

GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM

Luc Cambrezy
Françoise Pelletier
Marc Souris

Orstom
70-74 Route d'Aulnay 93140 BONDY, France

GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM AND REGIONAL RESEARCH : AN APPLICATION IN CENTER VERACRUZ, MEXICO

Introduction

Studies and regional planning applications need management and manipulation of a large quantity of spatial datas from many different origins. The management of these informations must be make easier and more efficient with the methods of relational data base management systems, with the capability to manage and process the spatial localisation of the datas. It may be possible to answer queries from users for landplanning, for management decisions, to retrieve, select, joint, compute, compare many different kinds of datas from multiple origins, to use and integrate remote sensing, with graphics capabilities of visualisation and cartographic representation for the results.

Purpose. To reach these objectives of data management, we have built a geographic information system ground on the capabilities of relational datas base management systems, where the localisation is the center of the structure, the storage and the management of the datas. The purpose of this paper is to present the architecture of this system and his possibilities with an application in Center Veracruz, Mexico.

Regional study in Mexico

This application take his place in a convention between ORSTOM (*) and INIREB (**). We present here some of the possible queries, from topics like:

- municipal socio-economic datas.
- visualisation and multi-thematic manipulations of essential environment datas , like geology, vegetation, land use,...
- point datas like population by locality
- integration of SPOT remote sensing datas and utilisation with the environment datas, like the study of the evolution of forest areas, agricultural statistics,...

* French institute of scientific research for development throught cooperation.

** Mexican national institute for natural ressource investigation.

SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE ET ETUDE REGIONALE : UNE APPLICATION DANS LE CENTRE VERACRUZ, MEXIQUE

Luc Cambrezy
Françoise Pelletier
Marc Souris

Orstom
70-74 Route d'Aulnay 93140 BONDY, France

INTRODUCTION

L'Orstom est un organisme de recherche scientifique et technique où la multidisciplinarité est essentielle. Depuis longtemps et dans de nombreux pays, l'Institut a été amené à intervenir dans le cadre d'études pluridisciplinaires, "inventaires" d'espaces régionaux ou nationaux, avec pour objectif final de fournir aux décideurs (aménagement ou planificateurs) les données nécessaires à une bonne gestion de l'espace.

Dans ce contexte, il est devenu nécessaire de posséder un système de gestion de l'information qui puisse permettre de répondre aux questions posées par ces décideurs, comme :

- ou cultive-t-on telle plante et quelle surface occupe-t-elle ?
- quelles sont les zones les plus favorables (compte tenu des facteurs physiques, économiques, sociaux...) pour développer telle culture ?
- pour quel quartier faut-il développer les transports, en fonction des activités existantes et à venir ?
- etc ...

C'est en étant confronté à cette problématique, à travers les discussions des chercheurs de l'Institut et avec nos partenaires étrangers, que le laboratoire d'Infographie a été amené à développer le système que nous présentons dans cet article, système qui s'articule autour de trois idées :

- une gestion puissante et souple des données géographiques localisées,
- une cartographie thématique, simple et rapide,
- un système autonome et permettant toute évolution de l'information.

L'application du système développé dépasse bien entendu le cadre des pays en voie de développement. Elle intéresse en fait toute communauté ayant à gérer un espace et à déterminer des orientations sur l'affectation des différents éléments qui le composent.

UNE GESTION SOUPLE ET PUISSANTE DE DONNEES GEOGRAPHIQUES LOCALISEES

Les applications de l'informatique à la géographie et la cartographie sont diverses : saisie, stockage, restitutions graphiques. L'information géographique est complexe et variée : données multiples, hétérogènes, de sources très diverses (cartes, télédétection spatiale, relevés de terrain, données statistiques...) Ces données n'ont souvent aucun lien a priori entre elles autre que leur localisation dans l'espace, qui peut être donnée sous des formes très diverses. Il est néanmoins nécessaire d'avoir à sa disposition un système de gestion et d'exploitation de données qui permette de mettre en relation ces données à tout moment sur des critères définis lors de l'interrogation et sans avoir à modifier ces données : c'est le principe de la gestion relationnelle des données. Le cas des données localisées rentre dans ce cadre : on doit pouvoir comparer des objets sur leur localisation sans que ces objets soient a priori reliés entre eux par une description nominale particulière commune de la localisation (comme un nom de département, un nom de rue, ...) ce qui est d'ailleurs souvent

impossible. Il nous a donc fallu étendre le principe de la gestion relationnelle à "l'attribut localisation", description logique de la localisation des objets, que ce soient des zones, des lignes, des réseaux, des points, et indépendamment de leur mode de stockage et de représentation. Grâce à de nouvelles opérations de gestion, le traitement de la localisation se banalise et rentre dans le cadre général de la gestion relationnelle, ce qui nous donne un système puissant (toutes les données se trouvant sur un territoire sont comparables entre elles à tout moment) et souple (c'est l'utilisateur qui définit lui-même, au moment de l'interrogation, les cheminement dans la base de données en ayant la possibilité d'utiliser la localisation intrinsèque des données). Il est ici possible de respecter l'implantation spatiale de chaque objet : il n'est plus nécessaire de définir un maillage unique pour représenter des objets divers, d'échelles de validité différentes. D'autre part, l'utilisateur manipule ces objets aussi bien sur leurs contenus descriptifs que sur la localisation : il a ainsi accès à l'ensemble des opérations classiques de gestion et de traitement, à sa demande : sélection, regroupement, classification, traitements statistiques, ...

UNE CARTOGRAPHIE THEMATIQUE, SIMPLE ET RAPIDE

Si la localisation est utilisée dans le processus de gestion de l'information, elle permet également la représentation cartographique des résultats d'une interrogation, au même titre qu'une sortie de résultats sur une imprimante. C'est "l'attribut localisation" qui est alors représenté comme résultat du processus de gestion. En permettant la production rapide de cartes simples, le système d'information géographique ouvre le champ de la cartographie à une nouvelle catégorie d'utilisateurs : plutôt qu'une carte de grande précision rassemblant dans sa légende complexe de nombreuses informations, mais d'une réalisation en tout état de cause longue et coûteuse, l'utilisateur du système demande des séries de cartes répondant chacune à une question précise et produites immédiatement. D'autre part, l'interactivité graphique permise par les matériels informatiques donne à l'utilisateur la possibilité de construire la représentation d'un phénomène en fonction du but recherché : la réalisation d'une carte repose en effet sur une série de choix difficiles sinon impossibles à systématiser, tels le choix des trames, la mise en évidence des contrastes, ... L'utilisateur a ici l'entière maîtrise de ces choix. En face de l'écran couleur, il peut essayer successivement une série de palette, de trames, de symboles, avant de choisir celle qui lui paraît la plus pertinente pour bien représenter la réponse à la question qu'il avait posée.

UN SYSTEME AUTONOME ET PERMETTANT TOUTE EVOLUTION DE L'INFORMATION

L'utilisateur devient propriétaire de ses données et capable de les mettre en oeuvre et d'exploiter le système sans le concours de cartographe ou d'informaticiens. Enfin, l'information disponible évolue sans cesse. Les études s'accumulent sur une région déterminée, apportant de nouvelles données, affinant la connaissance du milieu et de son fonctionnement. La télédétection spatiale fournit également une importante et régulière quantité d'information. Ces données nouvelles peuvent être intégrées de façon simple dans le système, de manière à compléter ou remplacer les anciennes.

PRESENTATION DU SYSTEME

Le système comprend deux parties distinctes : la constitution de la base de données, l'exploitation de la base de données.

Avant toute informatisation, le schéma des données doit cependant être bien défini : quels sont les familles objets en présence (nous appellerons famille une relation), pour chaque famille quels sont les attributs de ces objets (par exemple, des parcelles forment une relation, avec des attributs comme le numéro de la parcelle, le nom du propriétaire, la catégorie du P.O.S., ... et les constructions forment une autre relation, avec des attributs comme numéro du permis de construire, nombre d'étages, etc...).

Constitution de la base de données.

L'information géographique localisée peut être séparée en information graphique (contours des zones, lignes des réseaux, coordonnées des points) et information descriptive (valeurs des attributs de chaque objet).

Si la saisie de l'information descriptive se fait d'une manière classique sur grille d'écran sur micro-ordinateur, l'information graphique est saisie à l'aide d'une table à digitaliser reliée elle aussi à un micro-ordinateur. Un contrôle interactif de cohérence topologique, ainsi que de multiples possibilités de correction permet d'obtenir une numérisation graphique exempte d'erreurs, associé à une facilité de manipulation pour l'opérateur de saisie.

La saisie se fait par coupure de carte, indépendamment les unes des autres. Des points de calages, puis un recalage en coordonnées géographiques dans la base de données permettent d'assurer la cohérence et la bonne juxtaposition des coupures dans la base. Ce découpage en coupures n'intervient plus dans la phase d'interrogation, où l'utilisateur définit lui-même sa fenêtre d'étude indépendamment du processus de saisie.

Si l'information descriptive et l'information graphique sont saisies séparément, le processus d'intégration dans la base assure la liaison graphique-descriptif : une fois l'information intégrée dans la base, l'utilisateur n'a que la vision d'objets où graphique et descriptif forment un tout.

Exploitation de la base de données.

L'interrogation se fait de façon interactive sur un terminal. L'exploitation de la base se fait sous forme d'une requête, en appelant des modules successifs : le résultat d'un module sert d'entrée au module suivant (par exemple on sélectionne les départements de plus de 100000 habitants, puis pour ces départements on classe le nombre de sans emploi, etc...).

Si les données graphiques sont structurées et stockées dans la base sous forme vectorielle (descriptifs de points ou de contours), le système va utiliser pour la réalisation de certaines opérations une structure matricielle sous forme d'une image numérique de pixels associée à un fichier descriptif. Chaque pixel est relié au fichier descriptif par sa valeur numérique qui permet de retrouver les valeurs descriptives qui lui correspondent.

La taille de la matrice de pixels est paramétrable jusqu'à 1200*1200; la résolution du pixel dépend alors de la fenêtre géographique utilisée. Le passage de vectoriel à matriciel est un des éléments importants du système; néanmoins, il reste au niveau interne et s'effectue d'une manière interactive lors de l'opération qui le requiert. Cette double structure (stockage vectoriel et manipulation matricielle), associée au paramétrage de la résolution matricielle, confère au système une souplesse importante dans la réalisation des différentes opérations de gestion et de manipulation de la localisation.

Les différents modules du système.

L'utilisateur a le choix de la résolution en pixels des images balayées créées par le système lors des interrogations (CONFIG), le choix de la projection géographique de travail et de restitution (U.T.M., Lambert, Mercator, module MAP), le choix de la fenêtre géographique d'étude (WIND). Cette fenêtre, qui permet de définir l'espace géographique sur lequel porteront toutes les opérations relatives à des données localisées, peut être choisie directement (longitude, latitude), par le choix d'une coupure, ou par le choix de la taille du pixel pour la projection et la résolution courante.

Le module QUEST regroupe les opérations algébriques d'interrogation des données relationnelles : restriction, projection algébrique, jointure, restriction spatiale, projection spatiale (transformation vecteur-raster), jointure spatiale. D'autres modules permettent de manipuler les relations (reinitialisation de la base après requête, sauvegarde temporaire). Ce module est donc à la base des opérations thématiques pour sélectionner, croiser, comparer des objets.

Le module THEM est la synthèse de plusieurs opérations de base : il permet la création de relations thématiques et multithématiques par combinaison d'attributs provenant d'une ou plusieurs relations zonales.

Le module LIST permet d'imprimer le contenu descriptif d'une relation.

Le module STAT permet d'effectuer des calculs statistiques simples sur les attributs (moments, histogrammes, corrélations, régressions). Ces calculs peuvent se faire à tout moment de l'interrogation et permettent ainsi de modifier si besoin est le cours de l'interrogation (pour le choix des seuils de classification par exemple).

Classifications, calculs, statistiques, apport d'information extérieure : les modules qui suivent permettent, à partir des données stockées dans la base, de modifier ces données ou d'en créer de nouvelles :

CLAS : classification d'un attribut. Permet de passer d'un attribut numérique à un attribut qualitatif nominal, ou de redéfinir des valeurs d'un attribut qualitatif par regroupement de valeurs.

CRIS : création d'attribut par calcul numérique, calcul logique, combinaison de valeurs, à partir des attributs existants.

STUP : création d'attribut par calcul statistique d'un attribut par rapport à un autre.

SURF : calcul de surfaces ou périmètres pour les objets d'une relation zonale.

COCA : création d'attribut pour une relation zonale par calcul résultant du croisement spatial avec une autre relation : par exemple, calcul pour chaque zone d'une première relation (zonale) de la moyenne de valeurs numériques associées aux points de la seconde relation (ponctuelle).

STAD : création d'attribut pour une relation zonale par calcul résultant du croisement spatial avec une image numérique : moyenne de radiométrie, ...

La cartographie des résultats se fait sur écran graphique et sur traceur. Un système de recopie d'écran couleur permet également d'avoir à tous moments, et très rapidement, une image de la carte en cours ou en fin de traitement :

PALET : création ou modification du fichier de correspondance valeurs d'attribut-index de couleur ou de plume, numéro de trame.

CART : création de segments graphiques pour le tracé cartographique : tracé d'arcs, de symboles, de texte ... Le module crée un segment graphique qui sera interprété par le module de tracé propre au périphérique de dessin utilisé.

SUN : tracé sur écran graphique. Permet le tracé d'images de relation, de segments graphiques, la création et l'utilisation de palettes de couleurs, la manipulation interactive sur l'écran (textes, caissons de légendes, habillage, calculs de distances et de surfaces ...).

BENSON : tracé sur traceur à plume. Permet le tracé d'images et de segments graphiques, avec choix de l'échelle de restitution, habillage des documents (cadre, titre, amorces de projection ...), légende associée.

Description du matériel utilisé.

L'ordinateur utilisé est une station de travail MATRA-SUN 110 (4Mo RAM, 140 Mo disque, écran graphique couleurs 1150*900) et un micro-ordinateur compatible AT. Le matériel

graphique est composé d'une table à digitaliser BENSON 6301, une table traçante BENSON 1333, un système de recopie d'écran D-SCAN. Le coût global de cette configuration est de l'ordre de 500 KF.

APPLICATION DANS LE CENTRE VERACRUZ

Présentation.

L'application décrite ici s'inscrit dans le cadre de la convention de recherche Orstom/INIREB (Instituto Nacional de Investigación Sobre Los Recursos Bioticos) intitulée : "Observatoire de développement régional". Les interrogations sur la région, son fonctionnement et son évolution sont à l'origine de la mise en oeuvre de ce SIG à la fois pour stocker et gérer l'information pertinente (statistiques, cartes, photographies aériennes et/ou images satellitaires) et pour répondre à la question essentielle des localisations : où rencontre-t-on tel phénomène ou ensemble de phénomènes ? Pourquoi là et pas ailleurs ? Pourquoi là plus qu'ailleurs ?

L'analyse régionale implique à la fois l'étude des lieux et celle de l'interaction entre ces lieux. La région perçue comme système de lieux en interaction spatiale n'est pas explicable sans faire intervenir un système complexe de phénomènes. C'est, très brièvement, la justification de la mise en place de ce système.

Description.

L'espace d'étude. L'espace pris en compte couvre une superficie de 25000 km². Il est subdivisé en 220 municipios, unité administrative du Mexique, relevant de trois Etats : Veracruz, Puebla, Tlaxcala.

L'intégration des variables. Les variables sont progressivement intégrées dans la base à mesure des besoins, mais aussi de la disponibilité des données. A ce jour, l'accent a surtout été mis sur l'intégration des données suivantes :

1. Documents cartographiques.

a) cartes réalisées par des institutions spécialisées.

La plupart des cartes intégrées dans la base ont été réalisées par l'INEGI (Instituto Nacional de Estadísticas Geografía y Informática) : végétation et usage des sols, géologie, pédologie, divisions administratives; ce sont dans l'immédiat les principaux thèmes abordés.

b) Documents originaux réalisés à partir de cartes, de photographies aériennes ou d'images satellitaires : organisation et densité de drainage, pentes, usage des sols, tenure de la terre et systèmes agraires sont quelque-uns des thèmes ainsi mis en cartes.

La saisie des cartes thématiques se déroule en deux temps :

- numérisation des contours sur table à digitaliser.
- saisie, au clavier, de l'information descriptive relative aux zones préalablement numérisées.

2. Données statistiques.

Leur origine est très diverse : statistiques agricoles, démographiques, etc... Elles offrent une information de type ponctuel, zonal ou linéaire. Dans la mesure où la localisation est systématiquement associée à la variable saisie, on a toujours la possibilité de réaliser une image spacialisée du phénomène étudié. On sait que les statistiques, abondantes, peuvent être de qualité très inégale. On ne peut donc se dispenser d'une analyse critique de la

qualité et de l'origine des données; le résultat final en dépendra. Ainsi, par exemple, pour les statistiques agricoles, l'interprétation de photographies aériennes ou d'images satellitaires est un complément indispensable.

3. Données radiométriques.

Les valeurs radiométriques de l'image satellitaires constituent des données d'un genre tout à fait particulier puisqu'il s'agit de valeur de réflectance sans signification *a priori* pour le thématicien. Pour lui, le problème est de choisir entre l'intégration des valeurs brutes, et la saisie d'une image préalablement classifiée, c'est à dire interprétée.

Les données radiométriques mises à part, on a vu que les données intégrées dans la base renvoient à des zones, des points ou des réseaux (routes, flux, ...). Bien entendu le type de données est sans rapport avec le thème d'étude : une carte pédologique livre à la fois des informations zonales et ponctuelles (par exemple la description des profils). C'est l'occasion d'insister sur la très grande prudence qui doit présider au choix des variables que l'on intègre dans la base. Il serait dangereux de vouloir intégrer tout le matériel disponible sous le prétexte qu'il n'y a pas de limitation technique. On évitera la saisie de variables redondantes comme celle de variables intermédiaires qui peuvent être calculées, par exemple un taux d'accroissement de population à partir de deux recensements. De la même façon, il s'avère plus pertinent de saisir la pluviométrie mensuelle et la localisation des stations que de numériser une carte d'isohyètes. Ceci revient à dire que l'on a toujours intérêt à capter l'information au niveau le plus proche de la collecte effective, quitte à procéder à des transformations et regroupements lors des traitements. Autre exemple, le recensement de population de 1980 nous informe sur les effectifs de population par municipio; la réalisation d'une carte des densités à partir de ces données (figure 2) n'est pas sans intérêt au niveau des grands ensembles nationaux ou régionaux; elle ne se justifie pas dès que l'on passe aux grandes échelles (quelques municipios). A ces échelles, l'étude de la densité de population exige la connaissance des effectifs par localité, qui permettra la réalisation d'une carte plus conforme à la réalité puisqu'on est en mesure de s'affranchir du découpage administratif.

Exemples d'utilisation. Dans la plupart des cas, toute interrogation de la base débouche sur un résultat graphique. Les documents couleurs présentés ci-contre sont des photographies d'écran.

L'informatique introduit en effet un changement fondamental dans la fonction que l'on prête généralement à la carte. La rapidité des calculs et des manipulations graphiques font d'abord de la carte un instrument de recherche et de réflexion. On est loin de la carte "oeuvre d'art" dont la réalisation nécessite des dizaines d'heures de travail et qu'il est extrêmement coûteux de modifier une fois publiée.

L'analyse démographique : les études classiques d'une interrogation de la base. Les images 1 à 5 illustrent le processus de recherche qui accompagne toute interrogation de la base.

Première question posée : quelles sont les densités de population en 1970 et en 1980? La démarche, pour chacune des années, est la suivante (figures 1 et 2) :

- définition du territoire d'étude (WIND) : les 220 municipios de la base.
- détermination des superficies de chaque municipio (SURF)
- création par calcul des valeurs de densité de chaque municipio (CRIS) : population 1970 / superficie.
- l'attribut densité créé, il faut alors le représenter graphiquement et donc classifier ses valeurs. Les seuils de classification sont fixés grâce au calcul d'indicateurs statistiques et à la visualisation d'histogrammes (STAT). Ces seuils, correspondant à autant de paliers graphiques, sont introduits par le module CLAS.
- génération de l'image de la densité (THEM).

- visualisation sur écran graphique de la répartition spatiale de l'attribut densité. L'utilisateur a tout loisir de modifier la palette de couleur, introduire titre et légende, ..., ou procéder à une nouvelle classification si le résultat ne correspond pas à son attente.

On remarquera que les intervalles de classification des valeurs ne sont pas identiques et tiennent compte de l'évolution du phénomène. Conserver les seuils de 1970, outre que cela n'a pas forcément de sens, nous oblige à augmenter le nombre de paliers graphiques et donc diffuse la visualisation des zones.

Les limites qui apparaissent sur ces images sont celles des municípios.

La question suivante est alors : quelle évolution traduisent les densités des deux années ? La réponse est apportée par la carte des accroissements de la population (figure 3), obtenue par les opérations suivantes :

- création de l'attribut 'taux d'accroissement' par calcul (CRIS) à partir des valeurs de densités créées ci-dessus.
- résultat de STAT pour définir les bornes de classification.
- classification de l'attribut taux d'accroissement.
- génération de l'image (THEM)
- visualisation et manipulations graphiques des couleurs, mise en place de l'habillage et de la légende.

On aurait pu arrêter la recherche à ce stade; il apparaît clairement que les régions densément peuplées ont des taux d'accroissement élevés et qu'à l'inverse, les régions faiblement peuplées ne connaissent pas la croissance démographique que l'on aurait pu attendre.

Ce constat nous a conduit à "superposer" les trois images en partant de l'hypothèse qu'un taux d'accroissement élevé en région de forte densité de population n'a pas la même signification que ce même taux en région de faible densité. Cette opération crée en fait une nouvelle relation et un nouvel attribut (figure 4).

- génération de l'image (THEM) à partir des attributs 'Densité 1970', 'Densité 1980', 'taux d'accroissement'. L'image résultante définit, pour chaque information graphique élémentaire de cette relation, l'appartenance de la zone à l'une des combinaisons possibles des classes des trois attributs.

- lors de la visualisation, il est nécessaire de connaître le contenu ou 'légende' d'un caisson de couleur (LIST). Ce résultat sur papier est ordonné dans le sens de la palette de couleurs à droite de l'écran.

- pour la manipulation des couleurs sur l'écran, nous avons repris une technique de composition colorée imaginée par J. Bertin et d'ailleurs inspirée de la télédétection : chaque composante de l'image est associée à une couleur (jaune, magenta, cyan chez Bertin; rouge, vert, bleu avec l'écran cathodique) et chaque composante d'une couleur correspond à un niveau d'intensité dans la couleur.

Cependant cette méthode a des limites. L'image 4 montre nettement les problèmes de lisibilité auxquels on s'affronte dès lors que le nombre de combinaisons dépasse les possibilités de perception. En effet, les cartes initiales comprenaient respectivement 5, 5 et 6 paliers soit 150 combinaisons possibles, mais pas nécessairement toutes présentes.

La figure 5 est une image simplifiée des grandes combinaisons rencontrées :

- chaque attribut est reclassifié (CLAS) : valeurs supérieures ou inférieures à la moyenne. Soit huit combinaisons.
- constitution de l'image (THEM).
- l'image alors obtenue est visualisée puis fait l'objet de manipulations de couleurs sur l'écran, toujours suivant le principe des compositions colorées. Chaque couleur est saturée

ou au contraire désaturée dans chacune des trois couleurs : ainsi le blanc correspond à des densités élevées en 1970 et 1980 ainsi qu'à un taux d'accroissement élevé et la couleur noire correspond à la situation inverse.

L'analyse du milieu naturel. Dans les cas précédents, l'interrogation de la base a abouti à la création de cartes originales à partir des données statistiques. Mais l'interrogation de la base peut aussi consister en la visualisation de cartes réalisées par d'autres institutions et intégrées dans le système d'information géographique. Outre les possibilités de changement d'échelle et de fenestrage qu'offre le système, l'intérêt de l'intégration de ce type de carte tient aux possibilités de regroupement ou au contraire de séparation de l'information.

Pour les besoins de la recherche, on a saisi les cartes "végétation" et "géologie" (feuille Veracruz, 1/250000 de l'INEGI). Pour faciliter les requêtes ultérieures, il convient, au moment de la saisie, de bien hiérarchiser les variables. On distinguera :

- pour la végétation, les groupes (bosque, selva, pastizal, agricultura, sin vegetacion) et les types (types de bosque, d'agriculture, etc ...)
- pour la géologie, l'ère (primaire, secondaire,...), la période (jurassique, crétaé, ...), les groupes de roche (sédimentaires, volcaniques extrusif ou intrusif, etc ...), les types de roche (basalte, brèche volcanique, etc...)

Cette organisation permet ensuite une interrogation à n'importe quel niveau d'agrégation ou de regroupement. On peut ne visualiser que les grands groupes de roches ou de végétation; la carte est alors très simple (5 niveaux de couleurs pour les groupes de roche). On peut à l'inverse extraire toute l'information saisie (tous les types de roche ou tous les types de végétation).

La carte 'Géologie' de la figure 6 a été créée par classification des valeurs de l'attribut Groupe de roches, en deux classes. La carte 'Usage des sols', figure 7, a été créée en prenant l'ensemble des valeurs de l'attribut Groupe de végétation.

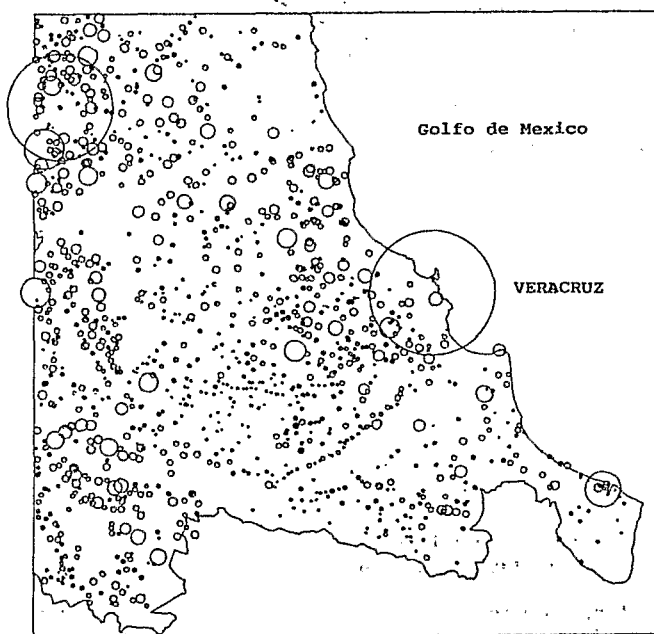
Bien entendu, on peut aussi, en créant une seule classe comprenant une ou plusieurs valeurs, n'extraire qu'un seul élément. La question est alors du type : où se trouvent les roches sédimentaires ? les forêts ? les cultures irriguées ?

La carte 'Usage des sols et géologie' de la figure 8 est un croisement des deux précédentes :

- génération de l'image : le contenu de chaque zone correspond à l'une des combinaisons des valeurs des attributs des deux relations traitées précédemment. Là encore, toutes les combinaisons ne sont pas forcément présentes dans la fenêtre traitée.
- visualisation et traitement interactif de l'image sur l'écran

Ce type de traitement permet de mesurer et de visualiser les relations entre deux ou plusieurs phénomènes; exemple : association 'Forêts' et 'types de roche'. Dans le cas ci-contre, il est évident que toute l'explication n'est pas dans la carte. Ainsi, si 13 % de la surface de l'image résultante correspond à l'association "bosque/roches éruptives", ce n'est pas tant par suite d'une aptitude particulière des sols que par suite de l'élévation en altitude (Sierra Madre Oriental). Autrement dit, pour que l'interprétation soit complète, il faudrait superposer à cette image au moins deux autres facteurs importants en terme de maintien du couvert forestier : l'altitude et les densités de population.

Intégration de l'image satellite. Cette intégration pose de nombreux problèmes informatiques et techniques : problèmes de projection, de recalage, de définition de pixels, d'angle de prise de vue du satellite et enfin de différence de qualité et de précision de l'information. L'exemple ci-dessous met nettement en évidence la différence de volume d'information entre l'image SPOT et la carte d'usage des sols au 1/250000. Pour une part, cette différence tient au caractère synthétique et simplifié de toute carte thématique; à l'inverse, l'image SPOT livre une information non pas thématique mais radiométrique. Pour



une autre part, la différence entre les deux images peut représenter une évolution du couvert végétal (déforestation). On voit donc tout l'intérêt d'une intégration de l'image satellitaire dans le système : ces données seront accessibles au même titre que les autres données ou cartes préalablement saisies.

Comment s'effectue cette intégration ?

- définition de la projection de la fenêtre de travail.
- recherche d'amers sur la photo-satellite et de leurs coordonnées géographiques.
- recalage dans la projection de la fenêtre des données radiométriques.

Les données satellitaires sont alors considérées comme les valeurs d'une nouvelle relation et peuvent être exploitées par les modules du système.

La figure 9 est issue d'un processus identique à celui de la figure 6 :

- définition de la fenêtre d'étude.
- classification de l'attribut 'type' de la relation 'végétation'.
- création de l'image.
- visualisation et manipulation sur écran.

La figure 10 représente simultanément l'image 9 et l'image SPOT correspondante. Les sommets des triangles blancs représentent des points caractéristiques qui permettent de se repérer entre les deux images. Et le dernier document présenté est un extrait de la photo-satellite de la région.

Toutes les interrogations présentées jusque-là ont abouties à des cartes zonales. La visualisation d'un résultat peut aussi être ponctuelle (cf. ci-contre). On définit pour l'attribut sélectionné, ici 'population des villes et villages', les seuils des valeurs à traiter. un symbole avec ses tailles, minimale et maximale.

La modularité du système permet de visualiser simultanément une représentation zonale d'un attribut d'une relation et une ou plusieurs représentations ponctuelles d'autres attributs d'une même relation ou d'une autre relation. Le résultat synthétise alors l'ensemble des éléments qui répondent à la question initiale.



Fig.7

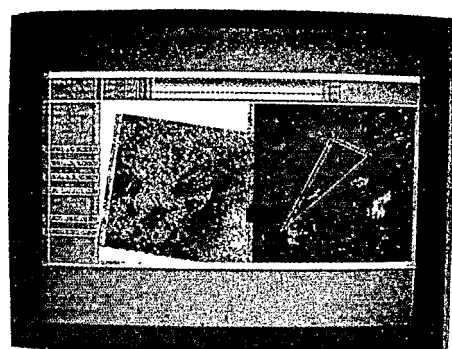


Fig.10

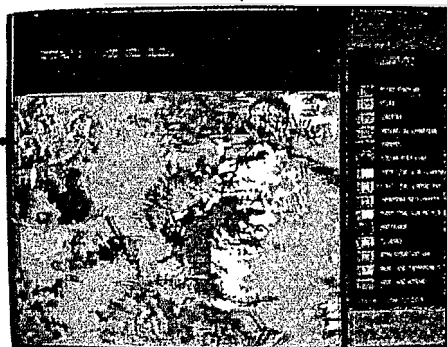


Fig.9

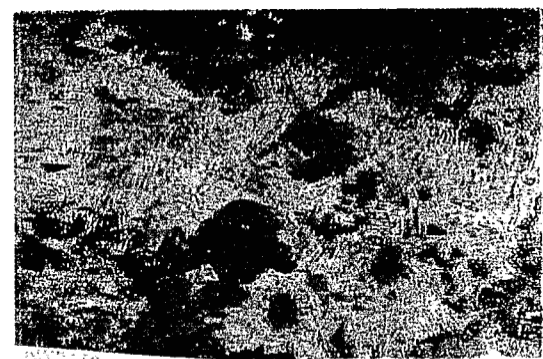


Fig. 3

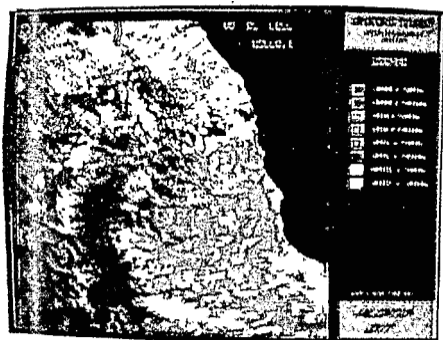


Fig.8

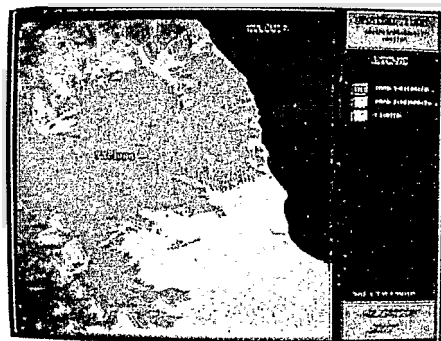


Fig.6

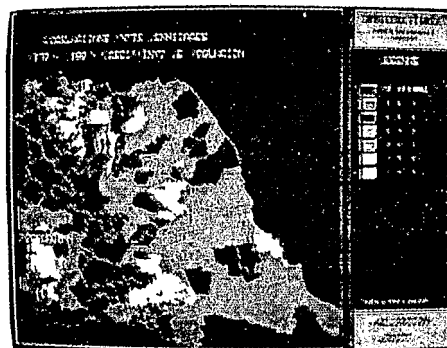


Fig.5

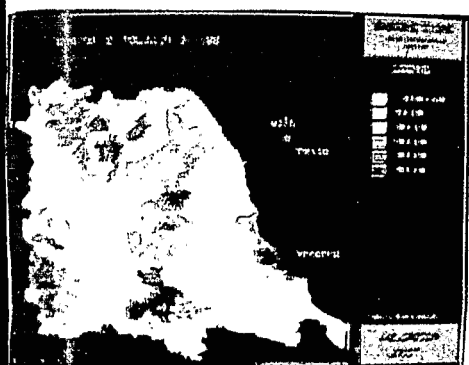


Fig.2

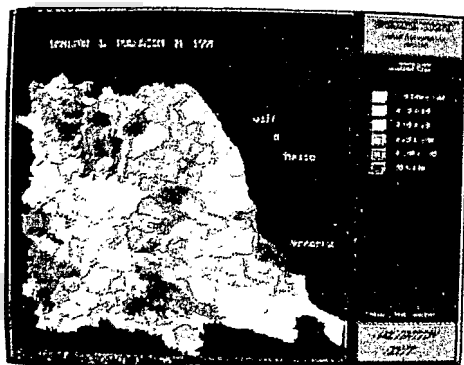


Fig.1

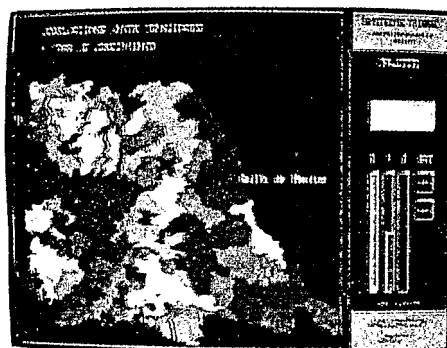


Fig. 4