

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

REPUBLIQUE DU CAMEROUN
Paix - Travail - Patrie

INSTITUT DE RECHERCHES GEOLOGIQUES
ET MINIERES

R A P P O R T D E S T A G E

DE

TELEDETECTION

effectué par

G. E. EKODECK

Docteur d'Etat ès Sciences Naturelles

à l'ATELIER de TELEDETECTION

de l'ORSTOM à BONDY

FRANCE

du 06 Avril au 26 Mai 1987

S O M M A I R E

	Page
INTRODUCTION GENERALE.....	I
A - LA TELEDETECTION ET LES DEMARCHES METHODOLOGIQUES USUELLES DANS LE TRAITEMENT DES DONNEES DE L'IMAGERIE SATELLITAIRE.....	2
I'- Conférences.....	3
a) - Méthodes d'analyse de l'espace radiométrique.....	3
a-1. Les méthodes de sondage et d'échantillonnage..	3
a-2. Classification par seuillage.....	4
a.2.1. Notions de serpent et de loterie.....	4
a.2.2. Analyse en composantes principales.....	4
a-3. Classification par bornage non subjectif.....	5
a.3.1. TRIBOR.....	5
a.3.2. DNP.....	5
a.3.3. Classification par centres mobiles.....	7
a-4. Recherches instrumentales en traitement d'image.....	8
a.4.1. Méthode de géostatistique.....	8
a.4.2. Analyse spatiale des textures.....	9
a.4.3. Morphologie mathématique.....	12
b) - Pratique de l'analyse de l'espace radiométrique....	14
b.1. Les équipements.....	14
b.1.1. Les consoles PERICOLOR 1000.....	14
b.1.2. Le Mini-6.....	14
b.1.3. Les micro ordinateurs compatibles.....	15
b.2. Les programmes statistiques.....	15
b.2.1. Sur PERICOLOR 1000.....	15
b.2.2. Sur Mini-6.....	16
b.2.3. Sur Micro ordinateurs compatibles.....	17
c) - Les exemples thématiques.....	18
c-1. Hydrobiologie et Télédétection.....	18
c-2. Pédologie et Télédétection.....	19
c.2.1. Extraction directe.....	20
c.2.2. Extraction indirecte.....	21

.../...

	Page
c-3. Analyse spatiale et Télédétection.....	22
c.3.1. En Inde du Nord.....	23
c.3.2. Au Burkina Faso.....	23
c.3.3. Au Mali.....	23
c-4. Gestion de bases de données localisées et Télédétection.....	24
 2° - Thèmes pratiques.....	 24
 B - APPROCHE METHODOLOGIQUE OPTATIVE POUR UNE ETUDE DES FORMATIONS SUPERFICIELLES DU CAMEROUN PAR EXPLOITATION DES DONNEES DE L'IMAGERIE SATELLITAIRE.....	 28
1° - Orientation du stage.....	28
2° - La Scène SPOT 087-329 du 15 Janvier 1987 et notre zone d'exercice.....	30
3° - Démarche des travaux sur données SPOT.....	31
a) - Examen préliminaire des images photographiques....	33
b) - Les sous-zones d'exercice.....	33
c) - Examen et traitement des données numériques à l'aide du PERICOLOR 1000.....	34
c-1. "COMPOSITION COLOREE" et choix des parcelles d'entraînement.....	35
c-2. Statistiques élémentaires.....	37
c-3. "HISTOBIDIM" et découpages.....	37
c-4. "HYPERCUBE".....	42
d) - Examen et traitement des données numériques à l'aide d'un micro ordinateur.....	44
d.1. TRIBOR.....	44
d.1.1. Sous-zone HOSSERE KALIAO.....	44
d.1.2. Sous-zone MAROUA.....	46
d.1.3. Sous-zone MAYO MOTORSOLO.....	47
d.1.4. Réflexions sur le programme TRIBOR et ses résultats.....	48
d.2. TIMOR.....	50
d.2.1. TEST.....	50
d.2.2. VISU.....	50
d.2.3. SEUIL.....	50
d.2.4. HISBID.....	54

	Page
d.3. STEPPE.....	54
d.3.1. DINDON.....	61
d.3.2. EXTRA.....	61
d.3.3. AVATAR.....	61
d.3.4. MOVAR.....	63
d.3.5. STELA.....	63
d.3.6. HIBAV.....	63
4° - Bilan.....	68
CONCLUSION GENERALE.....	69
REMERCIEMENTS.....	70
ORIENTATION BIBLIOGRAPHIQUE.....	70

INTRODUCTION GENERALE

C'est au lendemain de la soutenance de notre Thèse de "Doctorat d'Etat (EKODECK, 1984) que nous avons conçu, en guise de prolongement à ce travail introductif, une opération de recherche intitulée "Etude Géotechnique des roches métamorphiques de la région de Yaoundé et de leurs produits d'altération". Il s'agit d'une opération thématique d'importance régionale, dont le bien fondé a été reconnu par le Comité des Programmes et par le Conseil de Direction de l'Institut de Recherches Géologiques et Minières (I.R.G.M.), avec l'appui particulier du représentant du Ministère de l'Equipement.

Compte tenu de sa dimension régionale, cette opération a été mise en relation avec celle conduite en coopération avec l'Institut de la Recherche Agronomique (I.R.A.) et l'ORSTOM (Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération). Il s'agit de l'opération intitulée "Recherche de base pour la caractérisation et l'inventaire des formations superficielles des plateaux forestiers du Sud Cameroun".

L'intervention du traitement des données de l'imagerie satellitaire a été perçue comme un atout important dans la recherche des solutions aux problèmes qui pouvaient être rencontrés dans le cadre des opérations sus-indiquées. C'est pour cette raison qu'un stage a été organisé à notre intention et sur notre demande dans le cadre du protocole d'accord en matière de formation - insertion signé entre le MESRES (Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique du Cameroun) et l'ORSTOM, le 07 Mai 1986. Ce stage s'est déroulé au Centre ORSTOM de BONDY en France du 06 Avril au 26 Mai 1987.

.../...

Le présent rapport a pour but de présenter les principales phases de ce stage, les enseignements que nous avons pu en tirer et les perspectives que nous pouvons envisager compte tenu des possibilités infrastructurelles et d'équipement susceptibles d'être rencontrées au Cameroun. Disons tout de suite que le stage s'est déroulé en deux phases. La première a été une phase de mise en condition qui a vu la participation d'environ une quinzaine de stagiaires. Elle a duré deux semaines. Quant à la seconde phase, elle était conçue au départ comme l'application à des images satellitaires du Sud Cameroun, des méthodes d'analyse acquises au cours de la phase précédente. Le programme de cette deuxième phase a dû être modifié pour des raisons que nous verrons plus loin. Les illustrations graphiques et photographiques ne porteront que sur cette 2e phase.

A - LA TELEDETECTION ET LES DEMARCHEES METHODOLOGIQUES USUELLES DANS LE TRAITEMENT DES DONNEES DE L'IMAGERIE SATELLITAIRE

Tel est le titre qui nous paraît le mieux exprimer l'esprit et la lettre de la première phase du stage que nous avons suivi du Lundi 06 au Vendredi 17 Avril 1987, au sein de l'Atelier de Télédétection de l'ORSTOM - BONDY (ATOB), sous la responsabilité de M. B. LORTIC, avec la participation au plan de l'encadrement de nombreux responsables, chercheurs et stagiaires, de l'ORSTOM ou de l'extérieur dont les travaux sont étroitement liés à l'interprétation des données satellitaires.

Après l'exposé d'une part de quelques notions générales sur la physique du rayonnement, les capteurs de rayonnement et leur pouvoir de résolution, les différents types de capteurs en usage, et les différentes associations capteurs-

.../...

vecteurs, et d'autre part des possibilités offertes par l'ATOB en matière de Télédétection à savoir la documentation, la téléthèque, le laboratoire de photographie, l'unité de traitement informatique. Cette première phase du stage a comporté deux volets complémentaires menés parallèlement : un volet théorique constitué essentiellement de conférences, avec débats éventuellement, puis un volet pratique portant sur des thèmes d'application.

I° - Conférences

Amplement illustrées dans la mesure du possible, ces conférences peuvent être réparties en trois grands groupes : d'abord les méthodes ensuite les techniques d'analyse de l'espace radiométrique à 3 ou 4 dimensions (cubes ou hypercubes), enfin les exemples thématiques d'analyse radiométrique de l'imagerie satellitaire.

Nous allons nous limiter à une simple énumération de ces méthodes et techniques. Les détails et la logique interne de chacune de ces méthodes et techniques peuvent être acquis sur demande, ou à l'occasion de stages ultérieurs, à l'ATOB. Nous distinguerons quatre groupes de méthodes et deux groupes de techniques.

a) - Méthodes d'analyse de l'espace radiométrique

a-i. Les méthodes de sondage et d'échantillonnage

Elles permettent de faire en sorte que les données radiométriques traitées en télédétection aient une signification au niveau des résultats obtenus, à la lumière des connaissances préalables issues du terrain appelées vérités-terrain (démarche dite supervisée) ou sans connaissance a priori (démarche non supervisée). Ces méthodes sont essentiellement probabilistes et statistiques. Elles portent sur l'analyse des variables radiométriques des individus appelés pixels dont les dimensions sont

fonction du pouvoir de résolution des capteurs de rayonnement.

a-2 Classification par seuillage

a.2.1 Notions de serpent et de loterie

Cette classification est fondée sur l'analyse de l'intensité de luminance des objets survolés par les capteurs de rayonnement : cette intensité varie par convention de 0 à 255. Dans chacun des 3 canaux pris en considération, on peut effectuer un découpage intuitif ou raisonné susceptible de caractériser des thèmes différents, plus ou moins bien définis : c'est la méthode de seuillage, chaque thème ayant une borne inférieure et une borne supérieure. Lorsque les 3 canaux sont représentés en parallèle dans un espace bidimensionnel, la jonction des limites homologues d'un thème donné constitue le serpent du thème, ce thème pouvant être appelé lot d'où le terme loterie appliqué à ce type de classification. Dans ce cas le bornage est subjectif. Il est utilisé lorsqu'on voudrait faire correspondre à une classification purement radiométrique, une classification fonctionnelle ou classification par thèmes.

a.2.2 Analyse en composantes principales

Dans les cas favorables les thèmes peuvent se discriminer nettement les uns des autres suivant les canaux, conduisant à la matérialisation de serpents bien distincts et disjoints. Il existe cependant des cas où des phénomènes de chevauchement rendent difficile la classification par seuillage. La détermination de canaux théoriques qui sont des combinaisons de deux au moins des canaux de départ peut permettre d'aboutir à une meilleure discrimination des thèmes. Cette détermination s'effectue par le biais de l'analyse en composantes principales (ACP) qui est une sorte de changement de repère par translation et rotation à partir des variables précédentes et de la covariance entre ces variables.

.../...

a-3 Classification par bornage non subjectif

Dans les méthodes qui relèvent de cette classification, le bornage, inhérent à chacune de ces méthodes, s'effectue indépendamment de l'analyse. On peut distinguer 3 méthodes : la méthode dite TRIBOR, la méthode dite DNP (Discrimination bayésienne Non Paramétrique) et la classification par centres mobiles.

a.3.1 TRIBOR

Il s'agit d'un programme qui travaille par seuillage sur quatre canaux et qui nécessite au préalable une typologie réelle des parcelles d'entraînement, typologie passant par la détermination des variables radiométriques pertinentes. Le programme TRIBOR, mis en œuvre sur micro ordinateur une fois que le parcellaire (nomenclature et caractéristiques radiométriques des classes) est déterminé avec certitude, effectue des bornages de thèmes, dans l'hypercube et détermine dans les lots qu'il forme les proportions de classes identifiées préalablement. Les lots ainsi obtenus sont formés soit de classes pures, soit de mélanges de classes. Ces lots concernent la totalité de la zone étudiée.

a.3.2. DNP (Discrimination bayésienne Non Paramétrique)

Il s'agit d'une méthode qui sépare les pixels de la zone étudiée en deux ou plusieurs ensembles disjoints et caractérisés par des variables radiométriques particulières. Elle repose sur le modèle probabiliste dit de BAYES, qui minimise le risque de mauvaise classification. Contrairement à la méthode précédente qui nécessite la définition préalable d'un parcellaire, il n'y a ici aucune référence à une distribution théorique connue. Il s'agit ici d'une succession de partitions binaires qui minimise chaque fois le risque de BAYES ou risque de mauvaise classification. L'introduction, par l'expérimentateur, dans cette segmentation successive, du test d'arrêt, permet de

déterminer des segments dits terminaux, qui sont les plus intéressants puisqu'ils forment en fin de compte une partition totale de l'ensemble des pixels de la zone étudiée. Cette partition binaire séquentielle qui peut être représentée sous forme d'un schéma arborescent appelé arbre de segmentation, arbre des coupures, arbre binaire ou arbre de décision, nécessite l'introduction au départ de l'opération, d'un certain nombre de données qui sont : le nombre d'individus, le nombre de variables par individu, le nom de ces variables, le nombre de classes demandées, le nombre maximum de découpages ou d'itérations, le nombre d'essais, un nombre au hasard, le nombre de paquets formés, le nombre d'individus par paquet, la valeur du test d'arrêt. A la fin de l'opération on a le nombre d'itérations qui ont été nécessaires pour atteindre la convergence, la valeur d'inertie expliquée à chaque itération en fonction du nombre de classes demandées, les coordonnées des centres de gravité des classes, l'écart-type des variables pour chaque classe, les distances moyennes des classes, les distances entre les centres de gravité des classes, le pourcentage d'inertie expliquée avec le nombre de classes demandées, la liste des éléments de l'ensemble test, le découpage des différents segments (à savoir : la variable discriminante, la valeur de la coupure, la valeur du critère de Bayès, l'effectif à la coupure optimale et leur affectation, le pourcentage des mal classés, chaque segment étant affecté d'un numéro), le résumé de l'arbre de décision comprenant le nombre de segments construits, la description de chaque segment terminal (le nombre d'individus, la ventilation des classes a priori, l'expression logique de sélection et la liste des individus de segment) et l'affectation des individus de l'échantillon test.

Cette partition qui ne dépend plus de l'expérimentateur permet d'avoir une vision plus objective des thèmes radio-métriques qui peuvent être interprétés compte tenu des données de terrain.

.../...

a.3.3 Classification par centres mobiles : la nuée dynamique

Dans ce mode de classification on peut travailler sur un échantillonnage constitué soit par un ensemble de parcelles correspondant à des thèmes différents, soit par un ensemble de pixels représentatifs de l'aire couverte par l'image satellitaire et comportant des entités comme l'eau, la forêt, le sol nu, etc... et les pixels correspondant à ces entités doivent recouvrir la notion de classe. Les variables sont données par les canaux des capteurs, les individus étant les pixels. On travaille ainsi généralement dans un espace à 4 dimensions. Pour faire ressortir les classes, il faut pouvoir comparer les individus entre eux, et pour cela définir les similarités et les dissimilarités c'est-à-dire en fin de compte les distances entre les pixels, distances métriques et ultra-métriques. On peut ainsi construire des milliers de distances parmi lesquelles les plus caractéristiques sont les distances euclidiennes, les distances de Minkowski, les distances de Chebichev. Les classes que l'on obtient doivent faire ressortir des distances fortes incluses dans les données de départ, et pour cela, il faut revenir aux notions de moyennes ou centres et de variances (variance intraclasse W , variance interclasse B , variance totale T , avec $T = W + B$). La constitution optimale des classes susceptible de faire ressortir les classes naturelles doit minimiser W (et par conséquent maximiser B) dans la relation $T = W + B$. On procède donc de façon itérative pour un nombre de centres donnés, et en faisant varier le nombre de centres c'est-à-dire le nombre de classes, et au cours de ces itérations, on devra observer l'évolution des W et la meilleure sera celle qui permettra d'atteindre le plus rapidement le minimum des W . C'est de cette variation du nombre de classes que vient l'expression "centres mobiles". Dans cette méthode aussi, il convient de se donner un critère d'arrêt ou un critère de convergence. Le critère d'arrêt est par exemple le nombre maximal d'itérations, que l'on peut fixer à 20, quant au critère de convergence, il peut être défini par comparaison des valeurs calculées de W pour deux étapes successives n et $n + 1$. On peut dire que la convergence est atteinte dès que

..../...

$W_n - W_{n+1} \leq c$; c étant un nombre très petit fixé a priori. Lorsque la convergence est atteinte, on considère qu'on a une partition en classes qui correspondent aux structures les plus fortes dans l'image.

a-4 Recherches instrumentales en traitement d'image

Parmi ces recherches on a pu distinguer la méthode de géostatistique, l'analyse spatiale des textures et la morphologie mathématique.

a.4.1 Méthode de géostatistique

Elle a été élaborée en 1965 à Fontainebleau et à l'origine elle avait pour but de permettre l'estimation des réserves récupérables de mineraux à partir d'un petit nombre de mesures. Les méthodes d'estimations antérieures étaient analytiques. Il y a eu par la suite la méthode des moindres carrés, les méthodes pondératives et les méthodes probabilistes. Les trois premiers modes d'estimation ne permettent pas de critiquer les résultats obtenus, contrairement aux méthodes probabilistes. Dans ces dernières en particulier le calcul de l'écart quadratique donne la dégradation de l'information lorsqu'on s'éloigne d'un point donné. Elles sont donc applicables au traitement des images satellitaires. On peut aussi déterminer la variance et critiquer la carte de distribution obtenue.

L'étude porte généralement sur un phénomène dont la spatialité correspond à une fonction aléatoire, l'objectif étant de reconstituer le phénomène à partir de ses réalisations. L'hypothèse de départ est l'invariance de la translation des points de référence, et la stationnarité des accroissements de la variable considérée. Il faut que la moyenne des accroissements soit constante et nulle, et que la variance des accroissements ne dépende que de la variable prise en considération. Le calcul de la moyenne des écarts quadratiques en fonction de

.../...

la distance qui sépare les différents points pris en considération du point de référence permet d'estimer le variogramme dont les principaux modèles sont linéaires, sphériques, exponentiels, gaussiens. Il s'agit de fonctions qui peuvent être interprétées en termes de comportement. Elles peuvent être dérivables avec ou sans borne, continues avec ou sans effet de pélite, ou purement aléatoires.

La méthode d'estimation cartographique des variogrammes s'applique aux mesures structurales et permet la critique d'un plan d'échantillonnage.

Il existe une extension de la géostatistique aux phénomènes non stationnaires. Les modèles de covalences généralisées permettent alors d'estimer la validité des observations.

a.4.2. Analyse spatiale des textures

Cette analyse décrit les objets de l'image satellitaire en fonction de leur arrangement dans l'espace, de leur format, et non pas en fonction de leur signification physique. Certains objets et certains thèmes étant irréductibles à leur couleur, il est apparu nécessaire et possible d'analyser quantitativement les éléments géométriques qui permettent d'interpréter les images suivant la démarche des photointerprètes. Ainsi, les problèmes qui n'apparaissaient pas lors de l'analyse spectrale se sont posés au cours de l'analyse texturale. La réflexion s'est donc portée sur les unités manipulées (les pixels ou ensembles élémentaires, et les groupes de pixels) caractérisées par des niveaux de gris et par des signatures spectrales particulières.

Les indicateurs de texture sont nombreux. Ils permettent de déterminer les caractères homogènes et les caractères hétérogènes par le biais de transformations appliquées à l'image initiale. Ces transformations conduisent à des classi-

fications de textures, classifications qui reposent sur une approche statistique. On distingue deux principaux modes de transformations : les transformations dites locales, et les transformations dites orthogonales. Ces dernières manipulent l'ensemble de l'image initiale pour donner un spectre type spectre de FOURRIER.

Les transformations locales

Ce sont des transformations linéaires et homogènes consistant à pondérer ce qui se passe autour du point central de l'image. Les paramètres mis en œuvre au cours de ces transformations sont les suivants :

- la moyenne locale : elle permet le lissage de l'image. On la détermine sur les images carrées dont les côtés ont un nombre impair de pixels de telle sorte qu'on puisse avoir un pixel central.
- l'écart-type local : c'est un bon indicateur des textures.
- la majorité locale : c'est la valeur la plus fréquente au voisinage d'un point donné. Elle permet d'effectuer le lissage et la régularisation de l'image, mieux encore que la moyenne locale. Toutefois, il y a perte de l'information et accentuation de l'homogénéité ou de l'hétérogénéité.
- l'occurrence locale : elle s'obtient à partir de la majorité locale. C'est le nombre de fois que l'on rencontre le thème majoritaire à l'intérieur d'une fenêtre. Elle varie de 1 à n^2 , n étant la valeur du côté du carré image.
- les dérivées locales : elles permettent de réhausser les contours dans une direction donnée.

.../...

- le laplacien : il n'est pas directionnel et donne les contours dans toutes les directions.

Les transformations orthogonales et le spectre de FOURRIER

Ces transformations, signalées pour mémoire, sont beaucoup plus lourdes à manipuler. L'idée maîtresse est de filtrer les fréquences. Elles sont utilisées en géologie par montage optique pour les anomalies locales linéaires et sub-linéaires.

L'analyse spatiale des textures, s'effectuant sur les groupes de pixels, nécessite la segmentation, ou le découpage en morceaux, de l'image initiale. On peut former des groupes de pixels sans classification préalable, on peut aussi segmenter à partir des réponses spectrales, à partir des critères texturaux, à partir des réponses spectrales et des critères texturaux, à partir des règles de seuillage des fonctions à teinte de gris, etc, etc...

La segmentation sur critères texturaux a été appliquée à l'image de la région d'Ermenonville (simulation SPOT). Le calcul des écarts-types locaux, le seuillage sur 3 canaux et la combinaison des résultats ont permis d'obtenir neuf classes à partir de 3 thèmes (forêt, champs, urbain) parmi lesquels 3 classes pures et 6 classes intermédiaires.

Il existe un autre type de segmentation : la propagation en couronne. Elle consiste à partir d'un point sur l'image et à faire grossir progressivement la fenêtre d'analyse. On calcule chaque fois l'importance des sauts, et l'occurrence moyenne des données radiométriques. Le seuillage des bandes spectrales et sa combinaison avec les critères texturaux permet d'aboutir à une classification, après analyse des données par les méthodes classiques.

.../...

a.4.3. Morphologie mathématique

La morphologie mathématique est l'étude de l'aspect régionalisé d'un objet quel qu'il soit. Elle est fondée sur les critères géométriques que sont la surface, le périmètre, la compacité, etc... Si le but de l'analyse d'image est clair dans chaque discipline, les méthodes d'analyse ne découlent pas toujours de ces disciplines. Les mathématiques peuvent aider à la description des objets. Dans la morphologie mathématique, il n'y a pas de modèle physique. C'est une méthode dont les a priori, situés à l'opposé de ceux des statistiques, sont les suivants :

1. On ne voit que ce que l'on décide de regarder : la morphologie mathématique étudie des critères et des modèles en écartant les aspects contingents.

2. Percevoir c'est transformer : on se place du côté de l'expérimentateur et non du côté de l'objet car les conditions logiques que doivent vérifier les actes de l'expérimentateur doivent être généralisables.

Les outils utilisés sont la théorie des ensembles et les relations ensemblistes (intersection, union, complémentation...), l'algèbre de Boole.

Les critères à respecter sont :

- la compatibilité, vis à vis de la translation et du changement d'échelle,

- la connaissance locale c'est-à-dire que le résultat d'une transformation localisée doit rester le même, que cette transformation soit effectuée à l'intérieur d'un cadre ou non,

- la continuité des transformations : c'est-à-dire que la déformation d'un ensemble entraîne la déformation de la trans-

.../...

formée.

Les propriétés des transformations ensemblistes sont :

- l'extensivité ou l'antextensivité
- la croissance ou la décroissance
- la dualité par rapport au complémentaire
- l'idempotence
- l'homotypie

Les transformations de base, que l'on effectue à l'aide d'un élément structurant (boule, carré, triangle, segment, losange, etc...) sont l'érosion et la dilatation, l'ouverture et la fermeture. La transformation par boule, en raison de son caractère isotrope, constitue le modèle de base.

S'agissant des propriétés algébriques et topologiques de ces transformations, l'érosion ou/et la dilatation sont duales. L'érosion est décroissante, distributive par rapport à l'intersection et non associative. Quant à la dilatation, elle est croissante, distributive par rapport à l'union et associative. L'ouverture est la succession d'une érosion et d'une dilatation. La fermeture procède par une dilatation suivie d'un érosion.

La morphologie de base est binaire, celle en teintes de gris étant plus compliquée. L'érosion réduit les "pics" et élargit les "vallées" ; quant à la dilatation, elle comble les "vallées" et élargit les "pics". L'ouverture permet d'éliminer les pics ayant le même rayon que l'élément structurant, et la fermeture permet de combler les vallées ayant la même taille que l'élément structurant.

.../...

La morphologie mathématique permet l'obtention du squelette d'une image, par amincissement ou par ouverture.

b) - Pratique de l'analyse de l'espace radiométrique

Une série d'informations préliminaires destinées à donner des éclaircissements sur les techniques d'analyse d'image mises en œuvre à l'ATOB a concerné les équipements disponibles mais aussi les programmes statistiques couramment utilisés.

b-1 Les équipements

Il s'agit de consoles PERICOLOR 1000, d'un mini-ordinateur (le mini 6) et de micro ordinateurs.

b.1.1. Les consoles PERICOLOR 1000

Il s'agit de micro ordinateurs permettant la visualisation en couleur ou en noir et blanc et le traitement des données de l'imagerie satellitaire préalablement chargées sur disquettes et transférées dans la mémoire du PERICOLOR. Cette mémoire comporte 3 ou 4 cartes images A, B, C, D. (Le Péricolor de l'ATOB relié au Mini 6 ne comporte pas de carte D). Chacune de ces cartes images est subdivisée en 3 plans, comprenant deux plans de calcul et de visualisation I et J, et un plan fonctionnant en mode binaire, le plan M ou plan marqueur. L'écran de visualisation du PERICOLOR est généralement subdivisé en deux parties ou fenêtres : une fenêtre image, et une fenêtre menu. Cette dernière, qui est escamotable, présente le menu c'est-à-dire la liste des instructions qui permettent le fonctionnement du PERICOLOR et que l'on peut mettre en œuvre à l'aide d'un clavier. Le PERICOLOR fonctionne suivant une série de programmes, ou suivant des programmes utilitaires qui peuvent être rechargés secondairement dans sa mémoire.

b-1.2. Le Mini 6

Il s'agit d'un ordinateur CII HONEYWELL-BULL 643 de

.../...

256 K de mémoire, relié à divers organes périphériques (dérouleur de bande, lecteurs de disquettes, consoles de visualisation, consoles graphiques, imprimante, etc...). Il permet, à l'aide de logiciels, conçus pour la plupart et implantés par les chercheurs de l'ORSTOM, la lecture et le traitement des données de l'imagerie satellitaire. Une Console PERICOLOR 1000 qui lui est reliée permet la visualisation de ces images sous différentes couleurs.

b.1.3 Les Micro ordinateurs "compatibles"

Ils permettent de faire de la télédétection lorsqu'on a des moyens assez limités. Il s'agit de micro ordinateurs comportant un clavier, un écran de visualisation, un lecteur de disquettes comportant si possible un disque dur, et une imprimante. De nombreux traitements peuvent être effectués à l'aide de logiciels créés et implantés par les chercheurs de l'ORSTOM, le passage obligé étant celui du transfert des données satellitaires des bandes magnétiques originelles à des disquettes appropriées (diamètre 5,25 pouces).

b-2 Les programmes statistiques

De nombreux programmes statistiques permettent par le biais de l'appareillage présenté ci-dessous, d'effectuer des traitements d'image.

b.2.1. Sur PERICOLOR 1000

Les programmes que l'on peut mettre en œuvre sont soit ceux qui existent déjà dans la mémoire du PERICOLOR et que l'on peut faire fonctionner à l'aide des indications portées sur le menu, après lecture des disquettes (fonction histogramme par exemple), soit ceux que l'on peut recharger dans la mémoire du PERICOLOR par exemple le programme "HISTOBIDIM" qui permet d'avoir l'histogramme bidimensionnel d'une image, c'est-à-dire l'histogramme obtenu par combinaison des données

....

radiométriques relatives à deux canaux différents et portant sur une scène ou portion de scène, ou le programme HYPERCUBE qui permet de déterminer automatiquement les paramètres statistiques des zones d'entraînement, de montrer leur distribution sur la scène étudiée par le biais du plan marqueur, et de montrer le nombre de pixels de la scène présentant ces caractéristiques.

b.2.2. Sur MINI 6

Il y a d'abord des programmes permettant de former des fichiers, programmes désignés FANS 6, FANS 10, FA 10 A4, ce dernier générant des fichiers à 4 variables à partir d'une image à 10 canaux. Cette première série de programmes transforme les données à partir d'un échantillonnage systématique dont le pas en lignes et colonnes doit être précisé, ou à partir de l'extraction des parcelles d'entraînement dont les coordonnées sont indiquées avec précision. Il s'agit là d'un travail de formatage et sur la base des fichiers ainsi générés, on peut effectuer des analyses statistiques et des classifications, en mettant en œuvre l'un ou l'autre des programmes suivants en fonction des résultats que l'on désire obtenir : ANAFAC, SEBEST, CLASSE, DNP. Nous avons déjà parlé de la DNP et de son intérêt, nous n'y reviendrons plus.

Le programme CLASSE effectue une classification non supervisée des individus. Il suffit d'introduire le nombre de classes voulues, le nombre et la nature des variables (les canaux), et le nombre d'itérations maximal. Le résultat fourni comporte entre autres données, les coordonnées des centres de gravité des classes sur toutes les variables, les effectifs de chacune des classes, les écarts-types des classes sur les variables, la distance entre les centres des classes, le pourcentage d'inertie expliquée avec le nombre de classes choisies; plus ce pourcentage est grand, plus le nombre de classes est bon.

.../...

Le programme SEBEST est mis en œuvre une fois que les classes ont été déterminées. On introduit pour chaque classe la moyenne et l'écart-type. Le programme détermine la distribution sur l'image des individus répondant aux caractéristiques ainsi introduites. L'écart-type permet de discriminer et d'affecter les individus qui se trouvent dans les zones de recouvrement des classes. Cette affectation fait intervenir le calcul de la distance euclidienne.

Le programme ANAFAC est mis en œuvre classe par classe, et pour chacune d'elle il permet d'obtenir, pour chaque variable, la moyenne, l'écart-type, les coefficients de dissymétrie et d'aplatissement, le minimum, le maximum. Il permet aussi d'avoir l'effectif de la classe, puis toutes les covariances et corrélations des variables prises deux à deux. Et lorsqu'on lui indique les canaux (ou variables) pour lesquels on désire construire les axes factoriels, il construit ces axes, fournit entre autres données, les variances expliquées, les coefficients à utiliser sur chacune des variables considérées pour construire les néocanaux sur l'image, les coefficients de réétalement pour les axes, l'effectif qu'aurait dû avoir l'échantillon pour être effectivement représentatif, etc...

b.2.3. Sur Micro ordinateurs compatibles

Les programmes utilisés sont le programme TRIBOR et ceux des logiciels TIMOR et STEPPE. Nous avons déjà parlé du programme TRIBOR (Traitement Informatique et Bornage). Quant aux logiciels TIMOR (Traitement d'Images par Micro ordinateur - ORSTOM) et STEPPE (Statistiques Elémentaires Portant sur des Parcelles d'Entraînement), ils sont en cours d'expérimentation après la conception qui en a été faite par M. J.F. PARROT, chercheur de l'ORSTOM. Nous reviendrons sur ces deux logiciels ultérieurement. Signalons toutefois que le logiciel TIMOR comprend une série de programmes qui permettent de vérifier la structure des données de l'image, d'obtenir l'histogramme dans chaque canal, de seuiller les valeurs des canaux, d'assurer une

.../...

sorte de visualisation, de fournir l'histogramme bidimensionnel, de réaliser l'impression d'une image ou de l'histogramme bidimensionnel, etc... Quant au logiciel STEPPE, qui met en jeu des fichiers séquentiels, il permet par ses programmes de définir les classes et les parcelles, d'ajouter des variables, de fusionner des fichiers, de calculer les moyennes, de fournir des histogrammes, de calculer les coefficients de corrélation, de fournir les histogrammes bidimensionnels des variables corrélées, d'imprimer les parcelles d'entraînement, etc...

c) - Les exemples thématiques

Quatre exemples thématiques d'application de la télédétection ont été exposés aux stagiaires et ont porté sur l'hydrobiologie, la pédologie, l'analyse spatiale et la gestion des bases de données.

c.1 Hydrobiologie et Télédétection

Il s'agit d'une étude effectuée sur le Lac Tchad et axée vers l'examen des étendues en eau et la détermination de la qualité de l'eau.

L'intérêt de l'utilisation des données satellitaires pour l'évaluation des surfaces en eau est évident lorsque, comme dans le cas du Lac Tchad, ces surfaces varient avec les saisons et les années. L'exploitation des images devient alors riche d'enseignements en raison de la répétitivité du passage du satellite. On peut ainsi, en analysant les images prises en périodes de crue, de décrue et d'étiage, décrire et traduire sous forme de courbes (par planimétrage ou par analyseur d'image), l'évolution des surfaces puis des volumes d'eau en fonction du niveau, ce qui permet d'évaluer le stock d'eau résiduel ou évaporé. Cependant, comme dans le cas du Lac Tchad, il est souvent difficile de fixer avec précision, par

.../...

simple analyse d'image, la ligne de rivage, c'est-à-dire, de repérer exactement la ligne de démarcation entre l'eau boueuse et la boue humide. Il est donc indispensable d'avoir des données de terrains correspondant aux dates de prises de vues. Il en est de même pour l'estimation précise de la limite entre surfaces en eau couvertes de végétation, et surfaces couvertes de végétation sans eau.

Pour la qualité de l'eau les deux éléments importants sont la turbidité minérale et la concentration du phytoplancton.

L'étude de la répartition des teintes due à la réflectance donne des indications qualitatives. Le traitement photographique et la numérisation par ordinateur peuvent permettre d'aboutir à des estimations quantitatives, les données de terrain pouvant être obtenues aux fins de corrélations en utilisant le disque de SECCHI ou une cellule mesurant la luminosité d'une lampe qu'on enfonce en profondeur. Les données de terrains et celles des satellites doivent être synchrones, afin que les exploitations soient convenables.

S'agissant du phytoplancton, l'évaluation de sa concentration est un peu plus difficile car le phytoplancton renvoie très peu de lumière vers l'espace. Il吸吸beaucoup et diffuse peu de radiations. Pour les eaux océaniques par exemple, l'étude des concentrations chlorophylliennes, qui nécessite des fronts très forts ou des traitements de signal très élaborés, s'effectue de façon satisfaisante dans les zones de "upwelling". Pour le Lac Tchad le problème de la connaissance de la production du phytoplancton est difficile à résoudre, car l'action de la lumière dans l'eau est modifiée par la turbidité minérale.

c.2 Pédologie et Télédétection

Le concept de sol fait référence à plusieurs dimensions. Les trois premières sont spatiales (x , y , z), la quatrième

.../...

est temporelle. Il existe une cinquième dimension liée aux phénomènes d'évolution à savoir les constituants du sol.

La problématique thématique est l'étude de la nature, du fonctionnement et de l'évolution du sol sous l'action de l'homme, qui passe par l'inventaire statique à différentes échelles (cartographie), et par le suivi de la dynamique (études fondamentales du fonctionnement et étude des processus actuels).

Les capteurs radiométriques ne voient que la surface et l'extraction de l'information recherchée peut être directe lorsque le sol est nu, ou indirecte. Dans ce dernier cas, de nombreux facteurs sont à prendre en considération.

c.2.1. Extraction directe

L'analyse y est réussie lorsqu'il existe des rapports étroits entre les données de la télédétection et le sol par l'intermédiaire des caractères de surface, qui peuvent être stables ou évolutifs, caractères qui influent sur la réflectance. Mais avant de procéder à une énumération sommaire de quelques-uns de ces caractères, il convient de signaler que les pédologues n'ont pas attendu la venue des satellites pour étudier la réflectance des sols. Il existait déjà des travaux en laboratoire ou sur le terrain et qui se poursuivent encore du reste, avec la spectrophotométrie et la spectroradiométrie. L'examen de l'absorption pour un spectre continu permettait de parler du "facteur de réflectance" (par comparaison avec une surface témoin). Quant aux mesures radiométriques elles permettaient de parler de l'irradiance du soleil et de l'énergie réfléchie. Le passage des observations au sol à celles effectuées par satellite nécessite la prise en compte des niveaux d'observation.

S'agissant des caractères, ceux qui sont réputés

.../...

stables sont :

- la matière organique qui diminue la réflectance dans tous les canaux

- le fer sous forme d'oxydes de différentes natures qui a tendance à diminuer la réflectance dans tous les canaux

- la pierrosité et la texture qui, agissant par l'ombre, tendent à diminuer la réflectance dans tous les canaux

- la couleur qui intègre différentes données et fait référence à 3 paramètres du code de MUNSEL qui sont la teinte (hue), la clarté (value) et la pureté (chroma).

Les autres caractères stables sont liés à la nature lithologique des surfaces observées (gypses, calcaires, etc...) dont les valeurs de réflectance peuvent permettre dans certains cas de procéder à des identifications correctes.

En ce qui concerne les caractères évolutifs qui agissent généralement dans le sens de l'augmentation de la réflectance, on distingue : la rugosité (liée à la structure, aux travaux agricoles, aux fentes de retrait, etc...), l'humidité avec son corollaire : la couleur, et dans certaines régions les efflorescences salines, etc...

c.2.2. Extraction indirecte

Cette extraction de l'information n'est pas spécifique du pédologue. Il existe des indicateurs qui peuvent permettre de faire le point à savoir :

- le type de végétation ;

- le type de modelé, dans le cas de structures spatiales particulières ;

.../...

- les structurations caractéristiques liées aux types d'érosion (éolienne, hydrique ...) ;
- l'évolution saisonnière et les états d'humidité ou de salure

Tous ces facteurs et bien d'autres encore, peuvent donner des indications indirectes sur la nature des terrains et sur les aménagements humains.

c.3 Analyse spatiale et télédétection

Il s'agissait dans le cadre de cet exposé thématique de montrer que dans les zones sahéliennes la mise en évidence des évolutions dans le temps est possible en utilisant l'analyse spatiale, préférentiellement à l'analyse radiométrique, par l'intermédiaire d'indicateurs géométriques, linéaires (cordons dunaires) ou circulaires (terroirs subcirculaires) etc. Les raisons de cette préférence sont nombreuses :

- Les dynamiques en milieu sahélien sont rapides, par saison ou par année ; la radiométrie est donc fortement influencée.
- Il est difficile d'avoir une concomittance entre la période d'obtention des images et la période de passage sur le terrain.
- Les données exogènes dont on peut disposer (cartes détaillées et bien légendées), ne sont pas toujours adaptées à l'interprétation directe.
- Les objets géographiques sont traités en termes de paysages et d'objets présents dans l'image, ce qui permet de procéder au traitement de grandes surfaces d'images de la même manière, même si ces images ont été prises par des capteurs différents. Il n'y a donc pas de problème de collage radiométrique, et la radiométrie permet tout simplement de voir les différents arrangements des objets les uns par rapport aux autres.

.../...

Trois exemples ont permis d'illustrer ce type d'étude.

c.3.1. En Inde du Nord des indices de canaux d'irrigation antémédiévaux et actuellement bouchés ont été mis en évidence. Ils se présentent comme des dunes. La question était de savoir si avec les outils de la télédétection, on pouvait arriver à reconstituer le tracé de certains de ces réseaux.

En travaillant sur une fenêtre $N \times N = 256 \times 256$ pixels, on a pris en compte pour les traiter de la même façon, tous les réseaux caractérisés par la linéarité, la continuité, la visibilité des éléments, le contraste textural et radiométrique, l'idée étant de rechercher et de classer des réseaux non présents sur les cartes topographiques et ayant une bonne probabilité relative d'être ces anciens canaux d'irrigation. L'application de la morphologie mathématique en teintes de gris, en prenant comme image de base celle du Canal 5 et en travaillant sur de hautes et basses valeurs de la teinte de gris a donné des résultats intéressants, grâce à l'utilisation des traitements morphologiques et de filtres directionnels.

c.3.2. Au Burkina Faso, on a comparé dans des espaces voisins des paramètres de structures dunaires. L'application de la transformée de Fourier a permis de mettre en évidence des directions fines. La mise au point d'autres méthodes plus simples et plus rapides a donné des résultats tout aussi satisfaisants.

c.3.3. Au Mali, dans la plaine du Gondo, on a des terroirs subcirculaires qui forment des sortes d'auréoles ou de couronnes de dénudation autour des villages. Les études en cours sont axées vers la mesure de ces auréoles sur des images successives et vers la mesure du comportement du contact entre ces auréoles et le milieu extérieur. Sur les images de base sont appliqués les méthodes de morphologie mathématique et les traitements monodimensionnels (canal fixe ou néocanal). Un système de dilatation par éléments structurants dodécagonaux, croissant à partir du centre des villages, permet déjà d'identifier pour

.../...

ces villages, deux types de comportement différents. Des comparaisons faites d'une image à l'autre et dans le temps ont permis d'aboutir à une typologie du terroir. Toutes ces données devront être vérifiées sur le terrain en temps opportun.

c-4 Gestion de bases de données localisées et Télédétection

C'est une étude effectuée dans la zone de Marseille, dont le but est de traiter des informations géographiques en essayant d'introduire la localisation de ces données. Les informations géographiques doivent, pour être utilisées aisément, être structurées par croisement, sélection et visualisation. La localisation des informations, qui doit pouvoir être traitée comme une autre variable, a un mode de représentation difficile à banaliser.

2° - Thèmes pratiques

Trois thèmes différents d'application ont été traités par les participants au stage. Ces thèmes intéressaient trois lieux géographiques, différents eux aussi. Il s'agit de :

- L'Occupation du sol : Burkina Faso
- L'Hydrologie : Lac Tchad
- L'Urbanisme : Quito - Equateur

Les objectifs à atteindre par les stagiaires, répartis en trois groupes, ont été préalablement définis de la manière suivante :

- 1er thème : statistique et classification
- 2e thème : étude multitemporelle et suivi d'une évolution
- 3e thème : analyse et traitement sur les structures de l'image.

.../...

Nous avons apporté notre contribution aux travaux effectués par le 3e groupe. Ces travaux ont démarré assez timidement et se sont heurtés au fait qu'il n'y avait que deux postes de travail sur PERICOLOR 1000 pour les 3 groupes, et les séances de travaux d'initiation pratique n'ont pu être suivies ni de façon satisfaisante, ni en conformité avec la programmation initiale. Malgré cela, un rapport a été présenté au cours de la séance plénière de clôture du stage.

Pour la ville de QUITO, la thématique initiale retenue par notre groupe était la caractérisation de l'expansion urbaine d'après les données radiométriques à partir de la distinction établie entre l'urbain proprement dit, la périphérie et le non urbain. Mais compte tenu des images mises à notre disposition, l'étude évolutive souhaitée n'a pas pu être menée. Notre travail s'est alors limité à une simple typologie d'un espace comportant les trois zones préalablement définies et situé au NW de la ville de QUITO.

Le matériel dont nous disposions pour nos études se résumait pour l'essentiel aux données d'une bande magnétique LANDSAT TM 1986 et aux travaux photographiques correspondants (compositions colorées diverses). Nous disposions aussi d'une épreuve panchromatique en noir et blanc SPOT du 26 Novembre 1986. Nous avions en outre à notre disposition, comme éléments qui du reste ne nous avaient pas été d'une grande utilité, d'un atlas, d'une carte postale, d'une carte topographique au 1/15.000 et de blocs diagrammes "photographiques".

L'essentiel du travail que nous avons effectué, après la détermination définitive de l'orientation à donner à nos travaux, a été effectué sur PERICOLOR 1000 et sur Mini 6, après report sur disquettes des données radiométriques de la zone que nous avions définitivement retenue (NW de QUITO).

.../...

Les programmes mis en œuvre sur PERICOLOR 1000 sont la composition colorée à partir des données des canaux 4, 5, 7 (désignés respectivement ci c₂ c₃), l'histogramme bidimensionnel (Histo bidim) obtenu par combinaison de ces 3 canaux deux à deux et la loterie à partir des zones test. Sur Mini 6, les programmes mis en œuvre sont les programmes SEBEST (en 5 et 12 classes) et la DNP (en 3, 5, et 12 classes).

Il convient de signaler qu'après la visualisation de la composition colorée sur PERICOLOR 1000, nous avions choisi 12 zones d'entraînement que nous avions considérées comme relativement représentatives du secteur d'étude. Les statistiques effectuées sur ces zones d'entraînement permettaient d'obtenir pour chacune de ces zones, le nombre de pixels, donc la surface, et pour chaque canal les paramètres radiométriques suivants : le minimum, le maximum, la moyenne et la variance de la réflectance. Ces données avaient du reste permis de construire manuellement les histogrammes bidimensionnels qui avaient conduit à la mise en évidence du fait que les données des canaux c₁ et c₂ étaient fortement corrélées alors que la dispersion était grande pour les canaux c₁ et c₃, c₂ et c₃. La construction des serpents à partir de ces données avait permis de mieux sérier les valeurs radiométriques. Nous avions aussi pu faire les grands découpages suivants : rocher plus ou moins dénudé, zone urbaine bâtie plus ou moins gazonnée, végétation active, et divers (très forte réflectance dans tous les canaux). La mise en œuvre du programme Loterie à partir des données des 12 zones d'entraînement obtenues sur les canaux 2 et 3 avait donné lieu à une image visualisée et mise en mémoire.

Sur le Mini 6, nous avions choisi de mettre en œuvre, comme méthodes d'étude non supervisée, les programmes SEBEST et DNP en fixant préalablement le nombre de classes à 3, 5 et 12. C'est en présupposant que la classification fonctionnelle que nous avions établie au départ pouvait être mise en évidence

.../...

par ces méthodes non influencées, que nous avions fixé le nombre de classes à 3 puis 5, et nous avions mis ces programmes en œuvre pour 12 classes juste pour voir si nos zones test avaient été choisies de façon judicieuse. Les images correspondantes, obtenues sur écran PERICOLOR 1000 nous avaient donné l'occasion de comparer les méthodes utilisées.

Il convient de signaler que nous ne disposions en fait d'aucune "vérité terrain" en tant que tel. Il en résulte que les travaux que nous avions effectués étaient purement théoriques et avaient pour nous un but essentiellement didactique. Signalons aussi que dans la mise en œuvre du programme SEBEST en 12 classes nous avions introduit les données de ces classes d'abord avec un écart type standard de 1 ensuite avec l'écart type réel donné pour chaque classe. Si la bonne représentativité des zones test choisies avait été attestée, nous avions cependant remarqué que l'image obtenue avec un écart type standard de 1 était plus proche en netteté de celle de la composition colorée ou de la loterie que celle obtenue avec l'écart type réel.

Nous avions, dans notre groupe, considéré au bout du compte que nous avions atteint les objectifs qui nous avaient été assignés malgré les difficultés rencontrées. Il s'agissait, rappelons-le d'effectuer des analyses et traitements sur les structures d'une image. L'absence de vérité terrain ne nous avait pas permis de faire mieux et le temps dont nous disposions ne nous avait pas donné les possibilités de poursuivre nos investigations en mettant en œuvre toutes les méthodes qui avaient été portées à notre connaissance, même si leur assimilation n'avait pas été réalisée d'emblée.

.../...

B - APPROCHE METHODOLOGIQUE OPTATIVE POUR UNE ETUDE DES FORMATIONS SUPERFICIELLES DU CAMEROUN PAR EXPLOITATION DES DONNEES DE L'IMAGERIE SATELLITAIRE

1° - Orientation du stage

L'objectif initial de la deuxième phase de notre stage était l'étude préliminaire des formations superficielles sous couvert de forêt et de savane sur socle cristallin et cristallophylien du Sud Cameroun (région d'ABONG - MBANG et région au Nord de YAOUNDE correspondant respectivement aux scènes LANDSAT MSS 184/57 et 184/58 d'une part et 199/57 d'autre part - cf Fig. 1). La scène 184/58 du 17/12/1984 qui devait servir de scène maîtresse pour nos études n'ayant pas été à disposition à la téléthèque de l'ORSTOM à BONDY en France, une commande en avait été faite bien avant le début de notre stage pour le compte de l'IRGM. Mais, sur toutes les bandes magnétiques ainsi désignées, seul le canal 7 était exploitable, les autres canaux ayant présenté de nombreux phénomènes de stripage et de nombreux artefacts qui les rendaient quasiment inutilisables. De plus, le thème retenu initialement était d'un abord relevant vraisemblablement de l'utopie en raison non seulement des conditions phytogéographiques du site principal, mais aussi de l'absence d'une étude détaillée en amont de la typologie des thèmes qui devait conduire à l'établissement optimale des corrélations significatives entre réflectance et unités des paysages. Afin que le séjour que nous effectuions en France soit rentabilisé de façon optimale, il convenait de changer l'approche de la télédétection initialement arrêtée. La proposition faite par M. J.F. PARROT a été celle d'effectuer une exploration aussi complète que possible des méthodologies susceptibles de permettre une approche compatible avec les études envisageables sur place au Cameroun, notamment en mettant en œuvre les logiciels TIMOR et STEPPE en cours d'élaboration. Cette proposition a été

.../...

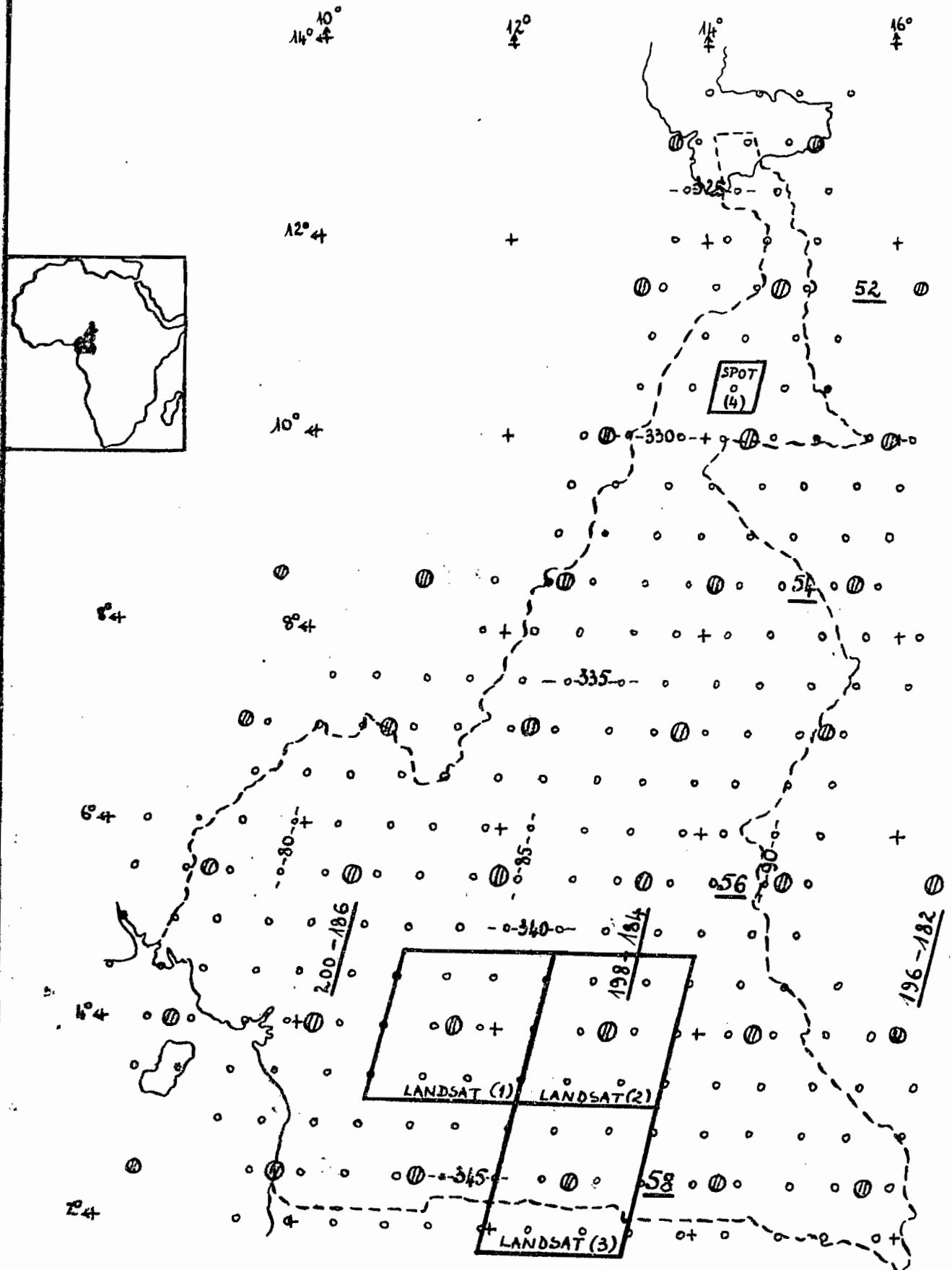


Figure 1 : Carte de situation des zones d'étude ..

- : Centres de gravité du quadrillage LANDSAT ; (1): scène YAOUNDE, 199-57 ;
 (2) et (3) scènes ABONG MBANG NORD et SUD, 184-57 et 184-58 ;
- : Centres de gravité du quadrillage SPOT ; (4): scène MAROUA, 087-329.

date	des.
------	------

acceptée par les responsables de notre formation, l'encadrement restant assuré par M. M.RAKOTO. Pour cela, il fallait choisir une scène disponible à la téléthèque couvrant les mêmes types de paysages que ceux définis plus haut, même si elle était située en dehors de la zone géographique primitive-ment retenue. Malheureusement aucune scène ne remplissait ces conditions. Il avait fallu se résoudre à travailler sur une récente scène SPOT intéressant la région de Maroua, en zone de steppe de l'Extrême Nord Cameroun. Il s'agissait de la scène 087-329 du 15 Janvier 1987.

2° - La scène SPOT 087-329 du 15 Janvier 1987 et notre zone d'exercice

L'aire couverte par la scène est centrée sur le point dont les coordonnées géographiques sont les suivantes : 10°31' de latitude N et 14°17' de longitude E. Ce point est localisé au Sud de la ville de Maroua à mi-distance entre cette ville et son aérodrome situé à Salak.

Les documents de base dont nous pouvions disposer concernant cette aire sont : des cartes topographiques au 1/200.000 et au 1/50.000, et des cartes thématiques au 1/500.000 (en particulier la carte géologique de reconnaissance du Cameroun, feuille MAROUA établie en 1966 par DUMORT, et PERONNE, la carte pédologique du Nord Cameroun de M. BRABANT) et au 1/100.000, en l'occurrence la carte pédologique du Nord Cameroun, feuille MAROUA, levée par SEGALEN (1962) en collabora-tion avec MONKAM.

Il convient de signaler en plus que la région était relativement bien connue de nous, car nous y avions séjourné pendant quelques mois au début des années 70 dans le cadre de la préparation de notre Thèse de Doctorat du 3e cycle soutue-nue en 1976 (EKODECK, 1976).

.../...

La zone qui a retenu notre attention et dont nous avons obtenu un agrandissement au 1/50.000 en composition colorée est centrée sur la ville de Maroua. Les coordonnées géographiques de ses quatre points d'encoignure sont les suivantes (Fig. 2) :

A	B
Limite Nord : latitude : 10°43'40"N longitude : 14°09'15"E	10°41'50"N 14°26'00"E
D	C
Limite Sud : latitude : 10°30'05"N longitude : 14°07'35"E	10°28'15"N 14°24'20"E

Elle a une superficie évaluée à 743 km².

Les roches du substratum géologique que l'on observe à l'affleurement sont : les granites qui forment les pointements observés dans le tiers occidental, et les roches volcaniques métamorphisées du faciès schistes verts, qui forment les massifs du tiers central. Le reste de la zone est constitué de recouvrements alluvionnaires et de produits de désagrégation et d'altération des ensembles rocheux sus définis (DUMORT et PERONNE 1966, EKODECK 1976), (Fig. 3).

Sur le plan pédologique (SEGALEN, 1962), les formations du socle correspondent aux rochers nus et arènes, ainsi qu'aux sols minéraux, caillouteux et argilocaillouteux, tandis que les produits de recouvrement sont constitués par des sols sableux à argilo-sableux, des vertisols, et des alluvions.

3° - Démarche des travaux sur données SPOT

Dans cette démarche, après l'examen des images photographiques, nous avons procédé au choix de trois sous zones au

.../...

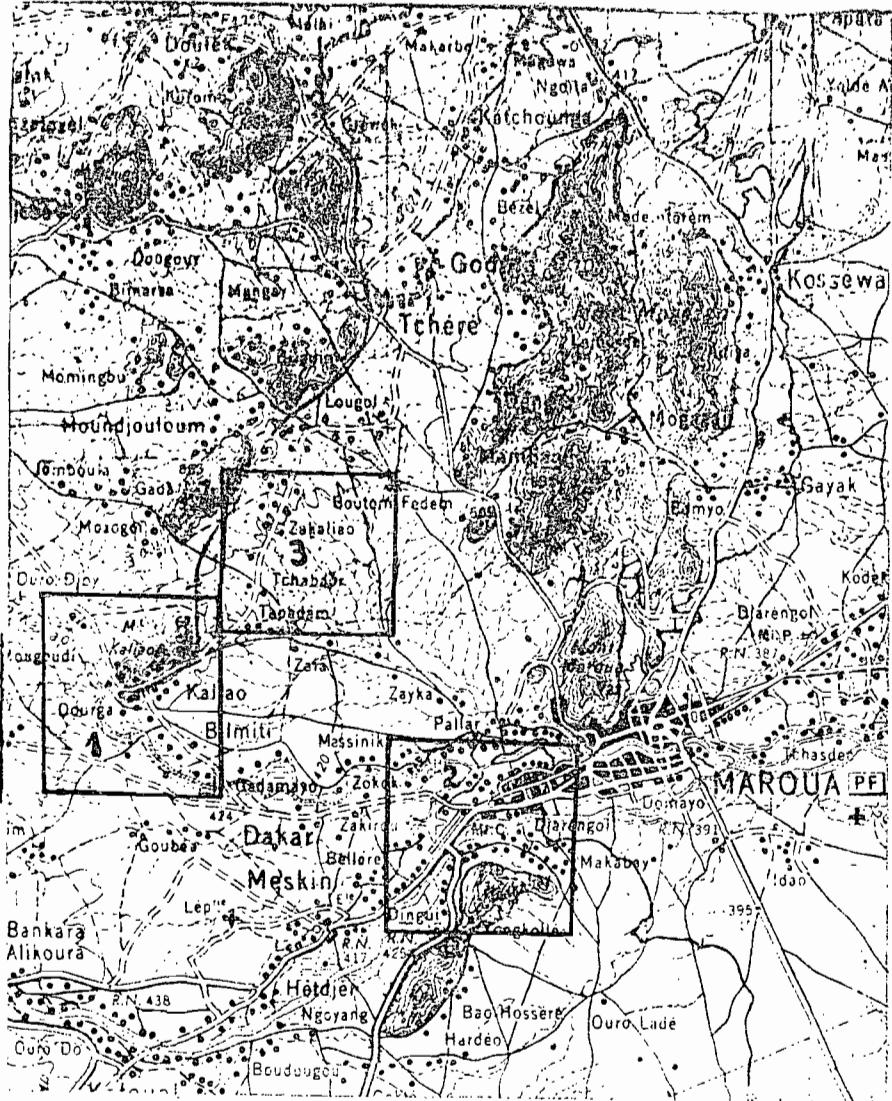


Figure 2: Extrait de la carte topographique au 1/200.000 de la Feuille MAROUA (IGN) et situation approximative des sous-zones d'étude; 1: H. KALIAO, 2: MAROUA, 3: M. MOTORSOLO.

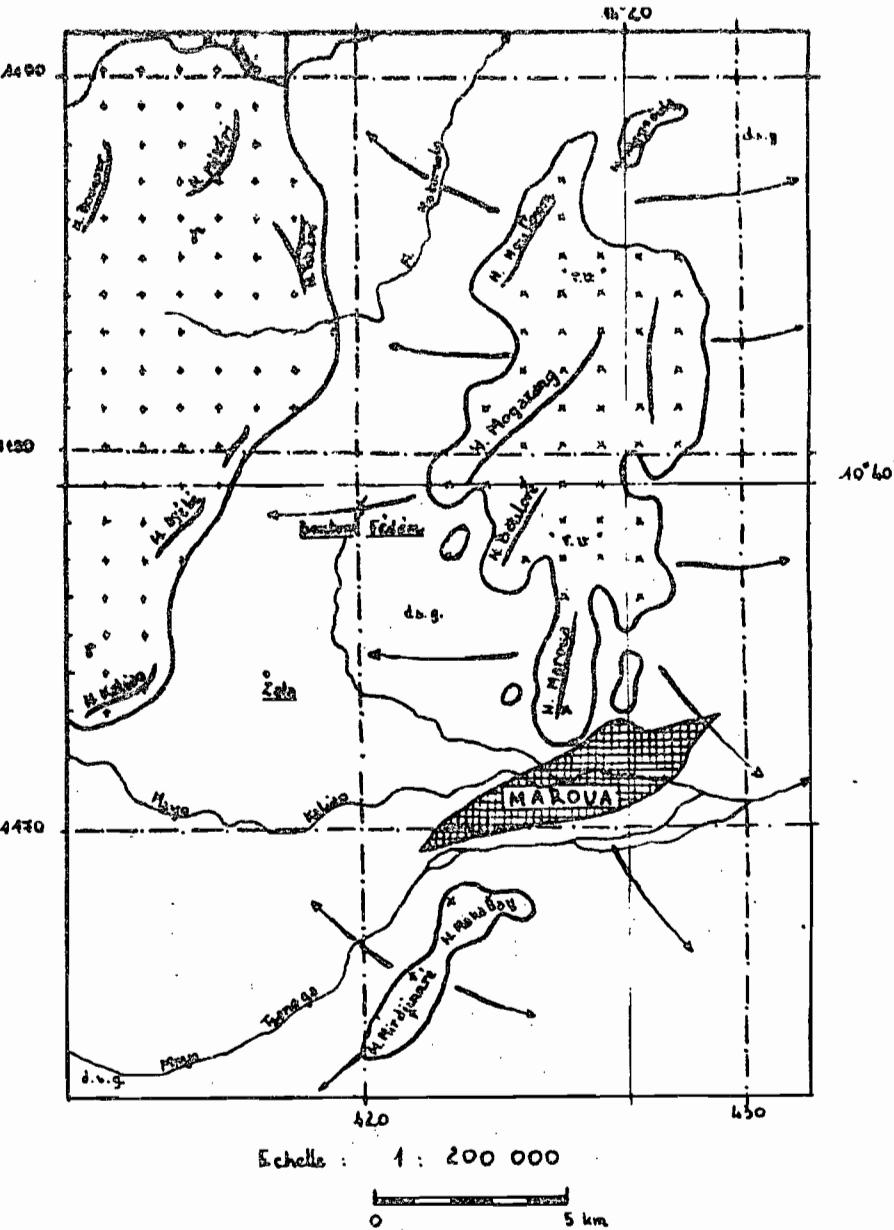


Figure 3: Esquisse géologique de la région de MAROUA
 + + granites r.v. x x roches métamorphiques faciès schistes verts
 d.s.g. [empty box] recouvrements alluvionnaires et produits de désagrégation des roches du socle. (EKODECK, 1976, extrait).

sein desquelles nous avons effectué des traitements numériques divers sur Console PERICOLOR 1000 et sur Micro ordinateur.

a) - Examen préliminaire des images photographiques

Il s'agit d'images en couleur reproduites au Laboratoire de photographie par combinaison de trois canaux (XS₁ jaune, XS₂ magenta, XS₃ cyan), ce qui donne une composition colorée proche des photographies infrarouges fausses couleurs. Les échelles de tirages ont été le 1/200.000 pour la scène entière, et le 1/50.000 pour la zone que nous avions finalement choisie pour nos études, avec d'autant plus de facilité que, comme nous l'avons dit plus haut, l'identification des objets était rendue facile en raison des documents dont nous disposions et du séjour que nous avions passé sur le terrain. Tous les ensembles géologiques et pédologiques cités plus haut étaient assez aisément identifiables dans leur globalité. Il en a été de même non seulement des axes d'écoulement d'eau temporaire comme le Mayo TSANAGA, le Mayo KALIAO, le Mayo MOTORSOLO, mais aussi du réseau de communication, de l'infrastructure aéroportuaire et des agglomérations urbaine et villageoises. Cependant, l'examen de la zone reproduite au 1/50.000 a permis de relever une très grande complexité de détail qui a présagé des difficultés que nous allions rencontrer non seulement dans le choix des sous-zones d'exercice, mais aussi dans la limitation au raisonnable du nombre des parcelles d'entraînement au moment du traitement des données numériques. Ce traitement a nécessité le transfert préalable sur disquettes appropriées des données contenues sur les bandes magnétiques disponibles et relatives aux trois canaux usuels.

b) - Les sous-zones d'exercice

Les sous-zones d'exercice que nous avons finalement choisies (Fig. 2) sont des carrés de 256 pixels sur 256 pixels. Les coordonnées en lignes et colonnes de ces sous-zones sur

.../...

l'ensemble de la scène 087-329 sont les suivantes :

Sous-zones	Lignes	Colonnes
HOSSERE KALIAO	901 - 1156	1001 - 1256
MAROUA	1031 - 1286	1501 - 1756
MAYO MOTORSOLO	701 - 956	1251 - 1506

Notons que la scène entière qui comporte 3004 lignes et 3179 colonnes a une superficie évaluée à environ 3580 Km².

Les particularités de ces sous zones sont les suivantes :

- La sous-zone HOSSERE KALIAO a été choisie sur le granite ayant le même nom, environné par ses produits d'arénisation, et flanqué au sud par le lit asséché du Mayo Kaliao.

- La sous-zone MAROUA, est à cheval sur la ville, sur les roches volcaniques métamorphisées du faciès schistes verts et leurs produits de désagrégation, et sur les alluvions du Mayo TSANAGA - dont le MAYO KALIAO est l'affluent.

- La sous-zone MAYO MOTORSOLO, est située sur le thalweg du cours d'eau ayant donné le nom de la sous-zone. Il s'agit d'un affluent du Mayo KALIAO dont l'écoulement est dirigé vers le Sud. On distingue particulièrement, en rive droite des produits résultant de l'arénisation de roches granitiques, et en rive gauche, ceux résultant de la dégradation des roches volcaniques métamorphisées du faciès schistes verts.

c) - Examen et traitement des données numériques à l'aide du
PERICOLOR 1000

Ainsi que nous l'avons signalé plus haut, la Console PERICOLOR 1000 dont nous avons indiqué la structure et la finalité, est un micro ordinateur qui fonctionne suivant une série

.../...

de programmes d'origine qui lui sont internes, ou suivant des programmes utilitaires qui peuvent être rechargés secondairement dans sa mémoire, le passage des uns aux autres étant toujours possible. Les programmes internes que nous avons le plus utilisés sont les "TRAITEMENTS" et les statistiques élémentaires ("HISTOGRAMME"). Quant aux programmes utilitaires, il s'est agit essentiellement de : "COMPOSITION COLOREE" , "HISTOBIDIM" et "HYPERCUBE". Nous allons parler beaucoup plus des programmes utilitaires que des programmes d'origine.

c-i "COMPOSITION COLOREE" et choix des parcelles d'entraînement

La mise en œuvre du programme "COMPOSITION COLOREE" a nécessité, par le biais de la fonction "Histogramme", qui est un programme interne au PERICOLOR 1000, la détermination préalable, pour chacun des 3 canaux, des bornes de l'histogramme de distribution des valeurs de réflectance des pixels compris dans les sous-zones d'étude que nous avions sélectionnées. Ces valeurs de réflectance varient de 0 à 255. L'histogramme de chaque canal a été visualisé sur l'écran et la détermination des bornes (bornes inférieure et supérieure) s'est effectuée visuellement à l'aide du curseur. On a alors déduit l'écart entre les bornes.

Les valeurs des bornes indiquées au tableau 1 introduites comme données dans la mise en œuvre du programme "COMPOSITION COLOREE" ont conduit à la visualisation sur l'écran d'une image semblable à celle obtenue des reproductions photographiques. Cette image, "sauvée" en mémoire, a servi de support au choix et à la délimitation de nos parcelles d'entraînement qui ont été aux nombres de 18 dans la sous-zone KALIAO, de 22 dans la sous-zone MAROUA et de 20 dans la sous-zone MOTORSOLO. Le choix de ces parcelles d'entraînement a été guidé non seulement par les connaissances de terrain que nous avions, mais aussi, par les couleurs dominantes de la composition colorée. Ces couleurs dominantes et les numéros des parcelles d'entraînement qui s'y apparentent sont indiqués au tableau 2.

.../...

Sous-zone	Canal	Réflectances significatives			Bornes choisies		Ecart
		Min.	Moy.	Max.	Inf.	Sup.	
<u>KALIAO</u>	XS1	40	68	125	55	90	45
	XS2	29	68	119	51	90	49
	XS3	35	80	108	65	97	32
<u>MAROUA</u>	XS1	35	65	212	49	87	38
	XS2	28	62	222	43	91	48
	XS3	39	97	207	61	97	36
<u>MOTORSOLO</u>	XS1	48	70	97	57	87	30
	XS2	38	69	104	51	92	41
	XS3	47	80	107	63	98	35

Tableau 1 : Réflectances significatives et bornes des canaux

Sous-zone	Couleur dominante	n° des parcelles d'entraînement	Couleur dominante	n° des parcelles d'entraînement
<u>KALIAO</u>	blanc	1, 10, 14, 16	vert	2, 8, 17
	jaune	7, 9, 15, 18	bleu	4, 11, 12, 13
	rouge	3, 6	noir	5
<u>MAROUA</u>	blanc	1, 2, 3, 8	jaune-beige	5, 6, 7, 17, 22
	gris-bleu	4, 11, 21	vert	18, 20
	bleu violacé	9, 10	noir	16
	rouge	12, 13, 14, 15, 19		
<u>MOTORSOLO</u>	blanc	4, 5, 6	violet	10, 15, 20
	gris-bleu	1, 13, 17	vert	9, 12, 14
	jaune	2, 7, 16, 19	noir	8
	rouge	3, 11, 18		

Tableau 2 : Couleurs dominantes de la composition colorée et indexation des parcelles d'entraînement.

c-2 Statistiques élémentaires

Des études statistiques élémentaires sont généralement effectuées sur les valeurs de réflectance des pixels de la zone concernée par l'imagerie satellitaire. Les bandes magnétiques que l'on acquiert peuvent être accompagnées d'indications générales d'origine. Tel a été le cas des bandes relatives à la scène qui nous intéresse. Les données originelles (communiquées par SPOT SATIMAGE) y afférentes sont les suivantes :

Canal.	Min.	Moy.	Max.
XS1	40	65	145
XS2	30	60	120
XS3	30	75	145

A l'aide de la Console PERICOLOR 1000, nous avons obtenu des données similaires, soit sur l'ensemble de l'image des 3 sous-zones que nous avons choisies (elles sont portées sur le tableau 1) soit sur les parcelles d'entraînement desdites sous-zones, avec cette fois en supplément l'indication de la population et de la variance de réflectance de chaque parcelle d'entraînement. Les valeurs correspondantes, figurent au tableau 3. Les moyennes des parcelles ont été traduites sous forme de serpents (Fig 4 a, b, c). L'examen du comportement de ces serpents permet d'effectuer un regroupement des parcelles d'entraînement en ensembles (détermination visuelle de la parenté), qui correspondent finalement à des similitudes de pigmentation en composition colorée, et à des affinités fonctionnelles ou thématiques.

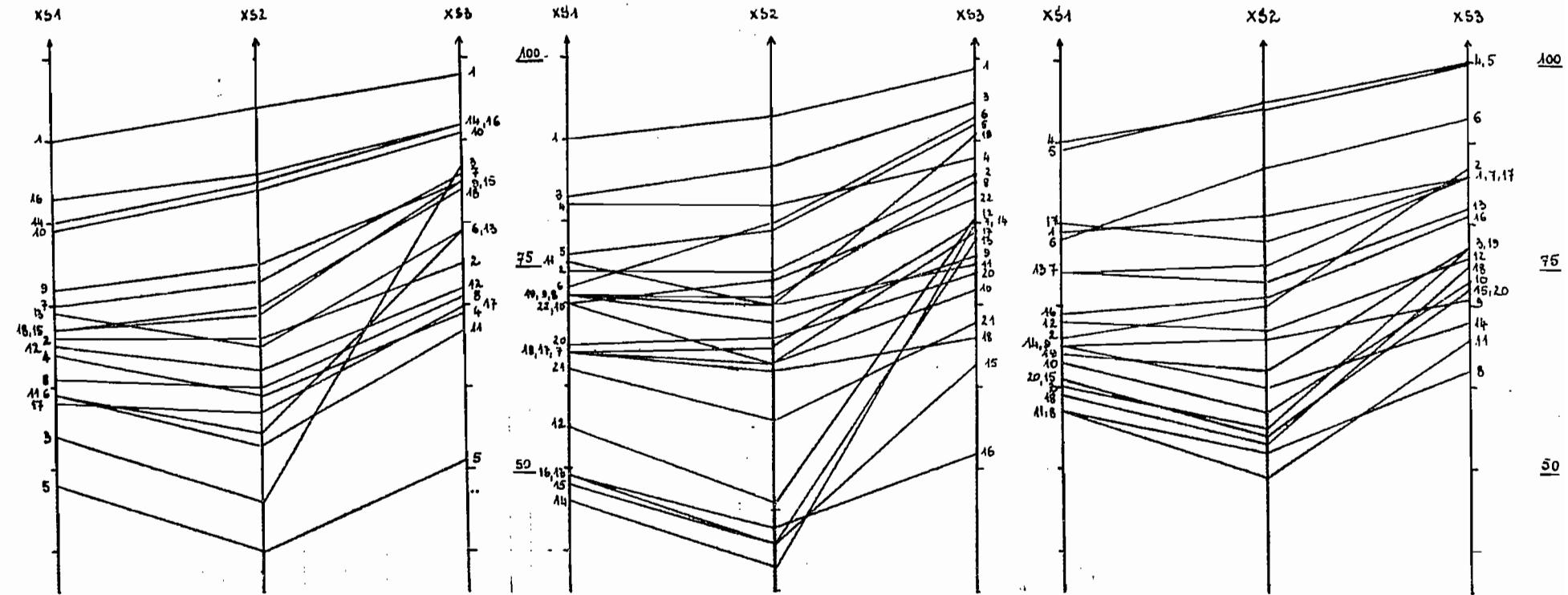
c-3 "HISTOBIDIM" et découpages

Le programme "HISTOBIDIM" permet d'avoir l'histogramme des données radiométriques de deux canaux combinés rectangulairement et portant sur une même scène. Lorsque les don-

.../...

Sous-zone → d'étude	HOSSERE KALIAO					MAROUA				MAYO MOTORSOLO		
n° de la parcelle d'entraînement	nb de pixels	Canal 1	Canal 2	Canal 3	nb de pixels	Canal 1	Canal 2	Canal 3	nb de pixels	Canal 1	Canal 2	Canal 3
1	140	90	94	98	168	90	93	99	72	79	81	86
2	237	66	66	75	70	74	74	86	16	66	70	87
3	41	54	46	87	208	83	87	95	31	60	55	77
4	88	64	59	69	104	82	82	88	29	90	94	100
5	336	48	40	51	35	76	79	92	145	89	95	100
6	89	59	54	79	9	72	80	93	57	78	87	93
7	102	70	73	86	119	64	65	80	122	74	75	86
8	221	61	60	71	45	71	71	85	168	57	52	62
9	163	72	75	85	35	71	68	76	43	65	66	71
10	88	79	84	91	93	70	63	72	398	63	57	73
11	195	59	53	67	102	75	70	75	86	57	49	66
12	178	65	62	72	55	55	46	81	141	68	67	76
13	90	69	65	79	16	49	41	78	214	74	73	82
14	332	80	85	92	28	46	38	80	84	65	60	68
15	156	67	69	85	22	48	41	63	136	61	54	72
16	284	83	86	92	104	49	43	52	365	69	71	81
17	48	58	57	70	57	64	63	79	127	80	78	86
18	40	67	70	84	176	64	62	66	92	59	53	75
19					32	71	70	91	170	64	62	77
20					42	65	66	74	30	61	54	72
21					126	62	56	68				
22					47	70	73	83				

Tableau 3 : Surface et moyennes radiométriques des parcelles d'entraînement des trois sous-zones d'étude.
(Résumé des données obtenues du PERICOLOR 1000 sur parcelles hétéromorphes)



a : H. KALIAO

b ; MAROUA

c: M. MOTORSOLO

Figure 4: serpents linéarisés des parcelles d'entraînement hétéromorphes des sous-zones d'étude.
(données statistiques obtenues du PERICOLOR 1000).

nées radiométriques des deux canaux sont bien corrélées, on obtient un nuage de points qui s'organise suivant la bissectrice de l'angle formé par les deux canaux. C'est ce qui se passe couramment pour les canaux XS₁ et XS₂. Dans le cas contraire, le nuage de points est d'autant plus désorganisé par rapport à cette bissectrice que la décorrélation est plus forte. C'est ce qui se passe souvent lorsqu'on considère la corrélation entre l'un des deux précédents canaux et le canal XS₃. Les figures 5 montrent la stylisation des histogrammes bidimensionnels de nos 3 sous-zones d'étude, obtenus pour les canaux XS₂ et XS₃, à l'aide du PERICOLOR 1000, l'aire centrale de chaque histogramme étant celle de la plus forte densité des données. Les histogrammes bidimensionnels ainsi formés concernent tous les pixels de la sous-zone visualisable.

D'autres artifices de manipulation peuvent être faits en s'aidant du plan marqueur et du curseur du PERICOLOR 1000. C'est ainsi que l'on peut effectuer la projection des parcelles d'entraînement sur l'histogramme bidimensionnel, ce qui permet de vérifier la pertinence du choix et la représentativité d'ensemble de ces parcelles. La démarche inverse est aussi possible à savoir que l'on peut circonscrire des aires particulières sur l'histogramme bidimensionnel (c'est-à-dire effectuer un découpage) et retrouver la distribution des points correspondant à ces aires sur l'image de la sous-zone d'étude. Le découpage de l'histogramme bidimensionnel doit répondre à certains critères de raisonnement que l'on se donne à partir des vérités-terrain et des parcelles d'entraînement choisies. La couleur attribuée à chaque aire définie sur l'histogramme bidimensionnel peut être reportée sur tous les pixels concernés de l'image. On obtient au bout du compte une carte multicolore dont l'histogramme bidimensionnel découpé constitue la légende. Des découpages d'histogrammes bidimensionnels ont été effectués dans le cas de nos trois sous-zones (Fig. 6). La comparaison de l'image ainsi obtenue à celle de la composition colorée, permet de se faire une idée de la pertinence du choix des parcelles d'entraînement.

.../...

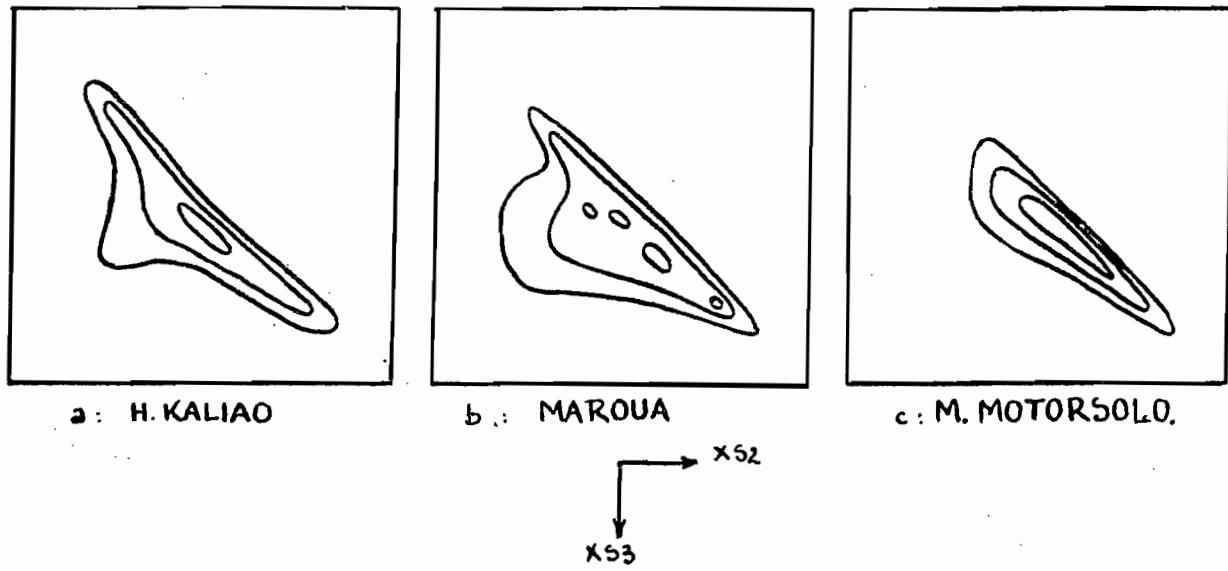


Figure 5: Histogrammes bidimensionnels stylisés des sous-zones d'études, pour les canaux XS2 et XS3.

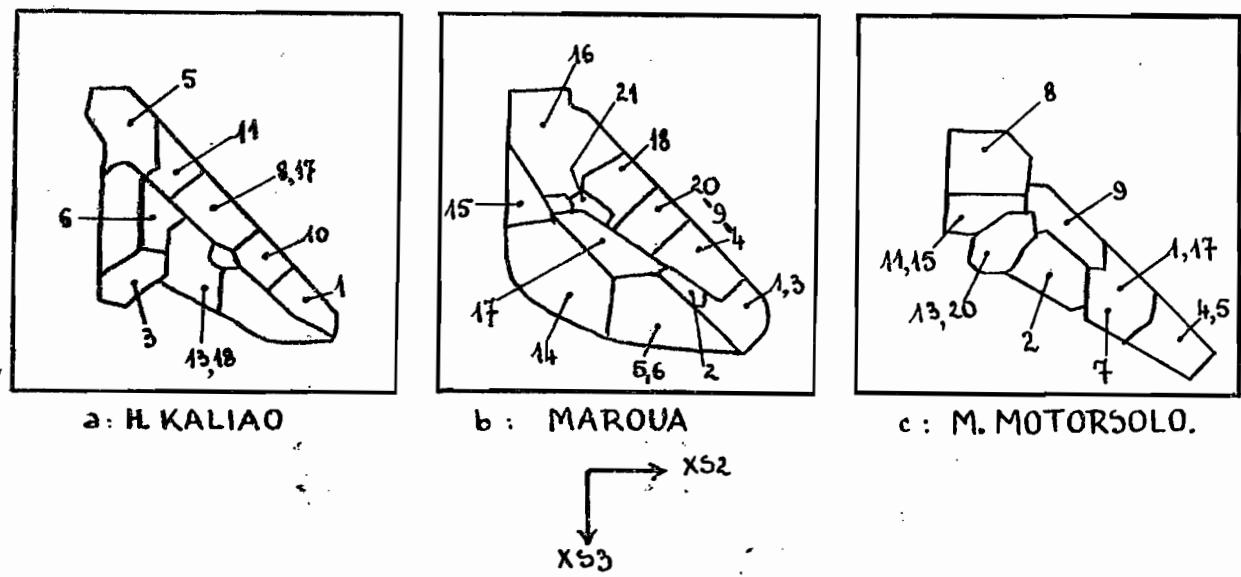


Figure 6: Découpage des histogrammes bidimensionnels et position de quelques parcelles d'entraînement caractéristiques.

c-4 "HYPERCUBE"

L'Hypercube est le terme que l'on emploie pour désigner une représentation graphique conceptible à plus de trois dimensions définies chacune par un couple de bornes. Le programme utilitaire "HYPERCUBE" convertit en une représentation bidimensionnelle (c'est-à-dire en une représentation plane) des données résultant de la combinaison de plus de 3 variables. Dans le cas du programme en usage avec le PERICOLOR 1000, le nombre de variables est de 4, c'est-à-dire que l'on considère quatre canaux XS₁, XS₂, XS₃ et XS₄. La mise en œuvre de ce programme permet de déterminer les paramètres statistiques des zones d'entraînement dans lesquelles on a préalablement placé le curseur du PERICOLOR 1000. Le même programme permet, par le biais du plan marqueur, de voir la distribution sur l'image visualisée, de tous les pixels ayant les mêmes caractères radiométriques que ceux des pixels d'une zone d'entraînement donnée. Le nombre de ces pixels est automatiquement affiché.

Le tableau 4 donne la représentativité absolue et relative des parcelles d'entraînement. On constate une très forte dispersion des valeurs de la représentativité relative des parcelles d'entraînement. La gamme va de 1,07 à 71,70 % dans la sous-zone H. KALIAO, de 1,43 à 77,72 % dans la sous-zone MAROUA et de 1,10 à 72,87 % dans la sous-zone M. MOTORSOLO.

Lorsqu'on se fonde sur les regroupements radiométriques des parcelles d'entraînement (cf. Tableau 2), le cumul des valeurs minimales de la représentativité relative portée dans le tableau 4 aboutit aux résultats respectifs suivants : 50,01 - 36,88 et 57,03 % pour les 3 sous-zones d'étude. Quant au cumul des valeurs maximales les chiffres correspondants sont de 261,35 - 208,98 et 262,38 %.

En combinant les données du programme "HISTOBIDIM" (découpage et indexation des parcelles d'entraînement-type) et du programme "HYPERCUBE", la représentativité relative des par-

.../...

n°Z.t	nb pix.	%	n°Z.t	nb pix.	%	n°Z.t	nb pix.	%
1	10.081	15,38	7	21023	32,08	13	22.707	34,65
2	42.450	64,77	8	14475	26,66	14	34.902	53,26
3	703	<u>1,07</u>	9	28070	42,83	15	42.040	64,15
4	17.742	27,07	10	46989	<u>71,70</u>	16	13.047	19,91
5	3590	5,48	11	3424	5,22	17	2590	3,95
6	4028	6,15	12	32177	49,10	18	12396	18,91
H. KALIAO								
1	2097	3,20	8	19212	29,32	16	1663	2,54
2	4986	7,61	9	31310	47,78	17	7490	11,43
3	4172	6,37	10	50932	<u>77,72</u>	18	13.637	20,81
4	11558	17,64	11	26931	41,09	19	1078	1,64
5	1084	1,65	12	7326	11,18	20	3396	5,18
6	937	<u>1,43</u>	13	6044	9,22	21	9013	13,75
7	17250	26,32	14	1965	3,00	22	4082	6,23
MAROUA								
1	18054	27,55	8	1635	2,49	14	9236	14,09
2	721	<u>1,10</u>	9	31888	48,66	15	10941	16,69
3	3493	5,33	10	23579	35,98	16	47756	<u>72,87</u>
4	1396	2,13	11	4489	6,85	17	35057	56,54
5	3503	5,35	12	30474	46,50	18	25606	39,07
6	4437	6,77	13	24403	37,24	19	25704	39,22
7	15324	23,38	M. MOTORSOLO					

Tableau 4 : Représentativité absolue et relative des zones tests.
(Z.t : Zone test ; nb pix. : Nombre de pixels)

celles d'entraînement retenues est respectivement de 184,15 - 137,50 et 160,49 %. Ces indications traduisent on ne peut plus clairement la difficulté à laquelle nous nous sommes heurté au cours du choix des parcelles d'entraînement dont la plupart correspondent à des thèmes composites, c'est-à-dire finalement à des fourchettes de données radiométriques qui se recouvrent, souvent très largement. Le tableau 5 complète les données du tableau 2. Y sont soulignés les numéros des parcelles d'entraînement dont les données ont servi dans l'évaluation combinée mentionnée ci-dessus.

d) - Examen et traitement des données numériques à l'aide d'un micro ordinateur

Les programmes utilisés, il convient de le rappeler une fois encore sont le programme TRIBOR, ainsi que ceux des logiciels TIMOR et STEPPE conçus et mis au point par M. J.F. PARROT de l'ORSTOM. La mise en œuvre de ces programmes a nécessité de transfert préalable sur disquettes 5,25 pouces des données enrégistrées sur les bandes magnétiques et relatives à nos 3 sous-zones d'études.

d-i TRIBOR : Ce programme est en fait intégré dans le logiciel TIMOR. C'est en raison de l'importance que nous lui avons accordée dans nos manipulations que nous le considérons à part. Ce programme travaille par seuillage sur 4 canaux, le 4e canal étant simplement une répétition du 3e canal. Ce seuillage a été effectué à partir des données statistiques obtenues du PERICOLOR 1000, et de la comparaison du comportement des serpents linéarisés des parcelles d'entraînement retenues.

d.i.i Sous-zone HOSSE KALIAO

Le seuillage sur les 4 canaux de cette sous-zone a

.../...

Sous-zone	Couleur dominante	n° des parcelles d'entraînement	Thème
H. KALIAO	blanc	10 1 14 16	alluvions sableuses des cours d'eau, pédiment sableux
	jaune	7 9 15 18	sols minéraux en début d'évolution
	rouge	3 6	végétation
	vert	2 8 17	pédiment granitique sableux
	bleu	4 11 12 13	vertisols granite
	noir	5	ombre sur granite
M A R O U A	blanc	1 2 8 3	Hardé : sol halomorphe sols minéraux peu évolués alluvions sableuses des cours d'eau
	gris-bleu	4 11 21	sols minéraux peu évolués vertisols
	bleu violacé	9 10	bâti urbain
	rouge	12 13 14 15 19	végétation
	jaune beige	5 6 22 7 17	sols minéraux peu évolués rocher nu et sols en début d'évolution
	vert	18 20	rocher nu et sols en début d'évolution
	noir	16	ombre sur rocher nu
M. MOTORSOLO	blanc	4 5 6	alluvions sableuses
	gris bleu	1 13 17	pédiment granitique sableux Hardé : sol halomorphe
	jaune	2 7 16 19	pédiment sableux avec végétation
	rouge	3 11 18	végétation
	violet	10 15 20	végétation
	vert	9 12 14	vertisols
	noir	8	vertisols

Tableau 5 : Regroupements radiométriques et fonctionnels des parcelles d'entraînement.

permis de distinguer 5 classes de départ à savoir :

	L'ombre	Le granite	La végétation	Les sols peu évoluées	Le sable
C1	0 - 50	51 - 69	53 - 60	67 - 74	75 - 255
C2	0 - 45	46 - 66	45 - 55	67 - 86	87 - 255
C3	0 - 55	56 - 81	77 - 90	82 - 89	90 - 255
C4	0 - 55	56 - 81	77 - 90	82 - 89	90 - 255

La mise en œuvre du programme a permis d'obtenir les résultats suivants :

- nombre de pixels par classe origine : Ombre : 1137 ; granite : 25715 ; végétation : 570 ; sols peu évolués : 10200 ; sable : 4578 ; total : 42200 pixels.

- nombre de lots formés : 6 dont 5 purs et 1 composite.

- nombre de pixels par lot : Ombre : 1137 ; granite + végétation : 453 ; granite : 25262 ; végétation : 117 ; sols peu évolués : 10200 ; sable : 4578 ; total : 41747 pixels.

d.1.2 Sous-zone MAROUA

Le seuillage sur les 4 canaux de cette sous-zone a permis de distinguer 7 classes de départ à savoir :

	Ombre	Végétation	Sols en début d'évolution	Rocher nu	Bâti urbain	Sols peu évolués	Sables et alluvions
C1	0-50	45-61	62-72	62-66	67-80	69-76	81-255
C2	0-45	35-50	62-70	55-66	59-75	70-79	80-255
C3	0-55	65-85	78-92	66-74	58-80	83-92	87-255
C4	0-55	65-85	78-92	66-74	58-80	83-92	87-255

.../...

Les résultats obtenus de la mise en œuvre du programme sont les suivants :

- nombre de pixels par classe origine : Ombre : 580 ; végétation : 5326 ; sol en début d'évolution : 9456 ; rocher nu : 7007 ; bâti urbain : 7430 ; sols peu évolués : 5384 ; sables et alluvions : 4749 ; total : 39932 pixels.

- nombre de lots formés : 9 dont 7 purs et 2 composites.

- nombre de pixels par lot : Ombre : 580 ; végétation : 5326 ; bâti urbain + sol en début d'évolution : 2711 ; sols en début d'évolution + sols peu évolués : 423 ; sols en début d'évolution : 6322 ; rocher nu : 7007 ; bâti urbain : 7419 ; sols peu évolués : 4961 ; sables et alluvions : 4749 ; total : 36798

d.1.3 Sous-zone MAYO MOTORSOLO

Les 6 classes suivantes ont été déterminées par seuillage sur les 4 canaux de la sous-zone :

	Vertisols dénudés	Végétation sur vertisols	Rocher nu	Sols peu évolués	Sols en début d'évolution	Sables et alluvions
C1	0-57	56-65	66-70	70-83	67-73	75-255
C2	0-52	50-66	67-70	71-83	70-77	83-255
C3	0-67	68-80	72-80	80-89	85-88	90-255
C4	0-67	68-80	72-80	80-89	85-88	90-255

Les résultats obtenus de la mise en œuvre du programme sont les suivants :

- nombre de pixels par classe origine : Vertisols dénudés : 898 ; végétation sur vertisols : 13833 ; rocher nu : 4958 ; sols peu évolués : 16105 ; sols en début d'évolution : 1769 ; sables et alluvions : 7071 ; total : 17874 pixels.

.../...

- nombre de lots formés : 6 tous purs

- nombre de pixels par lot : Vertisols dénudés : 898 ; végétation sur vertisols : 13833 ; rocher nu : 4958 ; sols peu évolués : 14528 ; sols en début d'évolution : 192 ; sables et alluvions : 7071 ; total : 14720 pixels.

d.1.4 Réflexions sur le programme TRIBOR et ses résultats

La mise en œuvre du programme TRIBOR nécessite la maîtrise préalable du parcellaire de la zone étudiée, maîtrise qui débouche sur la détermination des bornes radiométriques sur les 4 canaux usuels. Une fois ce bornage effectué, ce qui permet de définir des classes thématiques, le programme TRIBOR analyse les pixels de l'aire étudiée et applique à chacun d'eux une valeur de croisement des classes, de manière à générer des lots dont il donne le code et les caractéristiques, ces lots pouvant être purs (constitués par des pixels d'une seule classe) ou mixtes (mélange de classes). Tels sont, suivant ce que nous avons cru comprendre, les principes de fonctionnement et les objectifs du programme TRIBOR.

Compte tenu du fait que nous avons considéré non seulement des images carrées de 256 x 256 pixels mais aussi des canaux dans lesquels l'intensité du rayonnement, variant de 0 à 255, a été intégralement pris en compte dans la détermination des bornes, nous étions en droit de nous attendre à avoir tous les pixels affectés dans les classes origines puis redistribués dans les lots codés. Ce que l'on constate c'est qu'au lieu d'être de 65.536, le nombre total de pixels que l'on retrouve dans les classes origines est de 42200 pour la sous-zone HOSSERE KALIAO, de 39932 pour la sous-zone MAROUA, et de 17874 pour la sous-zone MAYO MOTORSOLO. Les questions que nous nous posons sont de savoir si nous n'avons pas bien compris les mécanismes et objectifs du programme TRIBOR, ou alors, dans le cas contraire, si c'est notre parcellaire qui

.../...

devient de moins en moins représentatif à mesure que nous passons d'une sous-zone à l'autre, même si la mise en œuvre du programme HYPERCUBE sur PERICOLOR 1000 établit une bonne représentativité de notre parcellaire dans chacune des sous-zones étudiées, ou encore s'il y a à cela d'autres raisons qui nous échappent.

Par ailleurs, lorsqu'on fait la somme des pixels que l'on retrouve dans les lots codés, elle est de 41747 pour la sous-zone HOSSERE KALIAO, de 36798 pour la sous-zone MAROUA et de 14720 pour la sous-zone MAYO MOTORSOLO. Il semble en découler que les pixels non classés dans les lots codés sont, respectivement pour nos trois sous-zones, aux nombres de 453, 3134 et 3154. Pour les deux premières sous-zones pourtant, quand on tient compte des pourcentages des classes dans les lots, on se rend compte que tous les pixels des classes origines ont été affectés aux lots codés. Pour la dernière sous-zone par contre l'examen de ces pourcentages montre que l'ordinateur a marginalisé 89,15 % des pixels de la classe des sols en début d'évolution et 9,79 % des pixels de la classe des sols peu évolués ; tous ces pixels pouvaient pourtant former un lot composite.

Après l'examen, nous avons constaté qu'en fait, dans le cas des sous-zones qui nous concernent, pour que le nombre de pixels de l'ensemble des lots codés soit égal au nombre de pixels de l'ensemble des classes origines, il faut que le nombre de pixels des lots composites soit multiplié par 2 lorsque le lot considéré comporte des pixels appartenant à 2 classes origines différentes.

Ces réflexions sont, il nous semble, suffisamment incitatives pour que l'organigramme du TRIBOR fasse l'objet de quelques réajustements.

.../...

d.2 TIMOR

Le logiciel TIMOR comporte une vingtaine de programmes qui sont souvent assez peu dépendants les uns des autres. Dans ce cadre, nous n'avons mis en œuvre que quelques-uns de ces programmes en l'occurrence, les programmes TEST, VISU, SEUIL, HISBID, les deux derniers ayant donné lieu à l'obtention de documents imprimés.

d.2.1 TEST

Ce programme a été utilisé dans le but de vérifier la structure des données de nos sous-zones transférées sur les disquettes prévues pour le traitement des images. Aucune défectuosité n'a été rencontrée au cours de cette vérification. Le feu vert a donc été obtenu par le biais de ce programme pour l'utilisation des autres programmes du logiciel.

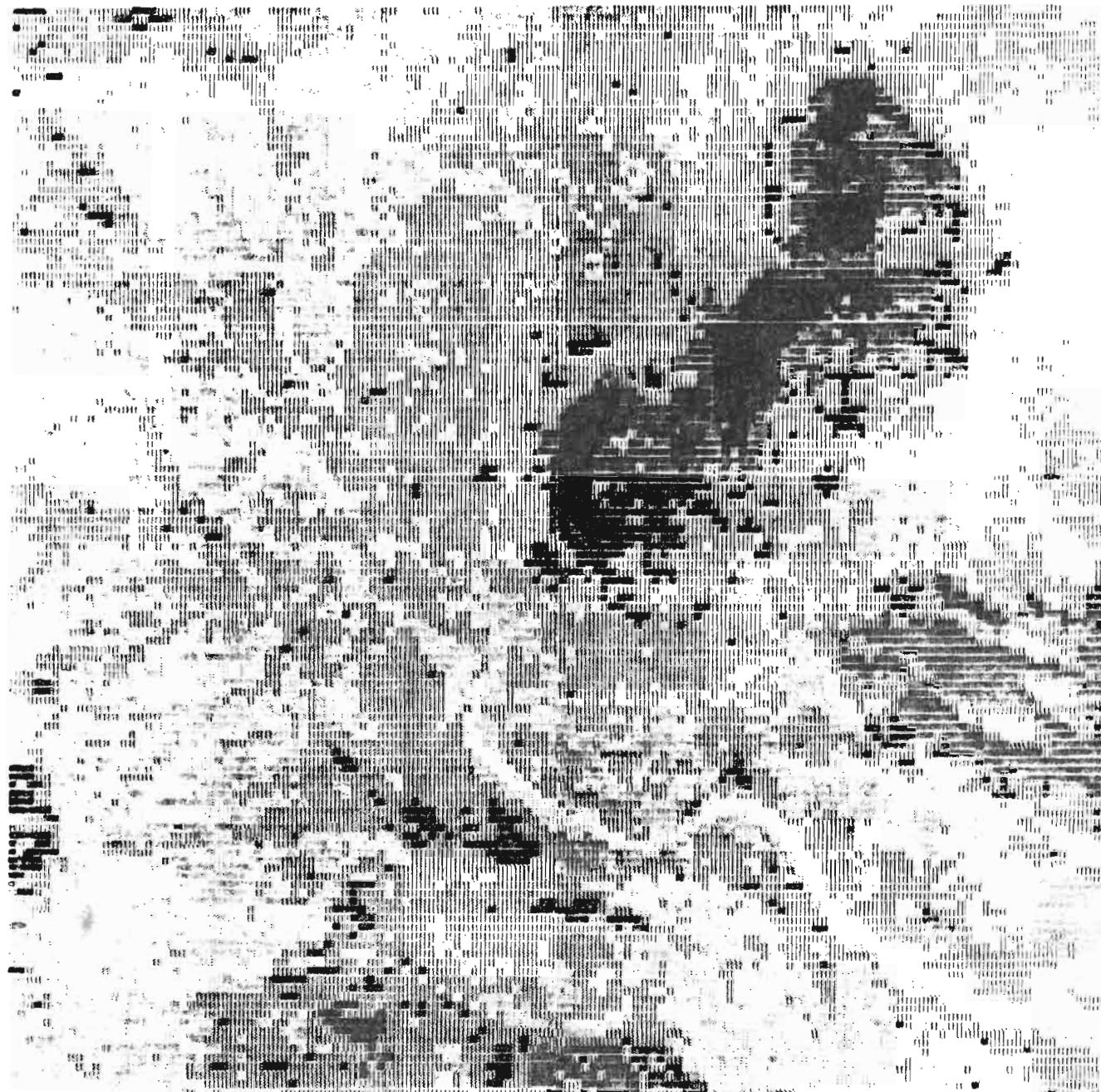
d.2.2 VISU

A l'aide de ce programme, nous avons pu visualiser rapidement sur écran, à l'incrément 2 l'image de nos 3 sous-zones sur les deux canaux 5 et 6. Le nombre de segments sur chaque canal a été de quatre, et la segmentation s'est faite en tenant compte de l'histogramme obtenu sur PERICOLOR 1000. Rappelons que dans le cadre du logiciel TIMOR, le programme HISTO permet d'obtenir l'histogramme de chacun des canaux d'une scène ou d'une portion de scène.

d.2.3 SEUIL

La mise en œuvre de ce programme a été précédée par un autochargement de 20 caractères sur l'imprimante, par le biais d'un programme basic, après application d'une série de modifications qui ont eu pour but essentiel de donner à ces caractères une forme qui se rapproche du carré, de manière à ren-

.../...



LE CANAL XSO EST DECOUPE EN 5 SEGMENTS
CODES DE LA FACON SUIVANTE :

SEGMENT : 1	CODE : ■	BORNE INF. : 0	BORNE SUP. : 55
SEGMENT : 2	CODE : ■	BORNE INF. : 56	BORNE SUP. : 69
SEGMENT : 3	CODE : ■■	BORNE INF. : 70	BORNE SUP. : 81
SEGMENT : 4	CODE : ■■■	BORNE INF. : 82	BORNE SUP. : 89
SEGMENT : 5	CODE : ■■■■	BORNE INF. : 90	BORNE SUP. : 255

INCREMENT 2

Figure 7a : Visualisation sur imprimante après seuillage du canal xss de la sous-zone d'étude H. KALIAO; lignes 901-1156; colonnes 1001-1256.

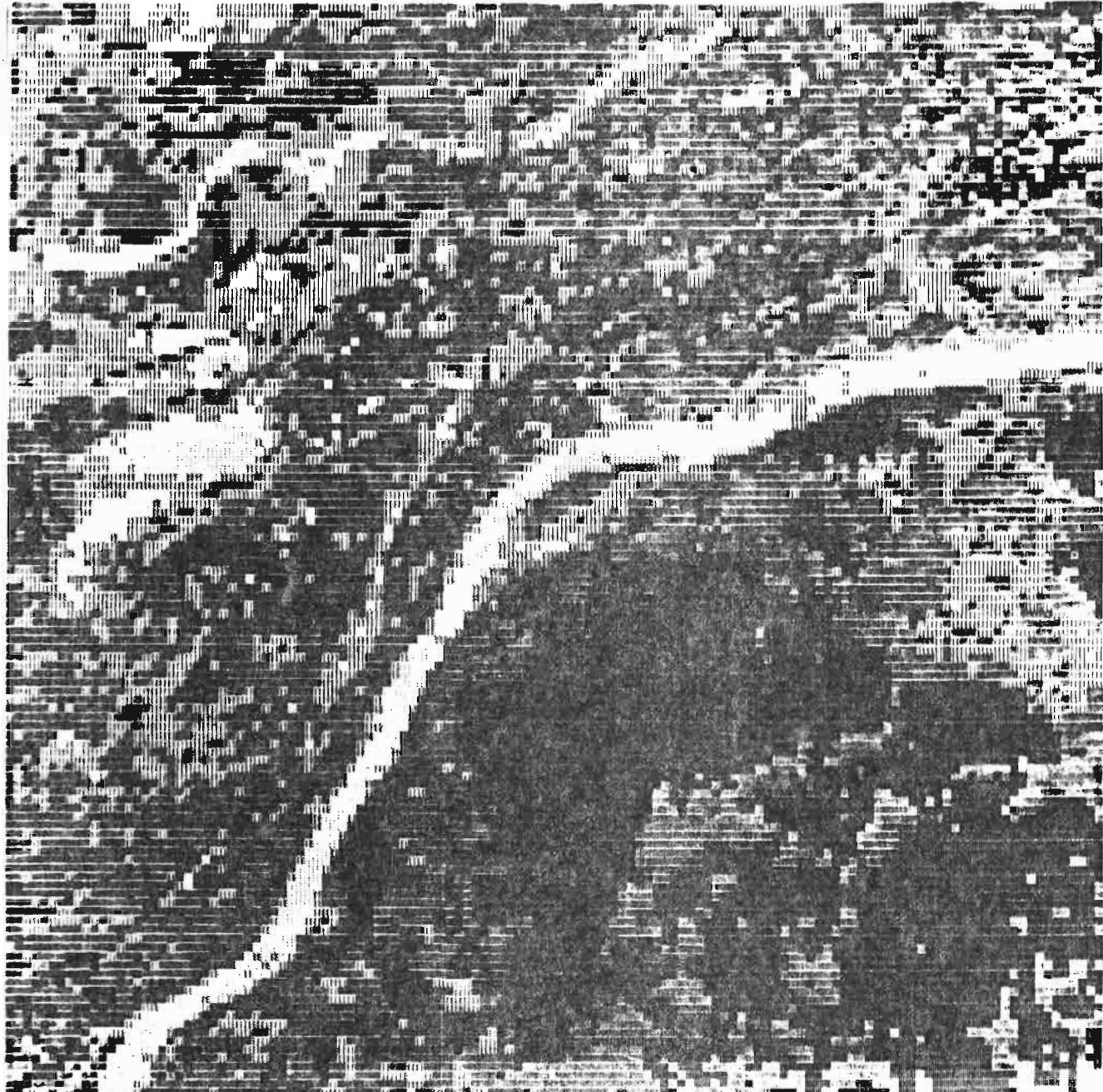


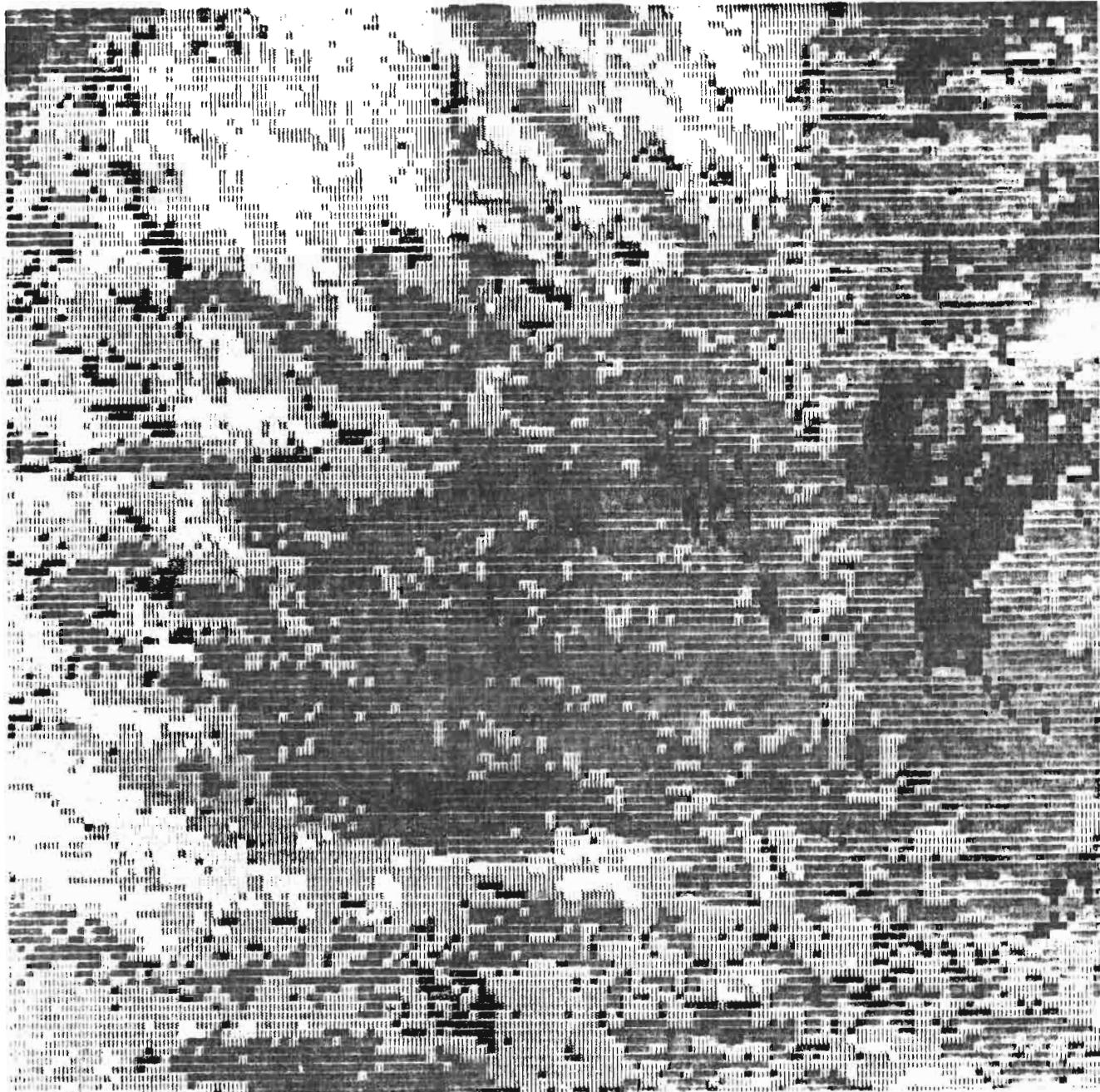
Figure 7 b

LE CANAL X50 EST DECOUPE EN 4 SEGMENTS
CODES DE LA FACON SUIVANTE :

SEGMENT : 1 CODE : ■	BORNE INF. : 0 BORNE SUP. : 70
SEGMENT : 2 CODE : □	BORNE INF. : 71 BORNE SUP. : 82
SEGMENT : 3 CODE : ▨	BORNE INF. : 83 BORNE SUP. : 92
SEGMENT : 4 CODE : ▧	BORNE INF. : 93 BORNE SUP. : 255

INCREMENT 2

Figure 7 b : Visualisation sur imprimante après seuillage du canal X51 de la sous-zone d'étude MAROUA ; lignes 1031-1286 ; colonnes 1501 - 1756.



LE CANAL XSO EST DECOUPE EN 4 SEGMENTS
CODES DE LA FACON SUIVANTE :

SEGMENT : 1	CODE : ■	BORNE INF. : 0	BORNE SUP. : 67
SEGMENT : 2	CODE : □	BORNE INF. : 68	BORNE SUP. : 80
SEGMENT : 3	CODE : ▨	BORNE INF. : 81	BORNE SUP. : 90
SEGMENT : 4	CODE : ▧	BORNE INF. : 91	BORNE SUP. : 255

INCREMENT 2

Figure 7c : Visualisation sur imprimante après seuillage du canal X51 de la sous-zone d'étude M.MOTORSOLO; lignes 701-956 ; colonnes 1251-1506.

dre l'échelle semblable en abscisse comme en ordonnées. Mais si les tentatives n'ont pas été tout à fait concluantes, les résultats obtenus ont été considérés comme satisfaisants.

La visualisation sur imprimante de l'image du canal XS₁ a été obtenue par seuillage pour nos 3 sous-zones. Ce seuillage a individualisé 5 segments dans la sous-zone HOSSERE KALIAO, et 4 segments dans chacun des deux autres sous-zones d'étude (Fig. 7).

Il convient de signaler que le programme SEUIL a été appliqué aux résultats du programme TRIBOR assemblés sous forme de données d'un seul canal, les bornes étant celles des lots codés formés. La visualisation sur imprimante de ces données (Fig. 8) montre bien ce que nous avons établi à partir de la comptabilisation des pixels mis en jeu dans le cadre du programme TRIBOR, à savoir, un nombre très important de plages blanches, ce qui n'est pas de nature à permettre la réalisation d'une carte thématique fiable. Nos réflexions sur le programme TRIBOR et ses résultats trouvent ainsi leur pleine illustration, et les conclusions qui en sont issues garantissent leur validité.

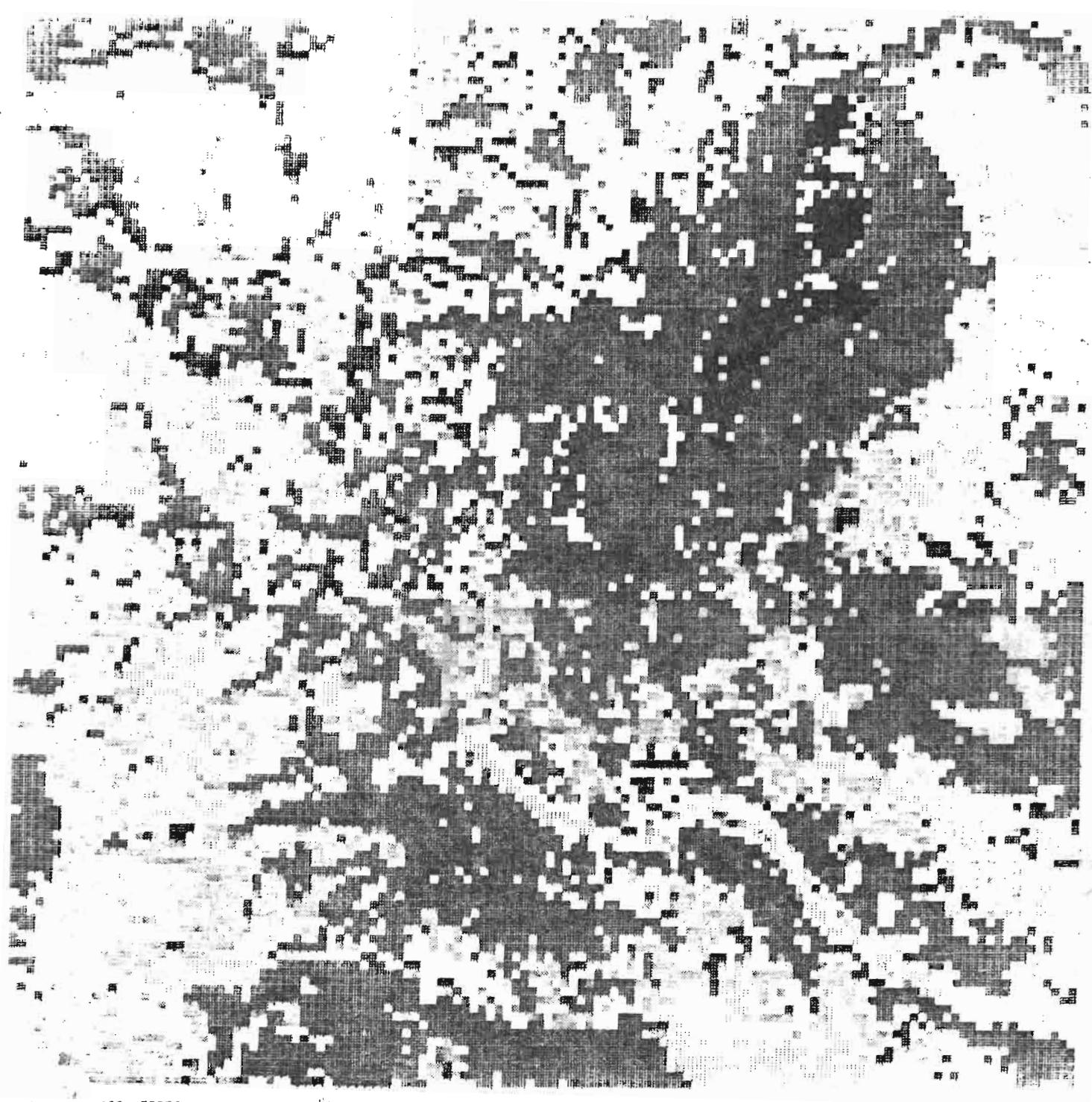
d.2.4 HISBID

Ce programme nous a permis d'obtenir l'histogramme bidimensionnel des canaux 5 et 6 (XS₂ et XS₃) sur la totalité de la scène de chacune de nos trois sous-zones d'étude (Fig. 9). La similitude de ces histogrammes avec ceux obtenus à l'aide du PERICOLOR 1000 se passe de commentaire.

d.3 STEPPE

Ce logiciel comporte lui aussi une vingtaine de programmes plus ou moins interdépendants. Il est lié au logiciel précédent par le biais des programmes DINDON et EXTRA, le premier lui étant propre, et le second relevant du logiciel

.../...



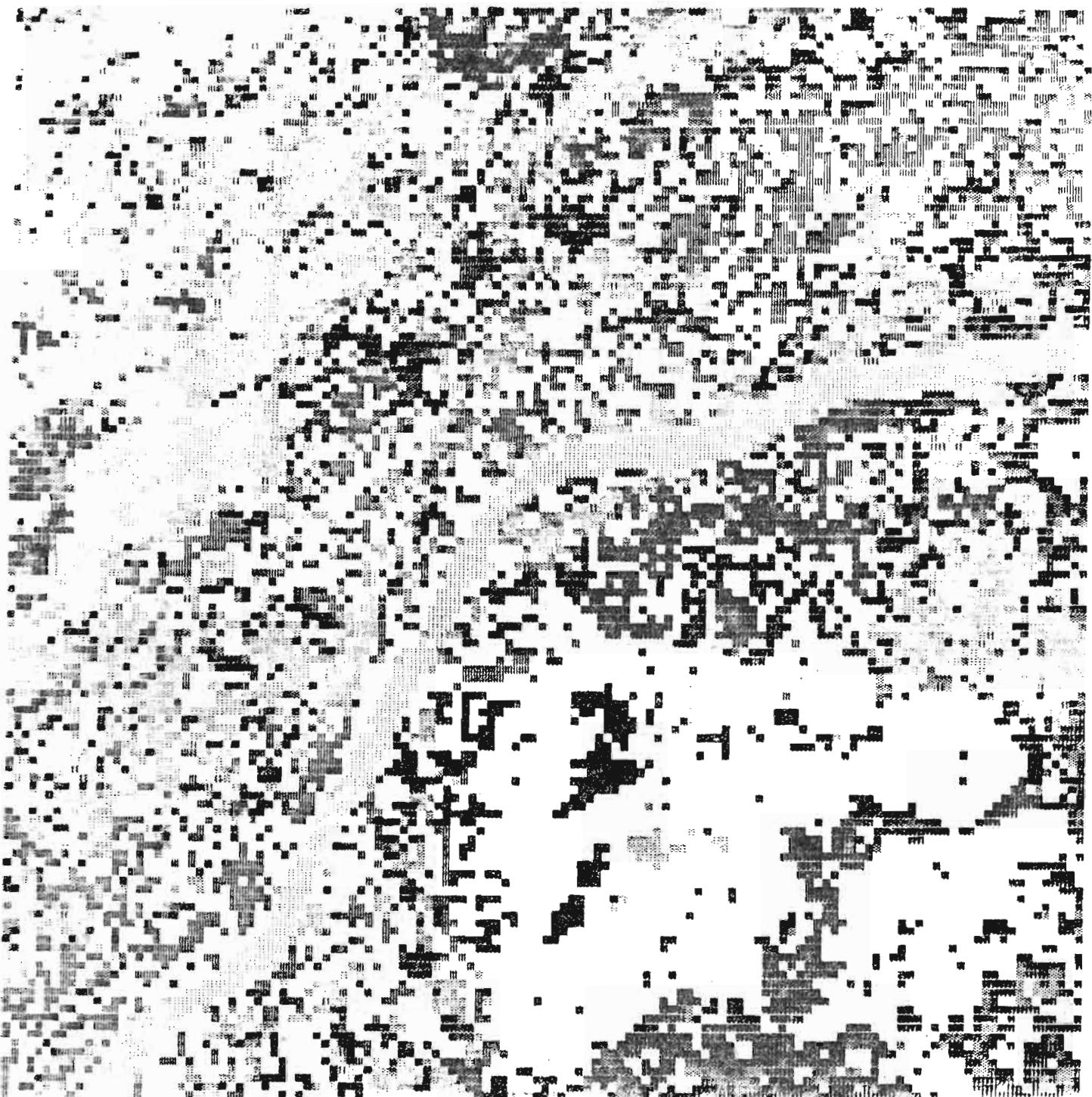
400 METRES

LE CANAL XS* EST DECOUPE EN 6 SEGMENTS
CODES DE LA FACON SUIVANTE :

SEGMENT : 1	CODE : ☐	BORNE INF. :	1	BORNE SUP. :	1	:	sables
SEGMENT : 2	CODE : ☷	BORNE INF. :	2	BORNE SUP. :	2	:	sols peu évolués
SEGMENT : 3	CODE : ☸	BORNE INF. :	4	BORNE SUP. :	4	:	végétation
SEGMENT : 4	CODE : ☹	BORNE INF. :	8	BORNE SUP. :	8	:	granite
SEGMENT : 5	CODE : ☻	BORNE INF. :	12	BORNE SUP. :	12	:	granite+végétation
SEGMENT : 6	CODE : ☼	BORNE INF. :	16	BORNE SUP. :	16	:	ombre

INCREMENT 2

Figure 8a: Visualisation sur imprimante après assemblage monocanal des données du programme TRIBOR sur la sous-zone d'étude H. KALIAO; lignes 1-256 ; colonnes 1-256

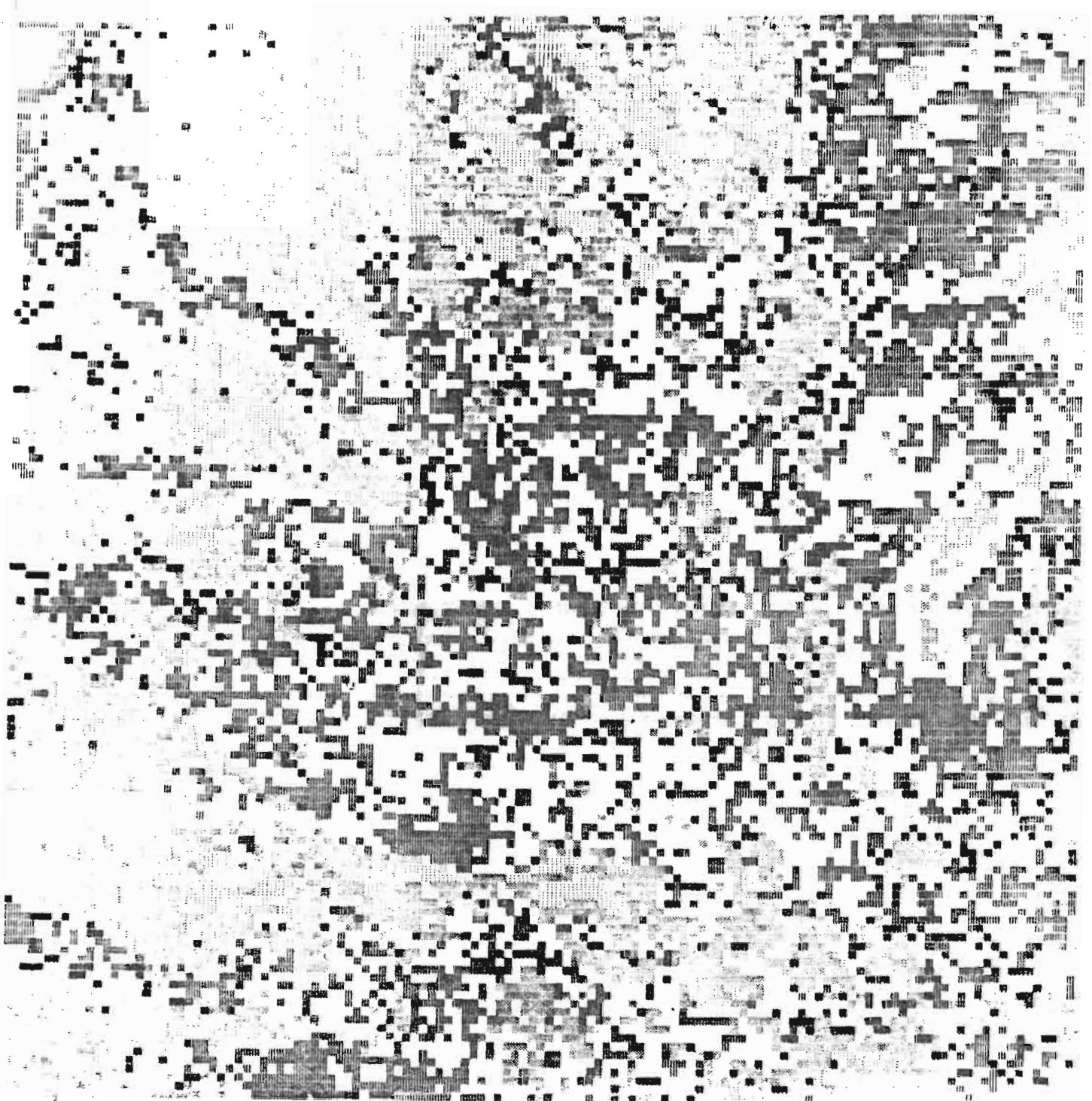


LE CANAL XS* EST DECOUPE EN 9 SEGMENTS
CODES DE LA FACON SUIVANTE :

SEGMENT : 1	CODE : ::	BORNE INF. : 1	BORNE SUP. : 1	: sables et alluvions
SEGMENT : 2	CODE : ::	BORNE INF. : 2	BORNE SUP. : 2	: sols peu évolués
SEGMENT : 3	CODE : ::	BORNE INF. : 4	BORNE SUP. : 4	: bâti urbain
SEGMENT : 4	CODE : ::	BORNE INF. : 8	BORNE SUP. : 8	: rocher nu
SEGMENT : 5	CODE : ::	BORNE INF. : 16	BORNE SUP. : 16	: sols en début d'évolution
SEGMENT : 6	CODE : ::	BORNE INF. : 18	BORNE SUP. : 18	: sols en début d'évol°+peu évolués
SEGMENT : 7	CODE : ::	BORNE INF. : 20	BORNE SUP. : 20	: bâti urbain+sols en début d'évol°
SEGMENT : 8	CODE : ::	BORNE INF. : 32	BORNE SUP. : 32	: végétation
SEGMENT : 9	CODE : ::	BORNE INF. : 64	BORNE SUP. : 64	: ombre.

INCREMENT 2

Figure 8b : Visualisation surimprimante après assemblage monocanal des données du programme TRIBOR sur la sous-zone d'étude MAROUA ; lignes 1-256; colonnes 1-256.



LE CANAL XSO EST DECOUPE EN 6 SEGMENTS
CODES DE LA FACON SUIVANTE :

SEGMENT : 1	CODE : ::	BORNE INF. : 1	BORNE SUP. : 1	sables et alluvions
SEGMENT : 2	CODE : ■■	BORNE INF. : 2	BORNE SUP. : 2	sols en début d'évolution
SEGMENT : 3	CODE : ■■■	BORNE INF. : 4	BORNE SUP. : 4	sols peu évolués
SEGMENT : 4	CODE : ■■■■	BORNE INF. : 8	BORNE SUP. : 8	rocher nu
SEGMENT : 5	CODE : ■■■■■	BORNE INF. : 16	BORNE SUP. : 16	végétation sur vertisols
SEGMENT : 6	CODE : ■■■■■■	BORNE INF. : 32	BORNE SUP. : 32	vertisols dénudés.

INCREMENT 2

Figure 8c : Visualisation sur imprimante après assemblage monocanal des données du programme TRIBOR sur la sous-zone d'étude M.MOTORSOLO; lignes 1-256 ; colonnes 1-256.

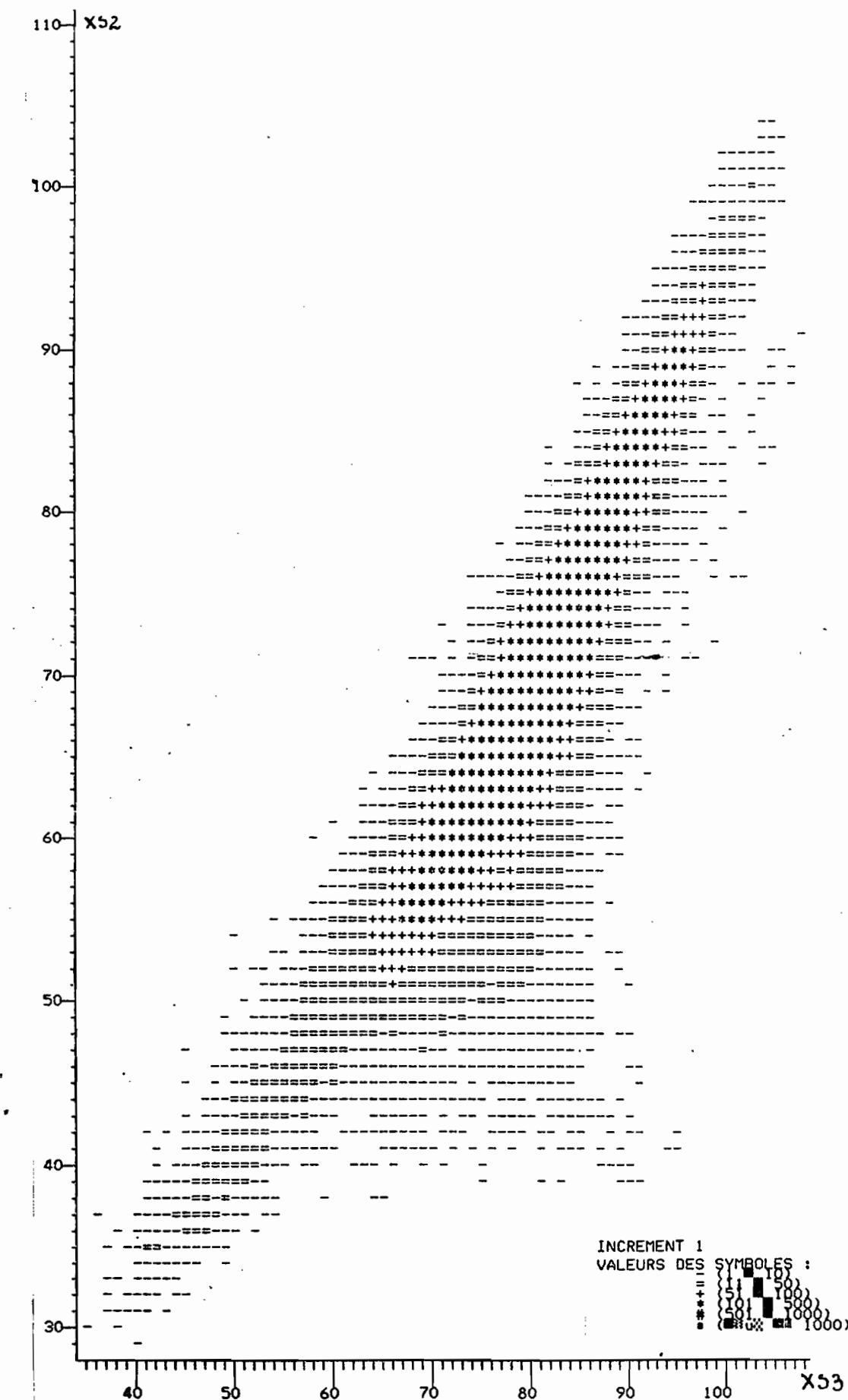


Figure 9a : Histogramme bidimensionnel de la sous-zone HOSSERE KALIAO visualisé sur imprimante pour les canaux X52 et X53, programme HISBID du logiciel TIMOR..

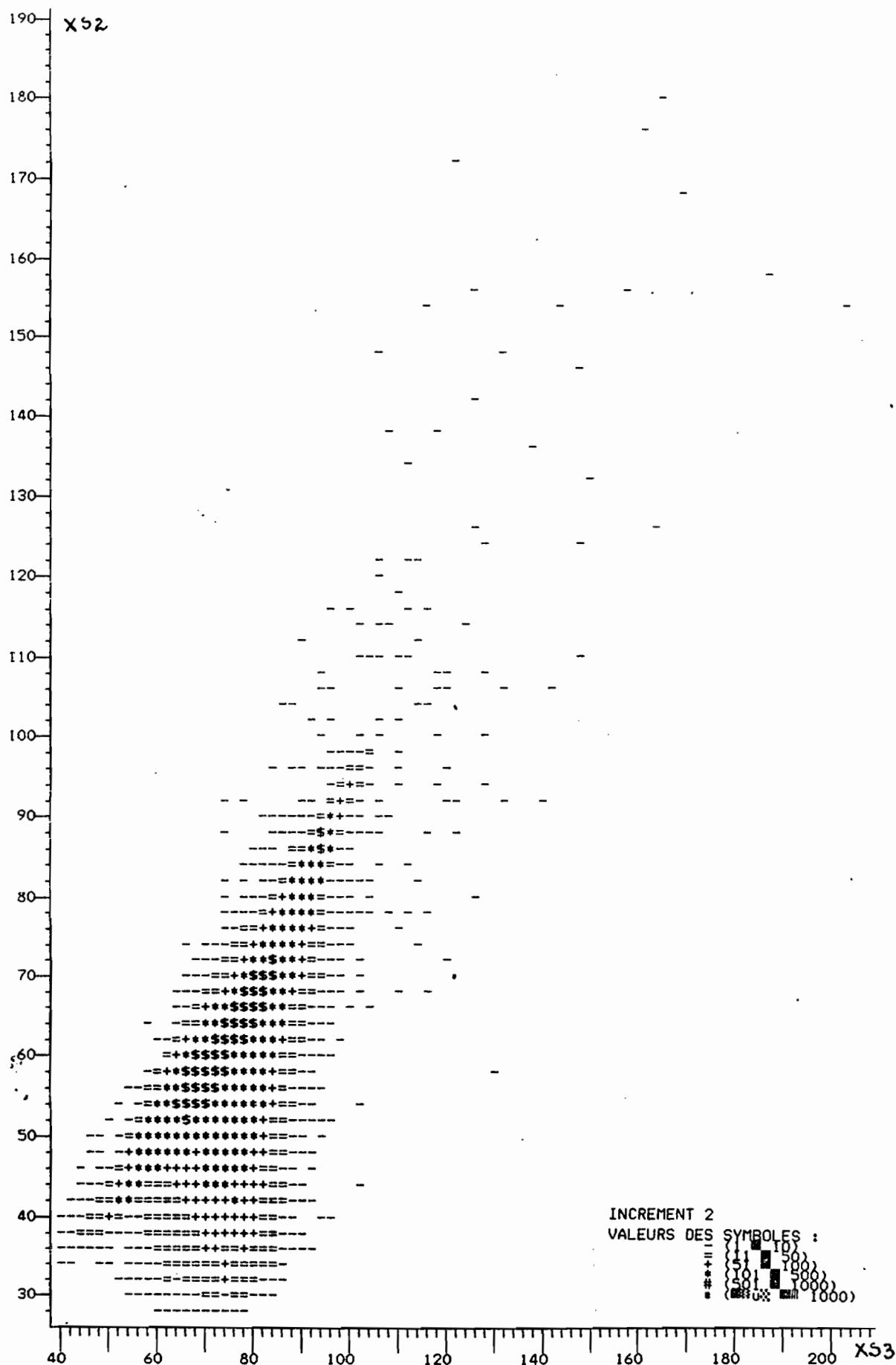


Figure 9b : Histogramme bidimensionnel de la sous-zone MAROUA visualisé sur imprimante pour les canaux XS2 et XS3, programme HISBID du logiciel TIMOR..

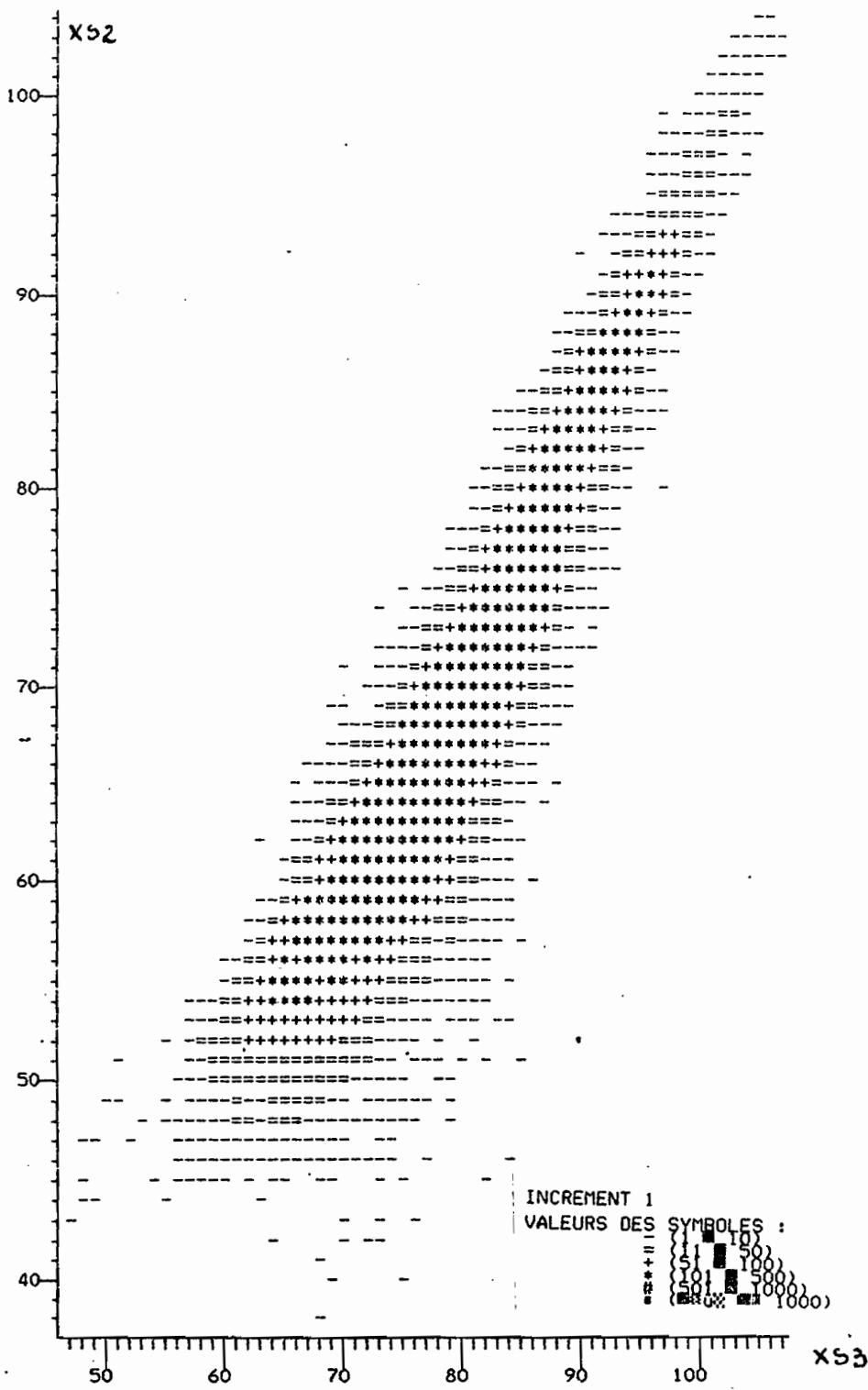


Figure 9c : Histogramme bidimensionnel de la sous-zone MAYO MOTORSOLO visualisé sur imprimante pour les canaux X52 et X53, programme HISBID du logiciel TIMOR. --

TIMOR. Dans le cadre de ce logiciel les programmes sur lesquels nous nous sommes principalement exercés sont : DINDON, EXTRA, AVATAR, MOVAR, STELA, HIBAV. Il convient de signaler que ce logiciel s'appliquant exclusivement sur les parcelles d'entraînement, il a fallu au préalable redéfinir les coordonnées en lignes et colonnes de ces parcelles d'entraînement (Tableau 6). Le recours à la console PERICOLOR 1000 s'est révélé déterminant à cet effet. Nous avons été obligés de modifier la forme de nos parcelles d'entraînement en les rendant toutes carrées pour les facilités de manipulation.

d.3.1 DINDON

Ce programme crée un fichier de Travail (FITRDI) comportant le nombre de classes a priori, le nombre de parcelles par classe, le nom et les coordonnées de ces parcelles. Ces indications sont fournies au cours du déroulement du programme, avec possibilités de correction en cas d'erreur de manipulation. A la fin du programme, les données ainsi introduites sont imprimées.

d.3.2 EXTRA

C'est en fait un programme du logiciel TIMOR qui s'applique au fichier de Travail du programme DINDON (FITRDI) pour former trois fichiers séquentiels : le fichier de Travail du programme EXTRA (FITREX), le fichier créé par le programme EXTRA (FICREX) et un autre fichier de Travail (FITRFA), susceptible de permettre d'effectuer des analyses discriminantes. Le but de ce programme est d'assurer l'Extraction des parcelles d'entraînement quadrangulaires aux fins d'études statistiques.

d.3.3 AVATAR

C'est un programme utilisé à l'aval du programme EXTRA qui permet d'Ajouter des Variables au Tableau de Réflectance du

.../...

Sous-zone → d'étude	HOSSÈRE KALIAO				MAROUA				MAYO MOTORSOLO			
n° de la parcelle d'entraînement	Lignes		Colonnes		Lignes		Colonnes		Lignes		Colonnes	
1	928	933	1078	1083	1130	1135	1534	1539	729	734	1349	1354
2	1084	1089	1102	1107	1113	1118	1509	1514	718	721	1260	1263
3	1082	1087	1155	1160	1131	1136	1639	1644	939	943	1482	1486
4	1038	1043	1207	1212	1084	1089	1575	1580	903	907	1384	1388
5	985	990	1168	1173	1093	1098	1503	1508	888	893	1268	1273
6	1102	1107	1101	1106	1115	1120	1613	1618	845	850	1255	1260
7	1114	1119	1050	1055	1092	1097	1640	1645	928	933	1369	1374
8	978	983	1132	1137	1075	1080	1553	1558	818	823	1474	1479
9	966	971	1074	1079	1115	1120	1576	1581	802	807	1253	1258
10	1091	1095	1178	1182	1068	1073	1733	1738	872	877	1473	1478
11	1055	1060	1227	1232	1054	1059	1654	1659	814	819	1415	1420
12	1016	1021	1164	1169	1092	1097	1512	1517	786	791	1487	1492
13	1130	1135	1143	1148	1079	1084	1691	1696	772	777	1440	1445
14	1000	1005	1228	1233	1047	1052	1711	1716	878	883	1340	1345
15	1082	1087	1198	1203	1052	1055	1737	1740	943	948	1318	1323
16	1139	1144	1152	1167	1206	1211	1638	1643	856	861	1274	1279
17	970	975	1159	1164	1223	1228	1653	1658	927	932	1415	1420
18	1068	1073	1150	1155	1170	1175	1668	1673	921	925	1336	1340
19					1096	1101	1713	1718	864	869	1373	1378
20					1224	1228	1701	1705	820	825	1342	1347
21					1276	1281	1741	1746				
22					1177	1182	1714	1719				

Tableau 6 : Coordonnées en lignes et colonnes des parcelles d'entraînement homéomorphes des trois sous-zones d'étude.

FICREX. Il met ainsi en œuvre le FICRAV (Fichier créé par le programme AVATAR) et le FIVAR (Fichier des Variables). Le nombre de variables supplémentaires que l'on peut ainsi introduire peut atteindre 20.

d.3.4 MOVAR

Ce programme utilisé à l'aval du programme AVATAR, met en œuvre deux fichiers supplémentaires, le FICRMV (Fichier créé par le programme MOVAR) et le FITRMV (Fichier de travail du programme MOVAR), pour la détermination de la Moyenne des Valeurs de Réflectance de chaque parcelle d'entraînement, qui se voit ainsi réduite à un pixel. Les résultats obtenus (Tableau 7) ont permis des comparaisons utiles avec ceux obtenus du PERICOLOR 1000 pour les mêmes parcelles d'entraînement (Tableau 8).

d.3.5 STELA

Ce programme, utilisé à l'aval du programme AVATAR fournit les données statistiques élémentaires (nombre de pixels, moyenne, écart-type, coefficient de corrélation) des parcelles d'entraînement regroupées en classes. Ce programme a été exécuté en utilisant comme variables les canaux 5 et 6 (Tableau 9).

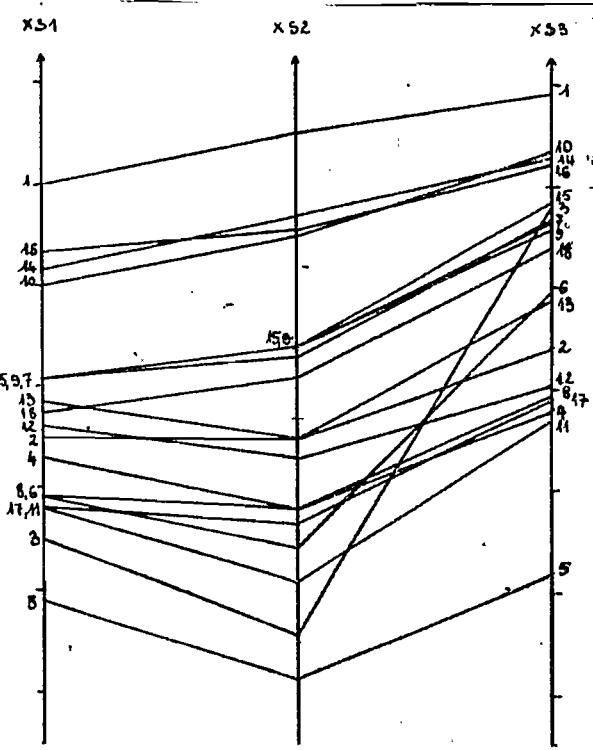
d.3.6 HIBAV

Ce programme utilisé lui aussi à l'aval du programme AVATAR permet l'impression des Histogrammes Bidimensionnels de deux variables des parcelles d'entraînement groupées en classes (Fig. 10). Les variables utilisées dans l'exécution de ce programme sont les canaux 5 et 6. On peut noter qu'il s'agit d'un programme qui complète, en l'illustrant, le programme STELA.

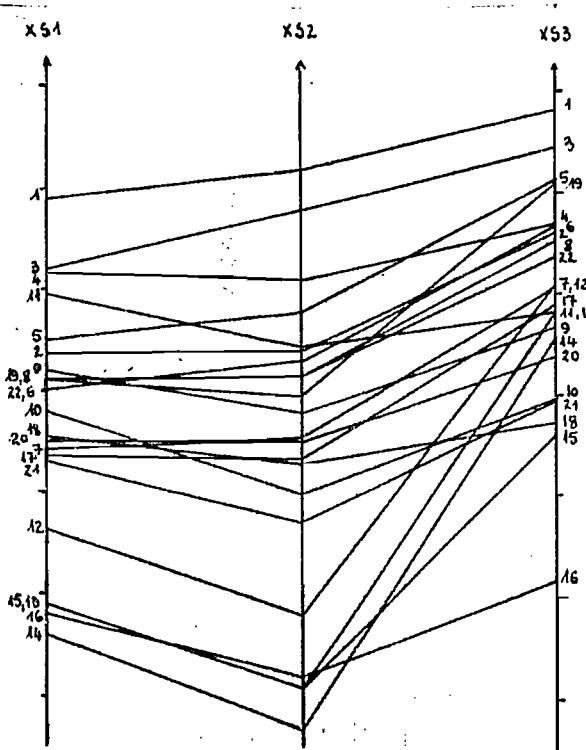
.../...

Sous-zone → d'étude	HOSSERE KALIAO					MAROUA				MAYO MOTORSOLO			
n° de la parcelle d'entraînement	nb de pixels	Canal 1	Canal 2	Canal 3	nb de pixels	Canal 1	Canal 2	Canal 3	nb de pixels	Canal 1	Canal 2	Canal 3	
1	1	90,22	94,94	99,22	1	88,83	91,83	98,00	1	76,97	77,31	83,89	
2	1	64,75	65,31	73,72	1	73,53	73,94	86,11	1	68,00	70,75	86,75	
3	1	54,81	45,97	87,64	1	82,19	88,03	94,44	1	63,44	59,04	77,40	
4	1	63,33	58,22	67,86	1	81,69	81,31	87,19	1	87,56	90,96	96,68	
5	1	49,11	41,53	51,78	1	74,89	77,72	91,36	1	82,86	87,08	93,47	
6	1	59,28	54,42	79,58	1	69,83	73,19	86,42	1	76,33	84,17	91,28	
7	1	70,72	73,03	86,67	1	64,39	65,42	80,25	1	71,39	71,92	83,19	
8	1	59,08	58,33	69,44	1	71,08	71,42	85,22	1	56,17	51,00	61,53	
9	1	71,03	74,03	85,89	1	72,06	67,94	76,61	1	66,69	67,89	73,61	
10	1	80,08	84,92	93,40	1	67,67	60,19	69,42	1	64,06	58,31	74,56	
11	1	58,14	51,11	66,75	1	79,42	74,25	78,33	1	56,64	49,08	65,03	
12	1	66,36	63,06	70,50	1	56,28	47,94	80,44	1	68,64	68,50	77,75	
13	1	68,61	65,08	79,39	1	48,94	40,78	77,81	1	73,47	73,08	82,31	
14	1	81,56	86,97	92,94	1	46,06	36,92	75,33	1	63,61	58,81	66,64	
15	1	71,53	74,00	88,53	1	48,81	41,69	66,00	1	60,94	54,00	72,00	
16	1	83,36	85,50	92,61	1	48,19	42,00	51,58	1	71,86	76,11	86,33	
17	1	57,78	56,64	69,08	1	63,67	63,33	79,28	1	81,00	80,92	87,33	
18	1	67,56	70,81	84,06	1	65,56	62,94	67,39	1	56,76	50,88	74,96	
19					1	71,33	69,50	90,86	1	62,14	60,69	76,22	
20					1	64,84	65,28	73,64	1	61,61	55,61	72,00	
21					1	62,81	57,06	69,28					
22					1	70,19	72,92	83,67					

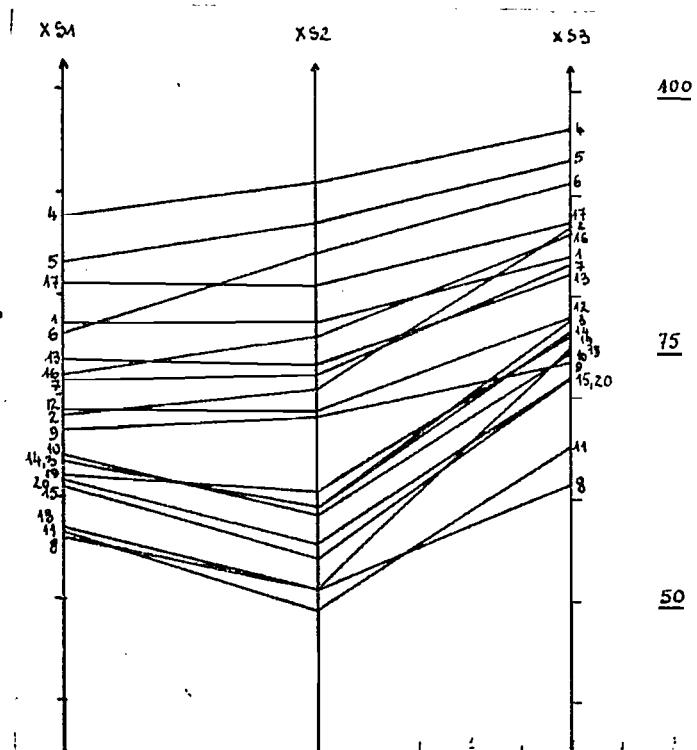
Tableau 7 : Moyennes radiométriques des parcelles d'entraînement ramenées à un seul pixel des trois sous-zones d'étude. (Résumé des données obtenues sur micro ordinateur : programme MOVAR de STEPPE).



a: H. KALIAO



b: MAROUA



c: M. MOTORSOLO

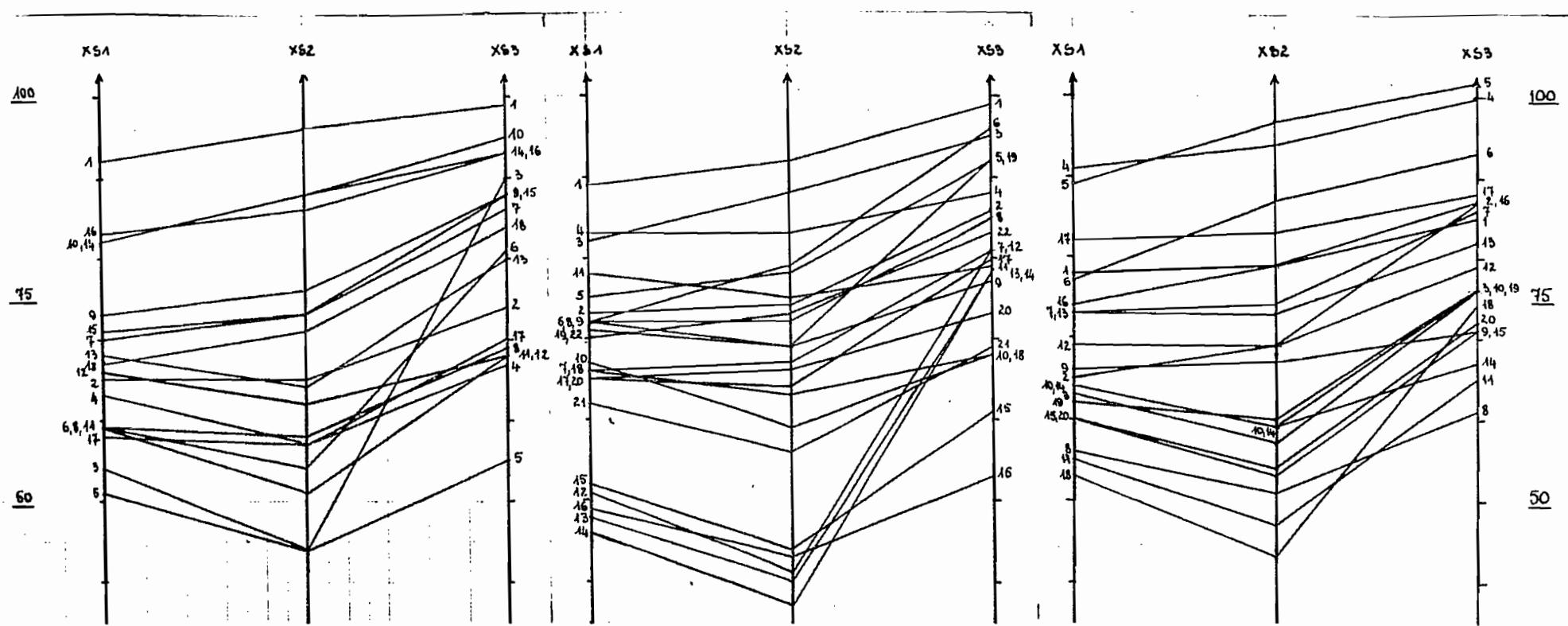
Figure : Serpents linéarisés des parcelles d'entraînement homéomorphes des sous-zones d'étude.
(données statistiques obtenues sur micro-ordinateur, logiciel STEPPE, programme MOVAR).

Sous-zone → d'étude	HQSSERE KALIAO					MAROUA				MAYO MOTORSOLO		
n° de la parcelle d'entraînement	nb de pixels	Canal 1	Canal 2	Canal 3	nb de pixels	Canal 1	Canal 2	Canal 3	nb de pixels	Canal 1	Canal 2	Canal 3
1	16	92	96	99	16	89	92	99	16	78	79	85
2	16	65	65	74	16	73	74	86	4	65	69	87
3	16	54	44	90	16	82	88	95	9	63	57	76
4	16	63	57	67	16	83	83	88	9	91	94	100
5	16	51	44	55	16	75	78	92	16	89	97	102
6	16	59	54	81	16	72	79	91	16	77	87	93
7	16	70	73	86	16	66	67	81	16	73	74	86
8	16	59	58	69	16	72	72	85	16	56	51	61
9	16	73	76	88	16	72	69	77	16	66	67	71
10	9	82	88	95	16	67	59	68	16	64	59	76
11	16	59	51	68	16	78	75	79	16	55	47	65
12	16	66	62	68	16	51	41	81	16	69	69	79
13	16	68	64	80	16	48	40	78	16	73	73	82
14	16	82	88	93	16	46	37	78	16	64	59	67
15	16	71	73	88	4	52	44	61	16	60	53	71
16	16	83	86	93	16	49	43	53	16	74	79	87
17	16	58	57	70	16	65	64	80	16	82	83	88
18	16	67	71	84	16	66	63	68	9	53	43	74
19					16	71	69	92	16	62	60	76
20					9	65	66	73	16	60	64	72
21					16	62	56	69				
22					16	70	73	83				

Tableau 8 : Surface et moyennes radiométriques des parcelles d'entraînement des trois sous-zones d'étude.
(Résumé des données obtenues du PERICOLOR 1000 sur parcelles homéomorphes).

Sous-zone d'étude	n°s des parcelles d'entraînement regroupées en classe	Thèmes correspondants	Nb de pixels	Moyennes radiométriques		Coefficient de corrélation
				Canal 2	Canal 3	
HOSSERE KALIAO	1, 10, 14, 16	alluvions et pédiment sableux.	133	88,35	94,64	0,922
	7, 9, 15, 18	sols minéraux bruts.	144	72,97	86,28	0,654
	3, 6	végétation	72	50,19	83,61	-0,448
	2, 4, 8, 11, 12, 13, 17	granite, pédiment granitique.	252	59,68	70,96	0,789
	5	ombre sur granite	36	41,53	51,78	0,872
MAROUA	1, 3, 4	alluvions et sols peu évolués	108	87,06	93,21	0,976
	2, 5, 6, 8, 22	sols minéraux peu évolués	180	73,84	86,56	0,853
	9, 10, 11	bâti urbain et sols peu évolués	108	67,46	74,79	0,706
	18, 20, 21	rocher nu et sols en début d'évolution	97	61,36	69,70	0,437
	7, 17, (19)	rocher nu et (végétation	108	66,08	83,46	0,825
MAYO	12, 13, 14, 15	végétation	124	41,85	76,33	0,167
	16	ombre sur rocher nu	36	42,00	51,58	0,876
	4, 5, 6	alluvions sableuses	97	87,00	93,48	0,967
	2, 16	pédiment sableux et vertisols	52	74,46	86,46	0,620
	1, 7, 13, 17	pédiment granitique	144	75,81	84,18	0,885
MOTORSOLO	9, 12	vertisols	72	68,19	75,68	0,826
	3, 10, (14), 15, 18,(19),20	végétation et (vertisols)	230	56,93	73,13	0,238
	(8), 11	(vertisols) et végétation	72	50,04	63,28	0,242

Tableau 9 : Données statistiques sur parcelles d'entraînement regroupées en classes (programme STELA de STEPPE sur micro ordinateur). N.B. : Corrélation entre données radiométriques des canaux 2 et 3, très bonne pour les alluvions, bonne pour l'ombre et les roches du socle, assez bonne pour les sols minéraux peu évolués, mauvaise pour la végétation.-



a : H. KALIAO

b : MAROUA

c : M. MOTORSOLO

Figure : Serpents linéarisés des parcelles d'entraînement homéomorphes des sous-zones d'étude.
 (données statistiques obtenues du PERICOLOR 1000).

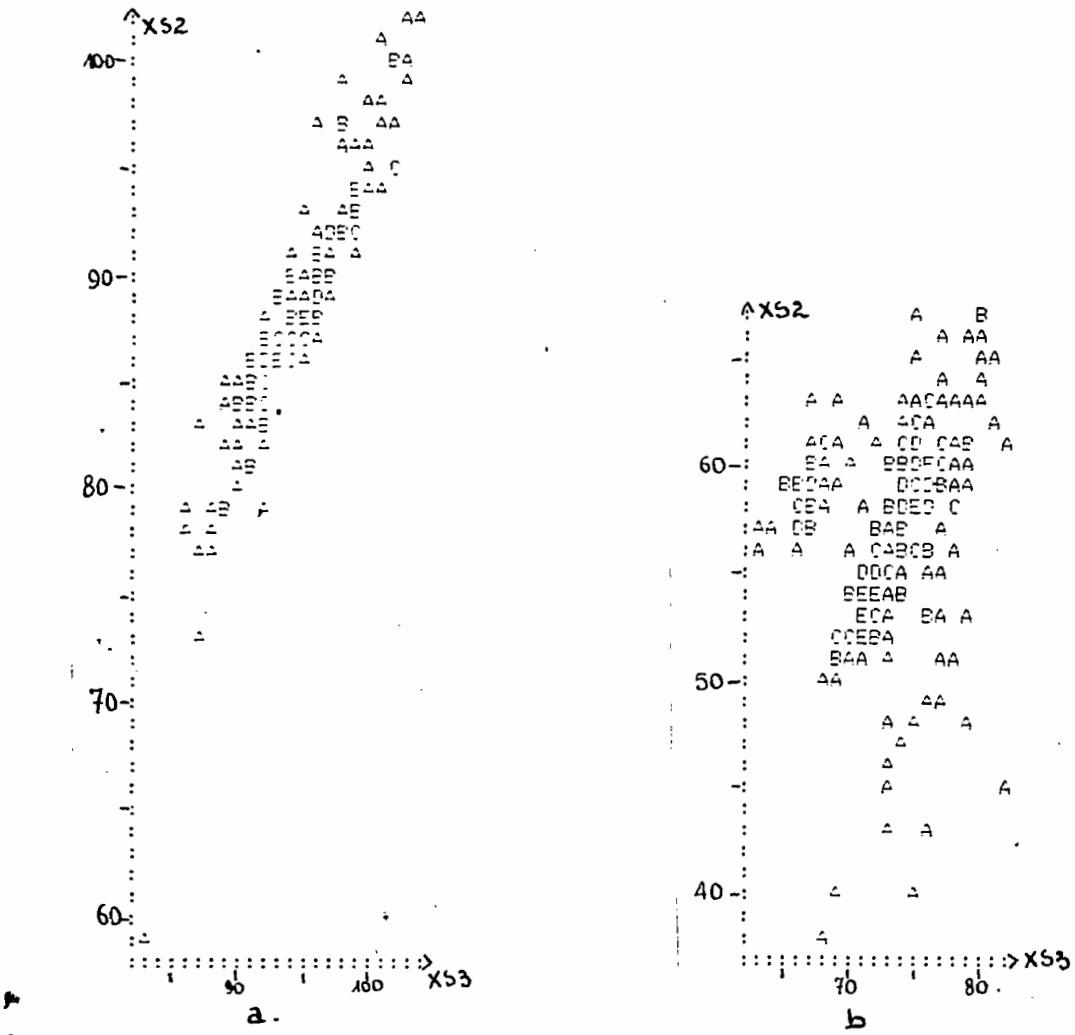


Figure 10: Deux exemples d'histogrammes bidimensionnels de parcelles d'entraînement regroupées en classes, programme HIBAV du logiciel STEPPE.-

a : sous-zone HOSSERE KALIAO , parcelles n°s 1, 10, 14, 16;
classe: sables i.e. pédiment sableux et alluvions sableuses
des cours d'eau... : 133 pixels

b : sous-zone MAYO MOTORSOLO, parcelles n°s 3, 10, 14, 15, 18, 19, 20
classe: végétation i.e. végétation seule ou associée au pédiment
sableux ou aux vertisol... : 230 pixels

N.B.: valeur des symboles : A: 1 pixel; B: 2 pixels ; C: 3 pixels ; D: 4 pixels, etc...

4° - Bilan

Le premier constat que l'on peut faire, c'est que les activités menées sur la scène 087-329 du 15 Janvier 1987 à l'aide de la console PERICOLOR 1000 et d'un micro ordinateur compatible ont été nombreuses et aussi intéressantes les unes que les autres. Toutes les possibilités de ces équipements n'ont pas été explorées de façon extensive, faute de temps, et l'acquisition de la maîtrise de la manipulation de ces équipements n'est possible qu'au bout d'une série d'exercices répétés. C'est le lieu pour nous d'exprimer notre sentiment de gratitude à l'endroit de tous nos encadreurs, et en particulier M. M. RAKOTO dont la patience et la disponibilité à notre égard ont été on ne peut plus exemplaires. Le but principal des travaux que nous avons effectués était de tester les possibilités des logiciels mis au point pour le traitement par micro ordinateur des images satellitaires, et de comparer les résultats obtenus par ce biais à ceux livrés par une instrumentation un peu plus élaborée en l'occurrence la console du PERICOLOR 1000. Ces tests ont eu en prime l'examen des possibilités d'implantation des logiciels TIMOR et STEPPE au sein des micro ordinateurs disponibles à l'I.R.G.M. au Cameroun en vue de procéder sur place au traitement rapide et convenable des données de l'imagerie satellitaire. Disons tout de suite que la scène que nous avons utilisée s'est prêtée admirablement à l'exécution du programme d'exploration des méthodologies transposables au Cameroun à frais raisonnables. Si la possession d'un PERICOLOR, dont le plus grand avantage à notre sens est de permettre une visualisation polychrome sur écran, nécessite un effort plus grand dans le domaine de l'acquisition des équipements, l'existence de micro ordinateurs IBM à l'I.R.G.M. milite en faveur de l'implantation des logiciels TIMOR et STEPPE. Il en est de même de la mise en œuvre de ces logiciels qui, ainsi que nous pouvons le constater en comparant les images, les données numériques et les figures qui en sont issues à celles livrées par

.../...

ou déduites de la console PERICOLOR 1000, est d'un intérêt déterminant pour ceux qui recherchent réellement les possibilités de procéder par eux mêmes, sans avoir besoin d'effectuer de longs séjours à l'étranger, au traitement des données de l'imagerie satellitaire.

CONCLUSION GENERALE

Le stage de Télédétection que nous avons suivi du 06 Avril au 26 Mai 1987 au Centre ORSTOM de BONDY en FRANCE, et dont nous venons de présenter ici la substance a été pour nous riche d'enseignements, en dépit des problèmes auxquels nous avons eu à faire face. Dans ce ordre d'idée on peut signaler qu'au caractère rapide et dense de la première phase au cours de laquelle l'assimilation rapide des nombreuses données nouvelles reçues s'est présentée comme une véritable gageure, s'oppose celui émaillé de temps morts de la deuxième phase, temps morts causés par des contraintes et aléas divers relevant de l'adéquation du matériel didactique, de l'orientation des activités, de la disponibilité des équipements en place au regard de l'ensemble des travaux menés parallèlement, etc... C'est en fait le recul que nous avons pris, après la cessation des activités programmées dans le cadre temporel de notre stage, qui nous permis de mieux ordonner les informations et les données, collectées de façon plus ou moins ordonnée. Même si les objectifs initialement arrêtés pour nos travaux ont été différés indépendamment de notre volonté, les activités que nous avons menées ont été d'un grand intérêt pour nous qui n'avions au départ aucune connaissance claire de ce qu'est la télédétection. Nous avions tendance à l'assimiler, abusivement il faut le reconnaître, à l'interprétation des photographies aériennes. Les connaissances acquises seront utiles dans le cadre des travaux antérieurement envisagés et qui doivent être poursuivis. Il faudrait pour cela que nous puissions disposer sur place des possibilités de traitement des données satellites. L'implantation au sein de l'I.R.G.M. des logiciels TIMOR

.../...

et STEPPE est nécessaire, possible compte tenu de l'existence dans ce organisme de micro ordinateurs IBM, et vivement souhaitée.

REMERCIEMENTS

Avant de clore définitivement ce rapport nous voulons exprimer notre gratitude à tous ceux qui nous ont donné l'occasion et les moyens administratifs, matériels et structuraux d'effectuer ce stage que nous avons souhaité depuis de longues dates, et si la signature du protocole d'accord en matière de formation - insertion entre le M.E.S.R.E.S. et l'ORSTOM est arrivée fort opportunément, sa mise en œuvre satisfaisante s'est faite avec la volonté et la disponibilité des hommes que nous voulons remercier. Nous pensons particulièrement à M. P. MATHIEU, Responsable Général de l'ORSTOM au Cameroun, à M. SOBA DJALLO, Directeur de l'I.R.G.M., à M. B. VOLKOFF, Chercheur de l'ORSTOM qui a assuré la supervision de notre stage. La disponibilité du personnel de l'Atelier de Télédétection de l'ORSTOM à BONDY (ATOB) a été fortement appréciée et nous ne saurions manquer de signaler l'appui bienveillant que nous avons reçu de Mmes N.DELARBRE, A. AING, Mlle M.T. MIGUET, MM. J.F. PARROT, J.C. PION, M. RAKOTO, B. LORTIC, H. ANDRIANASOLO. Nous en avons certainement oublié, et nous espérons que ceux là voudront bien nous excuser.

ORIENTATION BIBLIOGRAPHIQUE

- BERNUS, E. et PONCET, Y. (1981) : Etude explorative du milieu naturel par télédétection. Plaine de l'Eghazer (Niger. SW de l'Air) - Télédétection n° 6 ORSTOM Ed. Paris

.../...

- DUMORT, J.C. et PERONNE, Y. (1966) : Carte Géologique de connaissance du Cameroun au 1/500.000, Feuille MAROUA, avec notice. BRGM, Orléans et DMG. Yaoundé Ed.
- EKODECK G.E. (1976) : Contribution à l'étude de la nature et du comportement géotechnique des dépôts superficiels gonflants du Nord Cameroun. Th. Doct. 3e Cycle Fac. Sci. U.S. et M. Grenoble I.
- EKODECK G.E. (1984) : L'altération des roches métamorphiques du Sud Cameroun et ses aspects géotechniques. Th. Doct. d'Etat. I.R.G.M., U.S. et M. Grenoble I.
- HOFFMAN P. et TAMARA N. (1985) : MS-DOS : Guide de l'utilisateur, Mac Graw Hill Ed., Ed° française, Paris.
- LILLESAND, T.M. et KIEFER, R.W. (1979) : Remote Sensing and image interpretation. John Wiley and Sons Ed. New York.
- LOINTIER M. et PIYENS S. (1981) : Méthodologie de constitution d'une base de données d'occupation du sol par télédétection. Télédétection n° 4, ORSTOM Ed. Paris.
- SCANVIC J.Y. (1983) : Utilisation de la télédétection dans les sciences de la Terre. Manuel et Méthodes n° 7, BRGM Ed. Orléans.
- SEGALEN, P. (1962) : Carte pédologique du Nord Cameroun au 1/100.000, feuille MAROUA, avec notice. ORSTOM Paris et IRGM Yaoundé Ed.