

Les techniques infographiques appliquées à l'évaluation et à l'utilisation des ressources naturelles renouvelables (L'exemple de la côte équatorienne)

Le contenu de cet exposé doit être replacé dans le contexte des activités de l'ORSTOM en Equateur au sein de la convention MAG-ORSTOM.

Les résultats obtenus après dix ans de travaux d'évaluation des ressources naturelles ont été mis à la disposition des utilisateurs sous des formes conventionnelles : rapports, cartes et légendes explicatives. Le stockage, l'utilisation et l'actualisation de cet ensemble de données ne peuvent s'effectuer de façon performante avec une gestion manuelle.

L'essai présenté est une expérience d'exploitation de cette information au moyen de l'outil informatique et axé sur les centres d'intérêts suivants :

- stocker sans risque et gérer rationnellement les données recueillies au cours de l'inventaire ;
- réaliser, dans le domaine agricole, des essais d'exploitation à des fins méthodologiques ;
- établir un bilan comparatif de l'utilisation du système informatique et de la base de données afin d'en tirer des conclusions pour de futures opérations similaires.

La présentation comprend deux parties :

- l'exposé technique du logiciel informatique utilisé
- quelques-uns des différents essais d'exploitation réalisés.

(*) Informaticien, ORSTOM

(**) Géographe, ORSTOM

(***) Pédologue, ORSTOM

I. LE SYSTEME « TIGRE »

Le système Tigre, réalisé par l'ORSTOM-Infographie est un système de gestion de base de données localisées, organisé suivant le modèle relationnel.

A. Description du système

Les modules développés au sein du système Tigre, sont les suivants :

- a) Un module de saisie graphique par digitalisateur (zones, signes, points).
La saisie des contours est réalisée sous forme vectorielle, avec contrôle interactif de la cohérence topologique.
- b) Un module de description et de saisie de l'information descriptive.
- c) Un module d'intégration des données dans la base : recalage en coordonnées géographiques des données graphiques, intégration des données descriptives.
- d) Des modules d'interrogation de la base de données :
 - choix de la projection géographique de travail et de restitution (MAG).
 - restrictions géographiques par fenêtrage (WIND), sélection par recherches thématiques (QUEST) avec :
 - sélection sur des critères algébriques ou géométriques ;
 - jointures par croisement des données sur des critères algébriques ;
 - jointures géométriques par croisement sur des critères spatiaux ;
 - impressions des résultats sous forme de listes ou d'images, au choix
 - synthèse d'opérations algébriques de base ainsi que croisement de deux images thématiques (THEM).
- e) Un module de cartographie automatique (CART) : création de segments graphiques, de symboles, de textes,...
- f) Deux modules permettent une visualisation interactive sur écran graphique (GIXI) ou traceur (BENSON). On peut ainsi choisir l'échelle, l'habillage des cartes, voire de nouvelles agrégations.
- g) Un module de calculs statistiques (STAT) : histogrammes, corrélations, régressions, etc. Ces calculs peuvent s'effectuer à tout moment et permettent de modifier, si besoin est, le cours de l'interrogation.
- h) Un module de création d'attributs par :
 - classification (CLAS) avec possibilité de regrouper des valeurs
 - calcul sur les attributs (CRIS), numériques ou nominaux
 - jointure et statistique (COCA) en créant ainsi de nouveaux attributs sur le résultat d'une jointure classique ou géométrique.
- i) Un module d'intégration des données satellitaires (STAD), permet de mettre en relation une image satellitaire recalée et la base correspondante et de comparer les deux informations (radiométrie d'une part, données de la base d'autre part).

B. Description du matériel

L'ordinateur actuellement utilisé est un BULL Mini-6 ; le système utilise trois terminaux, un disque dur de 80 Mo, une imprimante, un lecteur de bande magnétique.

Le matériel graphique se compose de :

- une table à digitaliser BENSON 6301
- un écran graphique couleur GIXI (Radiance 320) : 256 couleurs affichables sur 16 millions de nuances possibles
- une table traçante BENSON 1625, 8 plumes.

II. LES DIVERS ESSAIS D'EXPLOITATION

A. La réalisation de la base de données

1) *Situation de la zone d'étude*

S'agissant d'un essai méthodologique, nous avons choisi une zone relativement étendue (pour être représentative des régions étudiées) et recouvrant la majeure partie du Guayas, le sud de la province du Manabí et l'extrémité occidentale de quelques provinces de la Sierra.

Cette région se caractérise par un extrême diversité dans les domaines suivants :

- Le climat présente une succession exceptionnelle : aride à Salinas, tropical humide dans la plaine centrale et tempéré puis froid sur les sommets de la Sierra.
- Les caractéristiques morpho-pédologiques sont également multiples : sols alluviaux des plaines, cendres volcaniques sur le flanc des Andes et paysages glaciaires des hautes altitudes.
- Enfin l'utilisation actuelle est très variée : végétation naturelle des zones arides ou d'altitude, agriculture diversifiée des plaines : cultures vivrières et nombre de cultures d'exportation.

Cette grande variabilité des caractéristiques permet d'effectuer de nombreux types de traitements et de croisements de données afin de réaliser une gamme importante de simulations.

2) *L'information existante*

Elle est contenue dans trois documents cartographiques qui ont été publiés :

- La carte morpho-pédologique dans laquelle les paysages sont définis par le relief, le substrat, les sols et leurs caractéristiques respectives.

- La carte de l'utilisation actuelle qui contient les grandes formations végétales naturelles (physionomie, espèces dominantes, etc.) et l'utilisation agricole des sols (types de cultures, plantations permanentes et pâturages). Sont aussi indiqués les types d'association dominants et les différents degrés d'occupation du sol.
- La carte d'aptitudes agricoles est un document plus synthétique. Les terres y sont classées en fonction de leurs limitations climatiques et morpho-pédologiques, de manière à aboutir à une hiérarchisation en fonction de leurs aptitudes à l'utilisation agricole et aux différentes pratiques culturales.

3) *L'entrée des données dans la base*

Pour une exploitation optima par une méthode informatique, il est nécessaire de travailler à partir de l'information la plus analytique possible. De ce fait, il s'est avéré indispensable de remodeler substantiellement certains documents pour en extraire les données analytiques. Cela a été réalisé en particulier pour la carte d'aptitudes agricoles qui avait été élaborée dans une certaine conjoncture, pour répondre à des préoccupations du moment : projets de mécanisation, d'irrigation ou zonage de culture.

La configuration adoptée pour la base est la suivante : elle se compose de trois relations, chacune correspondant à une thématique définie et divisée en attributs qui peuvent prendre un certain nombre de valeurs

- Dans la relation « climat », les attributs sont la température, les précipitations et le nombre de mois secs, chacun étant divisé selon ses valeurs respectives.
- Dans la relation « morpho-pédologie », les attributs correspondent aux facteurs limitants tels que pente, pierrosité, texture, etc. et les valeurs à leur degré d'importance (pourcentage pour la pente et la pierrosité, classes de texture).
- Dans la relation « utilisation actuelle du sol », les attributs sont les grandes catégories d'utilisation du sol : types de végétation, de cultures, de pâturages et les valeurs se réfèrent au pourcentage d'occupation du sol.

Tout ce processus de reclassement de l'information a été réalisé parallèlement à une homogénéisation des limites sur support indéformable.

La phase postérieure d'entrée dans la base, pour chacune des relations, consiste en :

- une saisie des limites sous forme vectorielle,
- l'affectation à chaque zone d'un code de nomenclature,
- une saisie de l'ensemble des tableaux qualificatifs : code attributs, valeurs.

B. Exemples d'utilisation

Les traitements effectués à partir de l'information contenue dans la base ont été de quatre types :

- l'accès à l'ensemble d'une relation
- la sélection d'attributs et de valeurs pour réaliser un document monothématique
- la combinaison entre attributs d'une même relation
- le croisement entre deux ou plusieurs relations, afin d'obtenir un document multi-thématique.

Les illustrations présentées dans ce texte proviennent exclusivement de photographies prise sur l'écran graphique GIXI-RADIANCE 320. Cependant, on peut obtenir des traitements similaires de l'information, sur une table traçante automatique de type BENSON, soit en couleur soit en noir et blanc sur support papier ou indéformable.

1) Liste des différents traitements présentés

- Image du zonage climatique.
Accès à l'ensemble de la relation « Climat » : 11 zones.
- Les grands types de l'utilisation actuelle du sol.
Regroupement de l'ensemble des attributs de la relation « Utilisation actuelle des sols » en quatre classes : végétation naturelle, cultures, pâturages, mangrove.
- Arboriculture tropicale (voir exemple).
- Zonage du riz.
Extraction dans la relation « Utilisation actuelle » de l'attribut « Riz » et de ses quatre valeurs : monoculture, riz dominant, associé, minoritaire. Puis réalisation de deux fenêtrages successifs faisant passer le pixel de 310 m à 180 m puis à 50 m.
- Paysages physiques (voir exemple).
- Nappes phréatique.
Extraction dans la relation « Morpho-pédologie » de l'attribut « Nappe phréatique » et de ses deux valeurs : nappe en surface, en profondeur.
- Inondations.
Extraction dans la relation « Morpho-pédologie » de l'attribut « Risques d'inondation » et de ses quatre valeurs : régulières générales, régulières locales, irrégulières générales, irrégulières locales. Comparaison avec l'image des inondations de l'hiver 1982-1983.

- Zonage du coton (voir exemple).
- Détermination des risques d'érosion par mouvements de masse, par croisements successifs entre les diverses relations.

a. Dans la relation « Climat », détermination des conditions climatiques favorables au déclenchement de mouvements de masse en deux niveaux : existence du risque, absence.

b. Dans la relation « Morpho-pédologie », évaluation de la susceptibilité des sols à être affectés par des mouvements de masse (obtenue par croisement de pente x texture x discontinuité texturale). Obtention de quatre niveaux de susceptibilité : absence, risques locaux, risques étendus, risques généralisés.

c. Croisement des deux relations précédentes ($a \times b = c$) et détermination des risques potentiels climat x morpho-pédologie selon les quatre niveaux cités au paragraphe b.

d. Estimation, à partir de la relation « Utilisation actuelle », du degré de protection assuré par la couverture végétale selon trois niveaux : très bonne protection, bonne protection, mauvaise protection.

e. Croisement des relations c et d afin de déterminer les risques réels (climat x morpho-pédologie x protection de la couverture végétale). Ce résultat définitif met en évidence de trois niveaux de risques : absents, locaux étendus.

2) *Liste des traitements effectués mais non présentés*

- Epaisseur des sols
- Roches et pierrosité
- Fertilité des sols
- Classes de pentes
- Texture et pierrosité
- Relief et dissection
- Zones volcaniques
- Zones irrigables
- Zones mécanisables
- Les pâturages et le cadre climatique
- Risques d'érosion par gravité

3) *Explication détaillée de deux exemples de traitement*

L'ARBORICULTURE TROPICALE

- **Question :** définition des zones d'arboriculture tropicale, situation, densité, les différents types et leur importance respective.
- **Information sélectionnée :** relation « Utilisation du sol ».
Attributs : café, cacao, manguiers, citriques, association café-cacao-banane.

Valeurs : exclusif (4), dominant (3), associé (2), minoritaire (1).

• **Traitements :**

L'ensemble de fenêtre d'étude a été choisi par l'intermédiaire du module WIND. Par le module CLAS, on a regroupé chacun des attributs en deux classes :

- principales : valeurs 4 et 3 réunies,
- secondaires : valeurs 2 et 1 réunies.

Les résultats bruts (modules THEM et LIST) font apparaître dix classes, à partir desquelles, par manipulation sur l'écran Radiance 320 (module GIXI), on a effectué plusieurs reclassements :

- niveau 1 : présence ou absence de l'ensemble des types d'utilisation du sol sélectionnés.
- niveau 2 : différenciation, pour l'ensemble de ces types, entre culture principale et culture secondaire.
- niveau 3 : détermination de chacun des cinq types sélectionnés.
- niveau 4 : pour chacun d'eux, différenciation entre culture principale et culture secondaire.

LES PAYSAGES PHYSIQUES

- **Question :** découpage de la zone d'étude en paysages physiques.
- **Information sélectionnée :** relation « Morpho-pédologie » ; attributs : « Code de nomenclature » ; toutes valeurs.
- **Traitements :**
On a choisi l'ensemble de la fenêtre d'étude (module WIND).
L'ensemble des attributs a été regroupé en ensembles génétiques cohérents (module CLAS).
Les résultats permettent aussi de distinguer dix-sept groupes de paysages homogènes (modules THEM et LIST), que l'on a ensuite hiérarchisés de la façon suivante :
 - **La cordillère des Andes :**
 - les héritages glaciaires,
 - la cordillère volcanique haute,
 - les bassins intra-andins,
 - les versants externes.
 - **La cordillère côtière :**
 - les reliefs volcaniques et volcano-sédimentaires,
 - les surfaces d'aplanissements perchées.

- Les reliefs de collines argileuses à arligo-gréseuses :
 - les collines hautes,
 - les collines moyennes,
 - les collines basses.
- Les reliefs sédimentaires structuraux gréseux :
 - les surfaces tabulaires,
 - leurs abrupts du pourtour,
 - les surfaces monoclinales,
 - leurs abrupts du pourtour.
- Les plaines
 - les épandages de piémont,
 - la haute plaine ondulée,
 - la basse plaine alluviale, inondable,
 - les zones fluvio-marines (mangrove, cordous, etc.).

4) Explication illustrée d'un exemple de traitement

LE ZONAGE DU COTON

- **Question** : détermination des zones aptes à la culture du coton compte tenu des limitations édaphiques et de l'utilisation actuelle du sol.

- **Information sélectionnée**

Dans la relation n° 1 « Climat », l'attribut « Température », une valeur : température > 22° ; et l'attribut « Nombre de mois secs », deux valeurs : 8 à 10 mois secs et 4 à 8 mois secs.

Dans la relation n° 2 « Morpho-pédologie », l'attribut « Pente » avec quatre valeurs : pentes > 5 %, de 5 à 12 %, de 12 à 25 %, de 25 à 40 % ; et l'attribut « Fertilité » avec deux valeurs : bonne fertilité (= 3) et fertilité modérée (= 2).

Dans la relation n° 3 « Utilisation actuelle du sol », tous les attributs et leurs valeurs respectives.

- **Traitements** :

Nous avons choisi l'ensemble de la fenêtre d'étude (module WIND).

Dans la relation n° 1 « Climat », les croisements (module CLAS) effectués entre les attributs « Température » et « nombre de mois secs » ont permis d'établir deux classes et les résultats (modules THEM et LIST) font apparaître après manipulation sur l'écran Radiance 320 (module GIXI) deux ensembles de zones illustrées sur la planche ci-jointe, photo n° 1. Les zones de climat optimum ont été représentées en orange, celles de climat marginal en bleu.

Dans la relation n° 2 « Morpho-pédologie », par l'intermédiaire du module CLAS, les pentes ont été regroupées en deux classes : zones facilement mécanisables (pentes inférieures à 25 %) et zones difficilement mécanisables (pentes supérieures à 40 %).

Leur croisement avec les deux classes de fertilité (modules THEM et LIST), fait apparaître quatre niveaux de contraintes physiques, illustrées sur la photo n° 2 :

- zones facilement mécanisables et de bonne fertilité en jaune,
- zones facilement mécanisables et de fertilité modérée en bleu clair,
- zones difficilement mécanisables et de bonne fertilité en bleu foncé,
- zones difficilement mécanisables et de fertilité modérée en rouge.

Une nouvelle relation (n° 4) a été obtenue par croisement des deux précédentes (n° 1 et 2). Les résultats (modules THEM et LIST) hiérarchisent les zones selon huit niveaux de contraintes édaphiques qui, après manipulation sur l'écran Radiance (module GIXI) ont été distingués sur la photo n° 3.

Ainsi, au centre de la photo on reconnaît la zone de climat optimum avec des plages de couleur qui vont du jaune au rouge en fonction des facteurs limitants morpho-pédologiques ; sur le pourtour, la zone de climat marginal avec des couleurs allant du vert au bleu, également en fonction des contraintes morpho-pédologiques.

Dans la relation n° 3 « Utilisation actuelle du sol », on a regroupé tous les attributs et leurs valeurs (module CLAS) en quatre grands types d'utilisation du sol (modules THEM et LIST). Par les manipulations sur l'écran Radiance (module GIXI), on leur a affecté les couleurs suivantes :

- la végétation naturelle en gris,
- la mangrove en bleu,
- le coton en jaune,
- les autres cultures en vert.

Le croisement des relations n° 3 et 4 a permis la création d'une cinquième. Le résultat (modules THEM et LIST) est illustré par la photo n° 5, image qui présente l'ensemble des possibilités pour chacune des zones considérées.

Cette image étant d'une lisibilité difficile, nous avons choisi de simplifier cette visualisation en ne retenant que certains niveaux de contraintes.

Ainsi, sur la photo n° 6, nous n'avons retenu que la zone aux conditions climatiques optima pour la culture du coton, les autres secteurs de climat marginal étant uniformément visualisés en gris.

L'interprétation de ce classement a ensuite permis de mettre en valeur la gradation suivante :

- Les zones actuellement cultivées en coton sont en jaune.
- Les zones couvertes de végétation naturelle mais aptes à la culture du coton après défrichage sont représentées par une gamme de rouges ; la

gradation de couleur correspondant à trois niveaux de contraintes morpho-pédologiques.

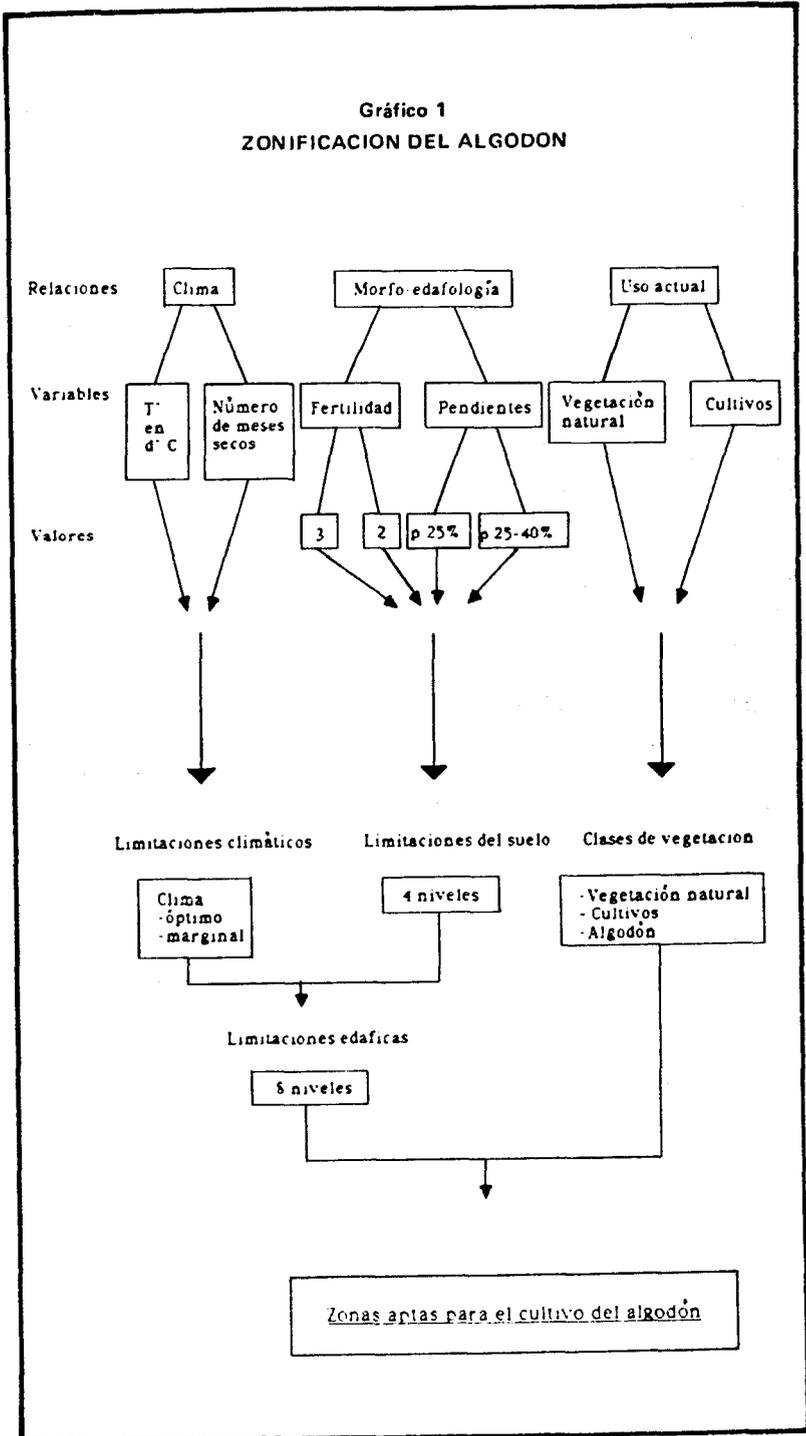
- Dans les teintes vertes (le dégradé correspondant de même à différents niveaux de contraintes morpho-pédologiques), nous avons représenté les zones avec une utilisation agricole actuelle variée où une éventuelle extension de la culture cotonnière entraînerait inévitablement des problèmes de reconversion.

III. CONCLUSION

Au terme de cette expérience, quels enseignements convient-il de dégager ?

- Les principales difficultés rencontrées sont les suivantes :
 - le processus de préparation des documents nécessaires à la constitution de la base des données s'est avéré assez difficile puisqu'il a fallu extraire une information analytique contenue dans les cartes et légendes publiées, plus synthétiques.
 - La constitution des fichiers graphiques (saisie des limites) est un processus relativement long, puisqu'environ dix semaines ont été nécessaires pour effectuer la numérisation de 15 400 cm² de carte, dont la précision respecte les normes classiques. L'utilisation d'un scanner permettrait un important gain de temps à la numérisation, mais exigerait des programmes de traitement plus complexes, plus longs et de fiabilité moindre, sans compter un coût d'investissement plus élevé.
 - Une exploitation performante du système ne peut être réalisée que pour quelqu'un qui possède une bonne connaissance du terrain et des documents de base. Ce qui implique obligatoirement un intermédiaire spécialisé entre le système et l'utilisateur.
- En revanche, l'utilisation d'un système informatique pour exploiter les résultats d'un inventaire, présente des avantages décisifs :
 - la grande majorité des traitements peut être effectuée très rapidement.
 - les accès à l'information sont multiples : de la simple sortie monothématique aux croisements successifs multithématiques.
 - la présentation d'un document final peut être réalisée sans difficulté à des échelles différentes, en respectant néanmoins le niveau de précision de l'information de base.
 - le système est une base évolutive qui permet une actualisation des données, aussi bien graphiques que numériques.
- Sur le plan méthodologique, il nous paraît intéressant de valoriser par voie numérique, les résultats d'un inventaire cartographique. Cependant, pour exploiter de façon performante un tel système, il est nécessaire de concevoir dès la phase initiale de l'inventaire, une méthode de travail parfaitement compatible avec le processus ultérieur de traitement infographique.

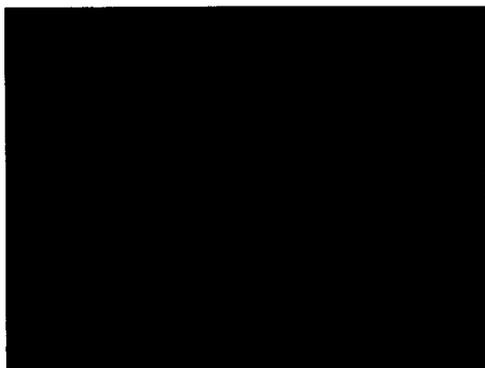
Gráfico 1
ZONIFICACION DEL ALGODON



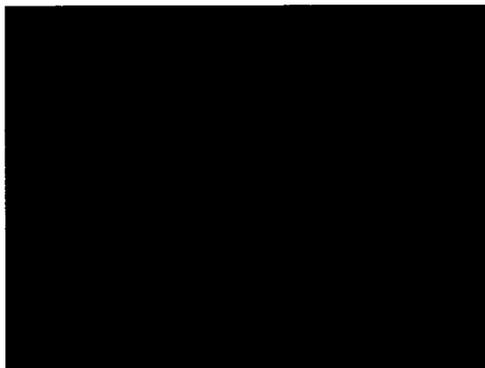
BIBLIOGRAPHIE

- POURRUT (P.), VICARIOT (F.), WINCKELL (A.), ZEBROWSKI (C.) et contrepartie équatorienne, -1978- *Inventario cartográfico de la Costa ecuatoriana, hojas a 1/200 000 de Salinas y Jipirapa* :
- carta geomorfológica,
 - carta de suelos,
 - carta de paisajes vegetales y uso actual,
 - carta de recursos suelo,
 - carta de zonas regables según criterios físico-climáticos,
 - carta de evaluación de la utilización del agua disponible según el modulo anual,
 - carta de uso potencial.
- Con leyenda explicativa, 19 p. 4 gráficos. PRONAREG, acuerdo MAG/ORSTOM, Quito.
- HUTTEL (C.), WINCKELL (A.), ZEBROWSKI (C.) et contrepartie équatorienne, -1984- *Inventario cartográfico de la Costa ecuatoriana, hojas a 1/200 000 de Babahoyo y Guayaquil* :
- mapa morfo-pedológico,
 - mapa de formaciones vegetales y uso actual del suelo,
 - mapa de aptitudes agrícolas.
- PRONAREG, acuerdo MAG/ORSTOM, Quito
- SOURIS (M.) -1986- « Système d'information géographique et bases de données ». In : *Traitement des données localisées : l'infographie à l'ORSTOM*. Collection Colloques et Séminaires : pp. 29-87, ORSTOM, Paris.
- SOURIS (M.), WINCKELL (A.), ZEBROWSKI (C.) -1986- « Las técnicas infográficas aplicadas a la evaluación y utilización de los recursos naturales renovables. Ejemplos en la Costa ecuatoriana ». In : *Cultura, Revista del Banco Central del Ecuador*, vol. VIII, nº 24 a, pp. 339-353, 1 gráfico, 11 fotografías, enero-abril. Quito.
- SOURIS (M.) -1987- « Le système TIGRE ; un système d'information géographique organisé suivant le modèle relationnel ». In : *Intégration des données de télédétection dans un système d'information géographique. Suivi de la morphologie et de la démographie d'une ville*. ATP : CNRS - CNES - Télédétection spatiale, ORSTOM, rapport final, volume 2, pp. 21-28.
- WINCKELL (A.), ZEBROWSKI (C.) -1987- « Détermination des inadéquations entre utilisation actuelle et potentielle des terres à l'aide de méthodes infographiques ». In : *Bulletin de liaison du département H*, nº 12, pp. 48-64, 5 tableaux, juin, ORSTOM, Paris.

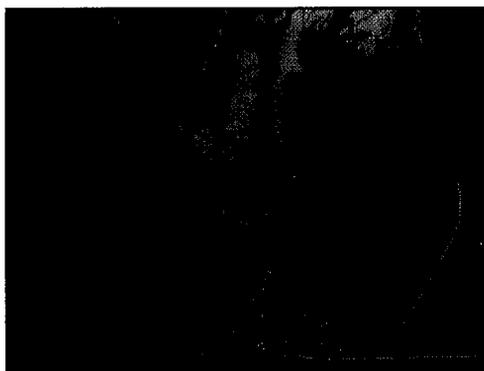
ZONIFICATION DU COTON



1. Contraintes climatiques



2. Contraintes morpho-pédologiques



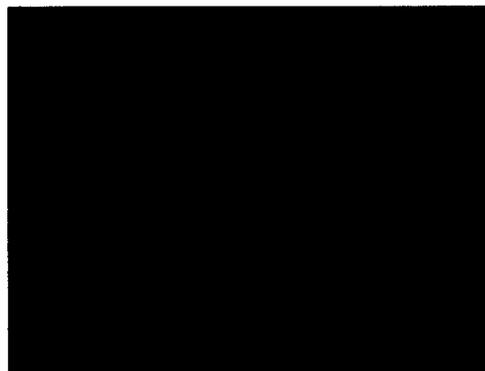
3. Croisement : contraintes climatiques et morpho-pédologiques



4. Utilisation actuelle



5. Croisement : utilisations actuelles et potentielles (données brutes)



6. Croisement : utilisations actuelles et potentielles (données sélectionnées)