ...). Mais cette variabilité entre chaque zone, qui se manifeste par des cycles culturels très différents selon les étages, se double d'une forte variation dans les pratiques agraires à l'intérieur de chaque zone. Pour répondre aux objectifs fixés, on voit bien que la mise en place d'une méthode appropriée s'avérait indispensable.

## **B) - Organisation du travail et questions de méthode.**

### **a) Le matériel utilisé.**

- 2 images I S = 592 - 311 et 593 - 311. Créneau souhaité : Août - Septembre ; date obtenue : 29 Juin 1986. Expédition du matériel : Avril 1987.

- 2 images panchromatiques : 592 - 311 et 593 - 311. Créneau souhaité : Février, Mars, date obtenue : 21 Mars 1987. Expédition du matériel : Avril 1987.

Le retard dans le programme SPOT, comme la communication défaillante entre la France et le Mexique ont interdit tout travail de terrain sur parcelles d'entraînement au moment des prises de vue. Cette simultanéité avait été annoncée comme impérative ; un moindre mal a été d'effectuer ces observations en Juin 1987 (pour l'image IS). Les résultats restent cependant très peu satisfaisants tant il est difficile de reconstituer des états de surface *a posteriori*, surtout lorsqu'il s'agit d'usage des sols dans un milieu aussi diversifié.

### **b) Les traitements.**

- Les traitements photo-chimiques ont été réalisés au Laboratoire de l'ORSTOM - Bondy. Les échelles de travail retenues sont : 1/250 000, 1/100 000 et 1/50 000. Pour quelques études plus localisées, des agrandissements au 1/20 000 sont en cours de réalisation à partir de nouveaux négatifs issus des données numériques.

#### **- Les traitements numériques :**

- au Centre National Universitaire Sud de Calcul (CNUSC) : environnement IM/CMS sur le système HACIENDA (IBM) ; utilisation des logiciels HLIPS et STIMDI.

- à l'atelier de télédétection et au laboratoire d'infographie (ORSTOM - Bondy) : pour l'intégration de l'image dans le système d'information géographique, en cours de création pour le centre Veracruz système TIGER.

- au Mexique : absence de moyens de traitement d'images. Utilisation prochaine des logiciels TIMOR (J.-F. PARROT) et TROPICA (H. CHEVILLOTTE) sur PC.AT doté d'une carte graphique couleur.

## II

### LES RESULTATS

#### Usage des sols.

A l'étage supérieur, au dessus de 2000 mètres, les forêts de pins se distinguent aisément par une valeur de réflectance spécifique. Un traitement par classification supervisée permet une cartographie élémentaire et rapide à partir de parcelles d'entraînement (voir pl. coul. 5 et 6). De même les sols nus (pl. coul. 7 et 8) et les parcelles de fèves se repèrent aisément dans le parcellaire de la vallée de Perote, à l'ouest. Les parcelles de pommes de terre, sur les flancs du Cofre de Perote, sont plus difficiles à cartographier du fait d'un calendrier agricole différé au vent et sous le vent du Cofre, donc des états végétatifs différenciés.

On retrouve ces mêmes problèmes - calendrier agricole étalé et petit parcellaire - dans l'étage intermédiaire, de 1400 à 2000 mètres d'altitude, pour le maïs. Au sud où domine un système d'exploitation sur brûlis, en petite propriété, la mosaïque forêt - pâturage - jachère - maïs est telle que la cartographie de chaque élément est impossible. Vers le nord un système à grand parcellaire pâturage - maïs permet l'individualisation des deux termes et leur cartographie. Plus que les usages des sols, ce sont les systèmes, ou grandes combinaisons agraires qui sont identifiés. Pour les pâturages les réflectances varient en fonction de la densité de la strate arborée (*Acacia Pennatulata*).

À l'étage inférieur, de 600 à 1400 mètres, les caféières ont des réponses radiométriques voisines de celles de la forêt caducifoliée (voir planche couleur 9). Dans les deux cas la structure verticale de formations végétales est complexe avec étagement de strates arborées. Toutefois des distinctions semblent possibles selon la nature de l'ombrage (espèces et densité) et feront l'objet d'études plus approfondies. L'autre grande culture de cet étage écologique, la canne à sucre, a un cycle de 12 à 18 mois suivant les plans de campagne. Il s'ensuit qu'indépendamment de sa hauteur et de son recouvrement au sol, la canne à sucre présente des valeurs de réflectance très variées. On s'achemine vers une recherche de corrélations entre réflectance et dates de semis, maximum de l'activité chlorophyllienne, taux de sucre et pratiques agricoles.

Le traitement numérique a été initié par la création d'une sous-image de 1500X1500 points recouvrant une partie de l'Altiplano dans la région du COFRE. A partir des zones thématiques déterminées par des études approfondies de terrain, des polygones ont été créés ainsi que les domaines thématiques inscrits. Les histogrammes correspondants ont permis de déterminer les signatures spectrales des parcelles thématiques tests et de généraliser ces valeurs pour cartographier l'ensemble de la sous-image "COFRE" ; les traitements par lissage et par érosion dilatation ont été également utilisés.

Les planches couleur présentées en annexe se réfèrent toutes à des thèmes que l'on peut assez aisément séparer. Pour le reste, les traitements appliqués à des fenêtres trop grandes (pl. coul. 10) sont sources d'importantes erreurs. On aboutit alors à une contradiction majeure : d'un côté, on attend beaucoup d'un outil qui permet théoriquement de couvrir de grands espaces à moindre coût - de l'autre, la rigueur impose de travailler sur de petites fenêtres sur lesquelles on contrôle à peu près les variables.

#### Systèmes et Paysages agraires.

On a vu que la cartographie de l'usage des sols nécessite des

données répétitives et qu'il est nécessaire, en tous cas plus fiable, de travailler sur des zones homogènes (et par conséquent d'étendue réduite). À l'inverse, l'approche du milieu rural en terme de paysages ou de systèmes agraires s'annonce extrêmement riche grâce à l'excellente résolution de l'image panchromatique. Parce qu'elles permettent des études à la fois détaillées et couvrantes, ces images apparaissent comme un nouvel outil au service de la difficile question des changements d'échelle.

Dans cette perspective, une étude a été entreprise dans la vallée de Perote (figure 1 - unité II 1). L'analyse combinée des deux dates laisse apparaître un phénomène de bordure très intéressant (figure 2). Il s'agit là d'espaces de transition à la limite entre les deux grandes unités, Sierra et Altiplano, qui, selon les saisons, s'apparentent à l'un ou l'autre de ces deux grands ensembles.

À partir des critères de texture, structure, couleur, on a procédé à une division de la vallée en "unités de paysages". Les premières recherches sur le terrain montrent tout l'intérêt de cette approche, puisque cette division se superpose dans une large mesure à la tenure de la terre (fig. 3).

#### **Télédétection et système d'information géographique (SIG).**

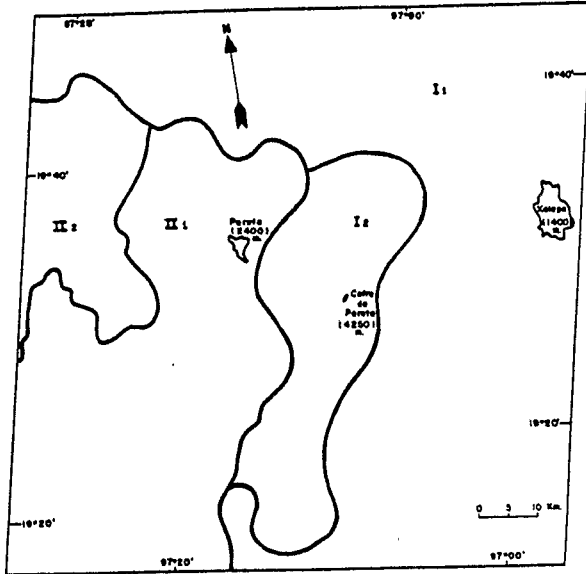
L'interprétation de l'image Satellite fait très souvent appel à des informations exogènes ; par exemple, introduction de la limite d'altitude de 1800 m, (limite du gel), comme facteur discriminant entre forêt de feuillus et caféiers avec ombrage (de feuillus également).

Outre les aspects d'aide à la cartographie (adjonction de routes, de noms de lieux ...) on voit par cet exemple tout l'intérêt de l'intégration de l'image dans un SIG. En effet, la partition raisonnée de l'image en unités homogènes améliore très sensiblement la qualité des traitements statistiques sur les valeurs de réflectance.

L'étude des phénomènes dynamiques est un autre avantage de cette intégration. L'image est alors considérée comme une source d'information, au même titre qu'une carte. La simple superposition d'une carte de la végétation à une date donnée (pl. coul. 11) à l'image SPOT plus récente (pl. coul. 12) devrait permettre l'étude de ces évolutions.

Cette intégration pose cependant des problèmes techniques et méthodologiques. En effet, outre les questions de projection, de fenestrage, de recalage (coordonnées géographiques différentes sur les cartes et l'image) et d'angle de prise de vue, la mise en relation de documents n'ayant ni la même définition ni le même type et volume d'information, pose de sérieux problèmes méthodologiques. Enfin, cette comparaison n'a de sens que si les deux documents (carte et image satellite classifiée) sont fiables. Il faut donc mettre au point des procédures de vérifications de terrain suffisamment rapides pour permettre l'étude de superficies importantes.

LES GRANDES DIVISIONS NATURELLES  
Image SPOT de 20 juin 1986



SCHEMA N° 1

- Légende :
- I Sierra Madre Oriental
    - I<sub>1</sub> Versants
    - I<sub>2</sub> Massif volcanique du "Cerro de Perote"
  - II Altiplano
    - II<sub>1</sub> Vallée andarécique de Perote
    - II<sub>2</sub> Caldera volcanique de "Los-Hémoros"

EVOLUTION DE LA LIMITE DES SOLS NUS  
DANS LA VALLÉE DE PEROTE AUX MOIS  
DE MARS ET JUIN.

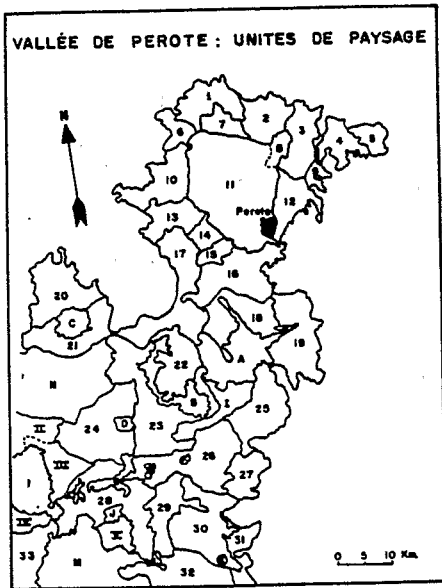
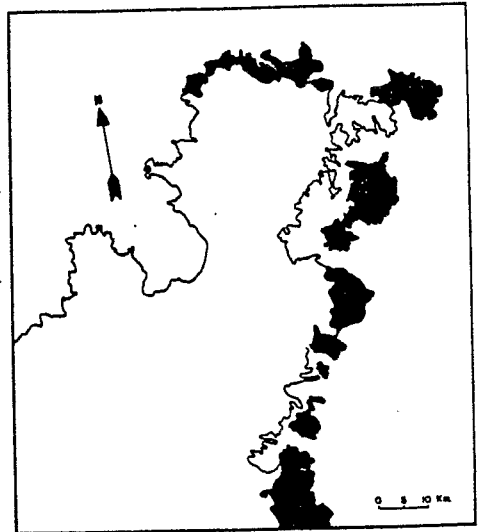


Image SPOT de 20 juin 1986



- Image SPOT de juin 1986 et mars 1987
- Sols nus en mars et juin
  - Sols nus en mars, cultivés en juin



Figure 1 - Contact Altiplano Sierra Madre oriental. USAGE DU SOL, SYSTEMES ET PAYSAGES AGRAIRES DANS LE CENTRE DE L'ETAT DE VERA CRUZ (MEXIQUE).

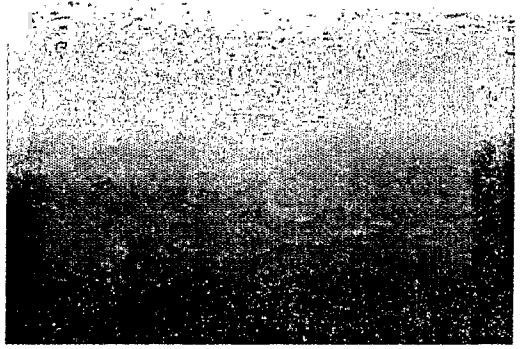


Figure 2 - Terres tempérées au vent du volcan



Figure 3 - Du tropical (café, canne à sucre) aux terres d'altitude



Figure 4 - Sous le vent du volcan : l'Altiplano aride

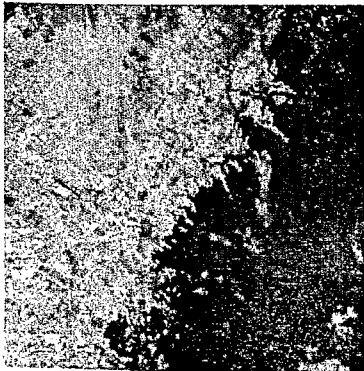


Figure 5 - Parcelles d'entrainement de résineux



Figure 6 - Cartographie des résineux à partir des valeurs des parcelles d'entrainement

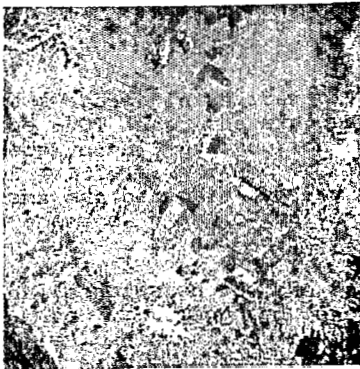


Figure 7 - Parcelles d'entraînement des sols nus

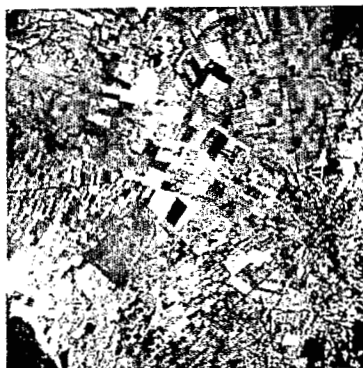


Figure 8 - Cartographie des sols nus à partir des valeurs des parcelles d'entraînement

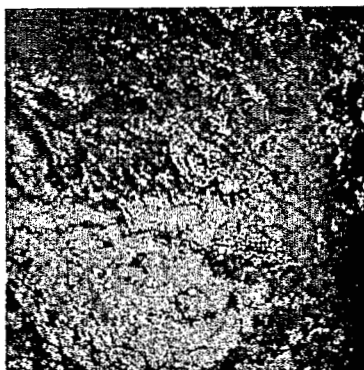


Figure 9 - Classification parallélepède : en rose, le café, en beige, les pâturages, en rouge, les résineux, en violet les défrichements d'altitude



Figure 10 - analyse en composantes principales, composition colorée des deux premières composantes : café en vert sombre, pâturages en vert clair et bleu

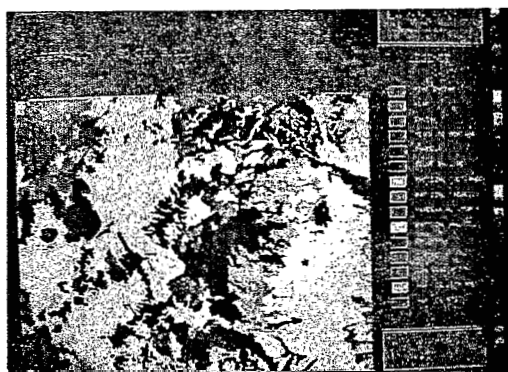


Figure 11 - Constitution d'un système d'information géographique (système Tigre ORSTOM Bondy) Extrait de la carte d'usage des sols (INEGI)

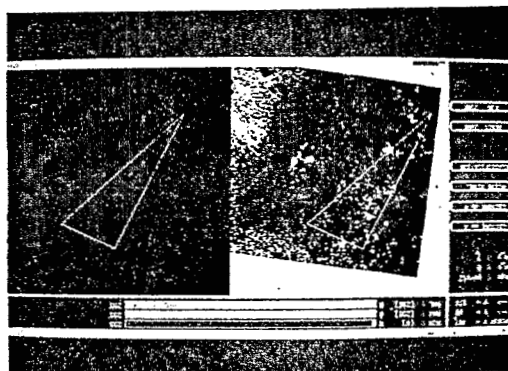


Figure 12 - Ingérotation de l'image SPOT dans le système d'information géographique et mise en correspondance avec la carte d'usage des sols