

PREPARATION D'UNE PROSPECTION PEDOLOGIQUE
A L'AIDE DE SIMULATIONS SPOT (SOUDAN)

Mémoire rédigé par

Babiker Sulieman BABIKER

à l'issue du stage d'application du CETEL

et présenté à l'Université P. & M. CURIE (PARIS VI)
en vue du

DIPLOME D'ETUDES SUPERIEURES SPECIALISEES
de Télédétection et Cartographie Thématique

INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE
SCIENTIFIQUE POUR LE DEVELOPPEMENT
EN COOPERATION
Orstom - Atelier de Télédétection
70, route d'Aulnay - 93140 BONDY
Tél. 847.31.95 - 847.69.16

Ce mémoire est un rapport personnel de stage, en conséquence les
imperfections qu'il peut contenir n'engagent que le rédacteur à l'exclusion
du G.D.T.A., du laboratoire d'accueil ou du Jury d'examen.

PREPARATION D'UNE PROSPECTION PEDOLOGIQUE
A L'AIDE DE SIMULATIONS SPOT (SOUDAN)

Mémoire rédigé par

Babiker Sulieman BABIKER

présenté à l'Université P. & M. CURIE (PARIS VI)
en vue du

DIPLOME D'ETUDES SUPERIEURES SPECIALISEES
de Télédétection et Cartographie Thématique

et soutenu le 8 juillet 1985 devant le jury d'examen
composé de :

Professeur	J. CHOROWICZ	Université de Paris VI
Monsieur	B. DELOR	GDTA
Monsieur	P. FOIN	ENSG/IGN
Monsieur	A. PODAIRE	CNES
Monsieur	M. POUGET	ORSTOM (rapporteur)

Ce mémoire est un rapport personnel de stage, en conséquence les imperfections qu'il peut contenir n'engagent que le rédacteur à l'exclusion du G.D.T.A., du laboratoire d'accueil ou du Jury d'examen.

13 MAI 1986 O. R. S. I. O. M. Fonds Documentaire

N° : 21 014

Cote :

B.21.014/2p 1.

INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE
SCIENTIFIQUE POUR LE DEVELOPPEMENT
EN COOPERATION
Orstom - Atelier de Télédétection
16, route d'Aulnay - 93140 St. Denis
Tél. 847.31.95 - 847.18.19

REMERCIEMENTS

Au terme de ce stage je voudrais exprimer ma gratitude et mes sincères remerciements à toutes les personnes et à tous les organismes publics français qui, d'une façon ou d'une autre, ont contribué à rendre mon travail réussi et fructueux :

- M. Alain PINGANAUD, responsable de la formation au GDTA, qui avec délicatesse a fait tous ses efforts pour la réussite du stage et pour tenter de résoudre nos problèmes administratifs et universitaires.

- M. Marcel POUGET, Atelier de Télédétection de l'ORSTOM, à qui je suis infiniment redevable pour la bonne volonté à guider mon stage pratique, pour sa grande générosité à faire partager ses connaissances et sa riche expérience et surtout pour son aide personnelle constante au cours de ce travail.

- M. Bernard LORTIC, Atelier de Télédétection de l'ORSTOM, qui avec beaucoup de bienveillance a offert sa grande compétence technique et scientifique durant le stage pratique.

- M. Jean-Claude FAVARD, du GDTA, pour son aide et sa coopération en mettant à notre disposition les Simulations Spot et en rendant ainsi possible ce travail.

- Mes sincères remerciements s'adressent également à Mme Annick AING et Mlle Isabelle RANNOU de l'Unité de Traitement Photochimique de l'Atelier de Télédétection de l'ORSTOM pour leur aide constante pendant le stage pratique et pour le très lourd travail de reproduction des documents divers et des illustrations de ce rapport.

- Mlle Marie-Thérèse MIGUET, responsable de l'Unité Documentation, pour sa coopération et son aide durant la phase des traitements numériques.

- Mme Nicole DELARBRE pour la tâche fastidieuse de dactylographie du présent rapport.

- Je voudrais aussi exprimer tous mes remerciements à M. Jean-François PARROT, responsable de l'Atelier de Télédétection de l'ORSTOM à Bondy, pour m'avoir accueilli chaleureusement dans son laboratoire.

- Les secrétaires de l'équipe Formation du GDTA pour leur aide et leur coopération pendant l'ensemble du cycle (CETEL).

- Enfin, je voudrais remercier le gouvernement français représenté par les différents organismes GDTA, ORSTOM, CNES qui ont apporté leur contribution à ce stage aussi bien du point de vue technique, administratif que financier.

I. INTRODUCTION

OBJECTIFS

Le présent document tient lieu de rapport pour le stage (CETEL) effectué de septembre 1984 à juin 1985. L'objectif fondamental du stage organisé par le GDTA est l'étude des techniques de la Télédétection et ses applications dans différents domaines thématiques. Ainsi le programme de formation prévoit des travaux pratiques pour réaliser et illustrer l'une ou l'autre de ces applications.

Le travail présenté ici concerne la préparation d'une prospection pédologique à moyenne échelle à l'aide des données de Simulations SPOT. Il a été réalisé en avril-juin 1985 à Bondy au sein de l'Atelier de Télédétection de l'ORSTOM (Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération).

Ce mémoire n'a pas la prétention d'apporter des résultats définitifs, tel n'était pas son objectif. Notre intention est par contre de présenter les techniques et les méthodes d'application de la Télédétection à la cartographie des sols, plus précisément de montrer les possibilités offertes par les simulations SPOT. Cependant, les résultats doivent permettre de préparer les investigations et les vérifications de terrain qu'il conviendra de faire pour exploiter réellement et valider ces données Télédétection.

L'étude concerne 3 zones différentes situées respectivement au Nord, Centre et Centre-Sud du Soudan. :

- Dongola au Nord
- El Azazi au Centre
- Kosti au Centre-Sud

LES SIMULATIONS SPOT

Le Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) prépare le lancement en octobre 1985 du satellite français SPOT. Dans le cadre de la mise au point de ce satellite, une expérimentation a été conduite pour simuler, à partir d'instruments aéroportés, les futures images SPOT. Plusieurs organismes français ont été associés, à titre d'investigateurs, à la réalisation des programmes de simulations; leurs rôles consistent à fournir la "vérité" terrain et à interpréter les résultats. Pour avoir une expérimentation globale le programme a été étendu aux pays étrangers notamment le Soudan et plusieurs pays d'Afrique de l'Est.

Au Soudan, les données MSS Landsat sont utilisées depuis 1975 pour les études pédologiques. Ainsi 65% de la superficie du pays se trouvant dans les zones désertiques et semi-désertiques ainsi que dans les zones de savanes ont été cartographiées à petite échelle à l'aide de ces données.

On a constaté que la résolution du MSS est bien trop faible pour faire des interprétations précises sur les types de sols ou pour fournir les caractéristiques topographiques détaillées dans des zones aussi planes que le Soudan. De plus l'utilisation des photos aériennes, pour avoir les détails maximum, exige un très grand nombre d'images. Pour le Soudan (2,5 millions de km²) ce type de travail coûte cher et demande beaucoup de temps.

On espère donc qu'avec une meilleure résolution, les données SPOT (ici les simulations) permettront de :

- obtenir une bonne représentation continue et étendue du terrain pour discriminer et identifier les éléments géomorphologiques qui permettront de "prévoir" l'existence et la répartition des différents types de sols.
- faire des agrandissements à moyenne échelle pour améliorer la cartographie des détails du terrain et en particulier, des états de surface des sols.
- extrapoler les connaissances obtenues sur des sites-test à une échelle régionale.
- fournir un fond topographique dans les régions dépourvues de cartes topo.
- faciliter l'étude de grandes régions sur un nombre limité d'images, etc...

. Plan

Le premier chapitre de ce mémoire sera consacré à la présentation des trois zones d'étude.

Un second chapitre précisera les matériels (données disponibles, moyens utilisés) et les méthodes. Sur ce dernier point l'accent sera mis sur l'analyse visuelle des images et sur les traitements photochimiques. Les traitements numériques ne seront pas négligés pour autant.

Les résultats, avec beaucoup de documents cartographiques annexes, feront l'objet du troisième chapitre. Enfin, une carte de synthèse à 1/25 000 regroupera les propositions et hypothèses formulées pour commencer la prospection pédologique.

II. GENERALITES SUR LES TROIS ZONES D'ETUDE

LE CHOIX DES ZONES

Les sites étudiés sont représentatifs de trois régions différentes du Soudan, chaque région étant caractérisée par des types particuliers de climats (annexe 1), de sols et de systèmes d'exploitation du sol.

Cependant, malgré leurs diversités elles se situent toutes les trois dans la vallée du Nil et de ces affluents, le Nil Blanc et le Nil Bleu (fig. 1).

Le choix des sites a été fait en fonction des Simulations SPOT disponibles (9) et surtout en fonction d'une plus grande diversité dans la répartition et la nature des sols.

Les zones étudiées représentent trois types différents de dépôts alluviaux :

- alluvions du Nil Bleu venant du Plateau éthiopien au Sud-est.
- alluvions du Nil Blanc venant du Lac Victoria au Sud.
- au Nord, alluvions du Nil proprement dit provenant de la jonction de ces deux fleuves à Khartoum.

Il convient de faire maintenant une présentation plus détaillée de trois zones étudiées : DONGOLA, AZAZI et KOSTI.

LA ZONE DE DONGOLA

Elle se situe dans la partie Nord du Soudan. Elle s'étend sur la rive Ouest du Nil au Nord de la ville de Dongola (fig. 1).

Le climat dans cette région du Soudan est désertique avec des étés chauds et secs, des hivers frais et secs. Les précipitations sont rares avec une moyenne annuelle de 28 mm (voir Station météorologique de Karima fig. 2). En fait, cette pluviométrie résulte d'averses occasionnelles qui peuvent se produire après plusieurs années de sécheresse.

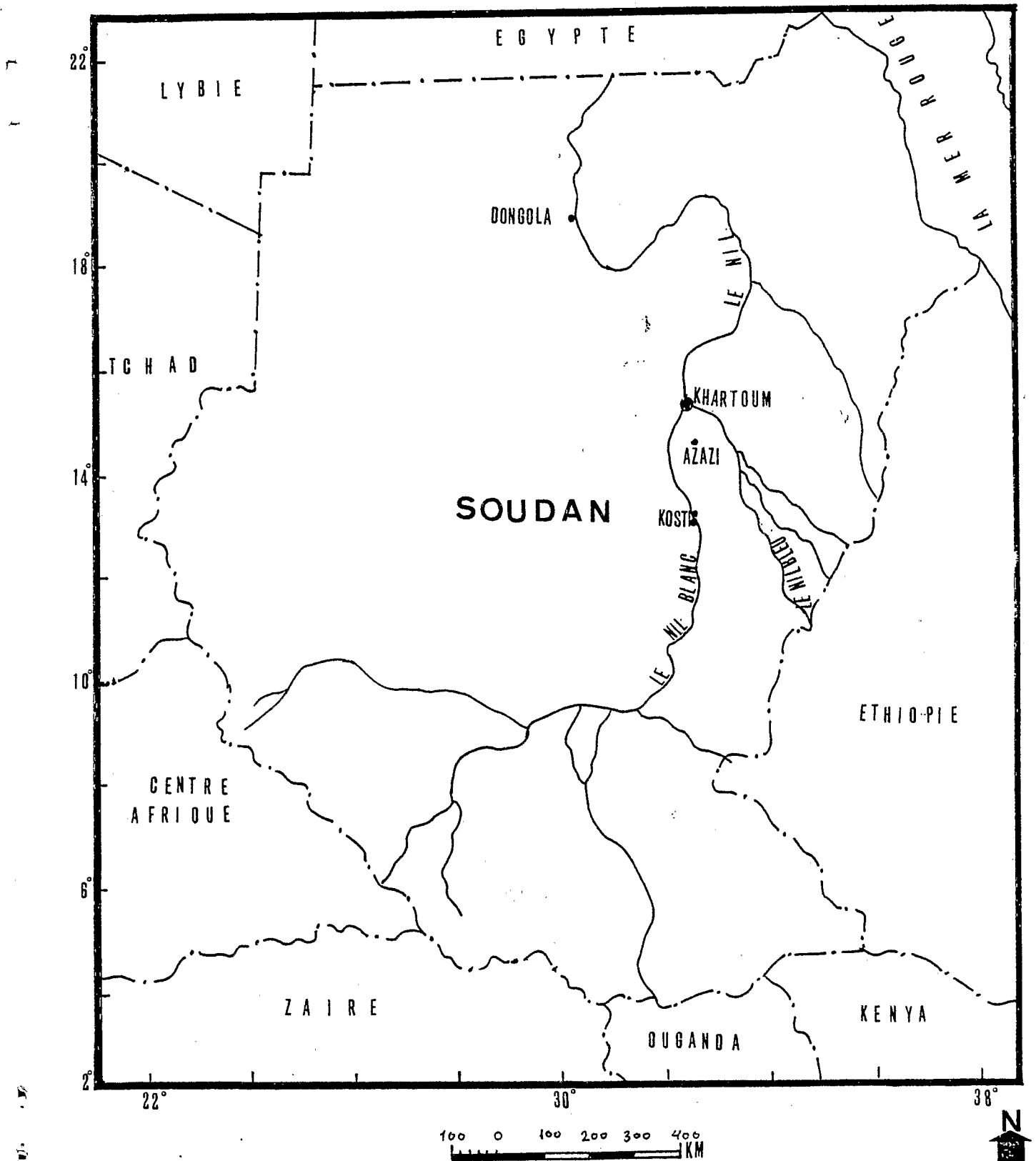


Fig.1 - Carte de situation

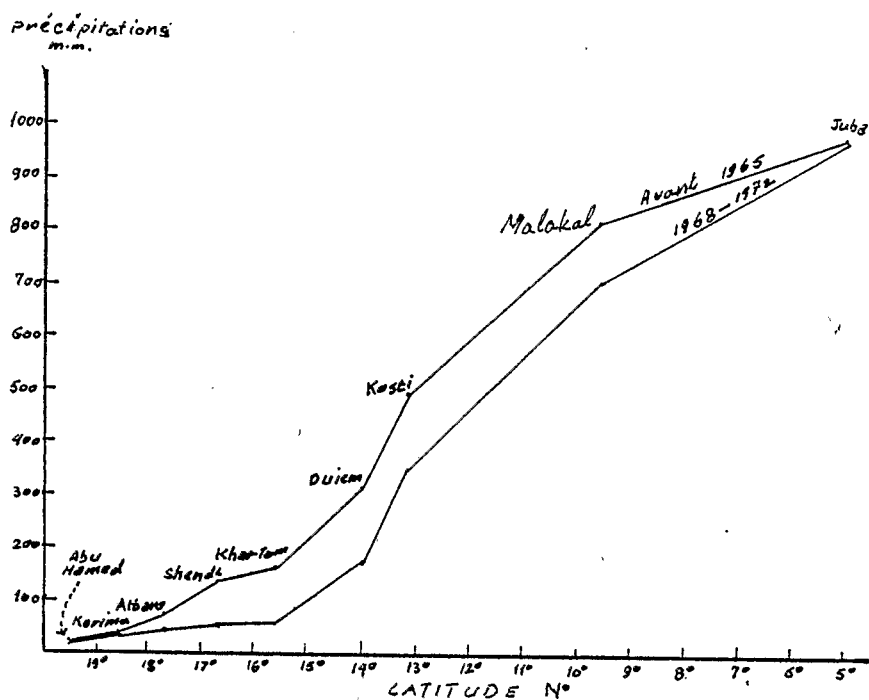
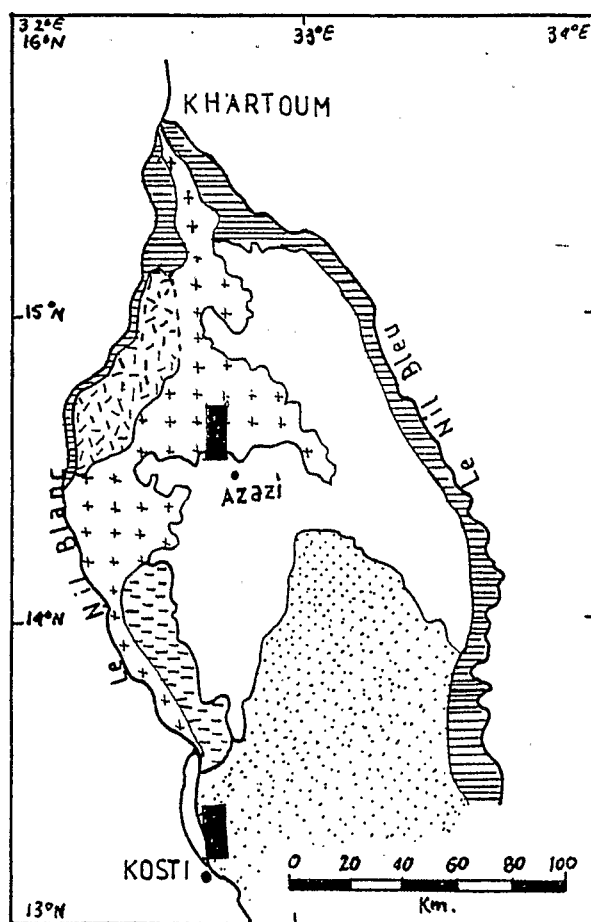


Fig. 2 - Moyennes des précipitations annuelles
d'après Sudan Metrology Department

Il en résulte que la végétation est très rare sinon absente. La végétation naturelle pérenne se localise uniquement le long des rives du Nil ou le long de chenaux d'écoulement d'eaux de ruissellement qui peuvent apparaître comme des intrusions semi-désertiques en région désertique.

Du point de vue géologique, la région est constituée essentiellement de grès reposant sur un soubassement complexe. A l'exception d'une étroite bande de dépôts alluviaux le long du Nil, les formations superficielles sont surtout des sables provenant de la désagrégation des grès. Cependant, d'autres dépôts alluviaux peuvent se trouver dans les vallées des affluents secondaires du Nil et venant de régions semi-désertiques.

Notre zone d'étude correspond à une partie de cette vaste région désertique (60 km²). On y distingue trois unités physiographiques majeures :



-  Végétation complexe Savanne forêt galerie
-  Savanne à *Aristida*
-  Brousse à *Acacia nubica*
-  Savanne herbeuse *Panicum turgidum*
-  Savanne à épineux
-  Cultures

Fig. 3 - Carte de la végétation
du Centre Soudan (Gezira)

- **les dépôts alluviaux le long du Nil** : levées, zones marécageuses, anciens chenaux abandonnés, etc. En conséquence cette zone est intensément utilisée pour l'irrigation traditionnelle (pompage dans le Nil). Les cultures principales sont : palmiers dattiers, agrumes, céréales, légumes (fèves).

- **la terrasse ancienne du Nil**, occupe une position intermédiaire entre la zone précédente et la zone désertique ("desert pavement"). Cette terrasse est soumise à une érosion éolienne intense en raison notamment de l'absence de végétation. En même temps, des oueds venant de régions plus humides déposent leurs alluvions dans des cônes d'épandages sur les parties hautes de la terrasse ancienne. Il n'y a pratiquement aucune activité agricole en raison des problèmes de salinité et des difficultés pour irriguer cette zone surélevée.

- **la zone désertique** ("desert pavement"). Le sable et les affleurements rocheux sont les principales caractéristiques de la surface des sols. Localement cette zone est disséquée pour les entailles des axes de drainage en direction du Nil. Il n'y a pas d'autre végétation que celle qui s'installe dans les chenaux où se concentrent saisonnièrement les eaux de ruissellement provenant des régions semi-désertiques plus humides.

Les sols varient depuis les dépôts très récents, aux plus anciens. De même pour la texture de fine à très fine jusqu'à grossière.

LA ZONE D'AZAZI

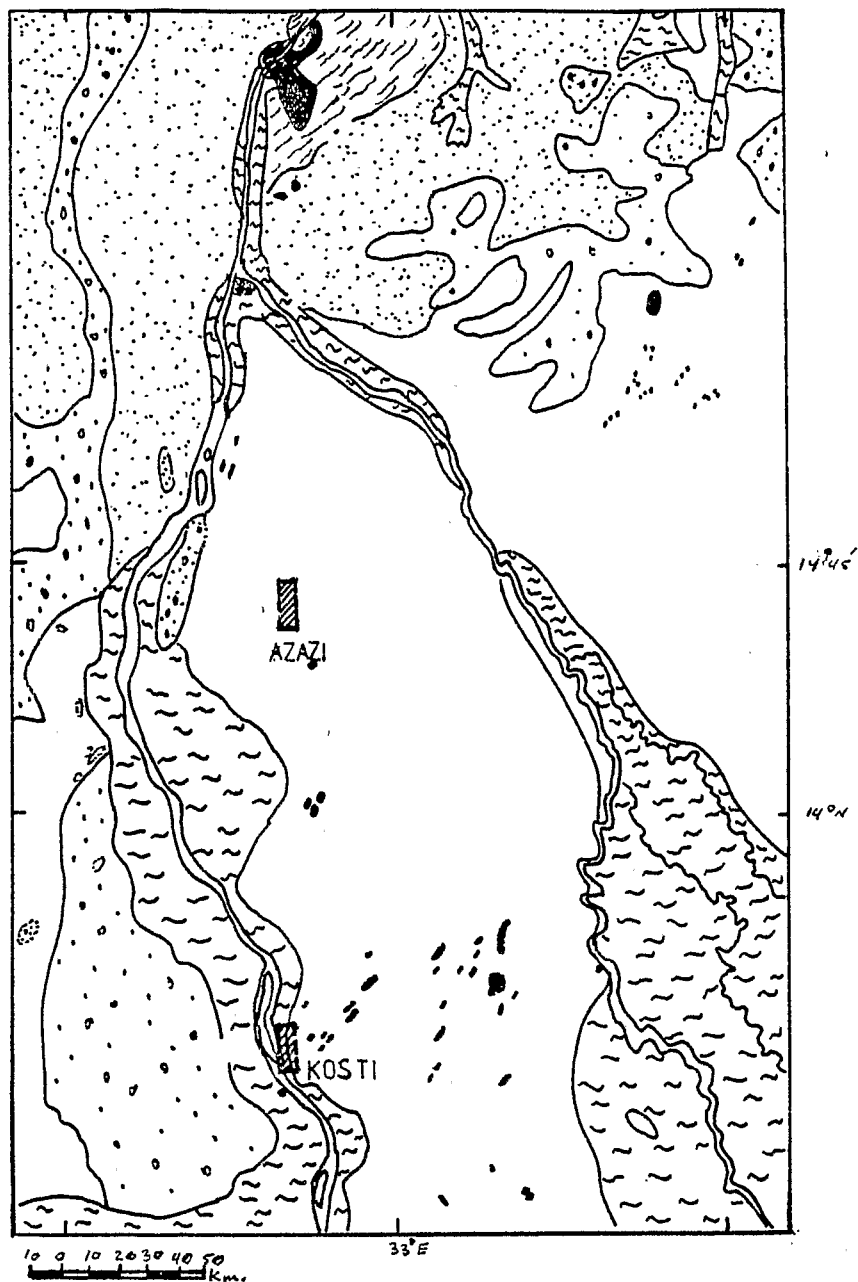
Elle se trouve dans la Gézira au centre du Soudan. Gezira est le nom local donné à l'ensemble de la région située entre le Nil Blanc et le Nil Bleu au Sud de Khartoum (fig. 1).

Le climat est semi-désertique avec 8 mois de saison sèche pendant laquelle les vents dominants soufflent depuis le Nord-Est aride. La saison pluvieuse s'étale sur 3-4 mois (juin à septembre) avec des vents dominants du Sud-Ouest. La pluviométrie annuelle moyenne va de 200 mm au Nord à 450 mm au Sud. Ainsi il y a une décroissance constante depuis le Nord.

Les températures les plus hautes sont enregistrées en mai, le mois le plus sec de l'année. On constate dans cette région que les températures maximales diurnes sont en étroite relation avec l'évaporation moyenne journalière.

Du point de vue végétation la Gézira se partage en trois grandes unités esquissées par HARISON et JACKSON (1958) en fonction de la pluviométrie (fig. 3) :

- brousse semi-désertique
- savannes herbeuses semi-désertiques sur argiles
- savanne à épineux (*Acacia mellifera*) alternant avec savannes.



- | | | | |
|---|----------------------------|---|---|
|  | ARGILES ET SABLES |  | GNEISS SCHISTES |
|  | ROCHES BASIQUES INTRUSIVES |  | GRES DE NUBIE |
|  | ALLUVIONS |  | ROCHES IGNEES ET GRANITE (COLLINES ALLONGEES) |
|  | SABLES EOLIENS ET GRAVIERS | | |

Fig. 4 - Carte géologique du Centre Soudan (Gezira)

La zone d'étude (AZAZI) se trouve dans la première unité, la brousse semi-désertique. La végétation naturelle est une savanne à *Aristida* avec occasionnellement *Acacia nubica* et *Caparis didicua*.

La partie Sud de la zone est englobée dans le périmètre irrigué de la Gezira (le plus grand du Soudan). Dans ce projet l'irrigation se fait par gravité et l'eau provient d'un barrage situé en amont sur le Nil Bleu. Les principales cultures sont : coton, blé, sorgho et légumes secs (fèves, pois, etc..). Le système de culture est basé sur une rotation de quatre ans avec une année de jachère.

La partie Nord s'étend sur une zone de pâturages naturels avec localement une agriculture traditionnelle utilisant les eaux de ruissellement. Cette pratique traditionnelle se localise dans de petites parcelles pendant la saison pluvieuse. Cependant, depuis quelques années la région est restée trop sèche et la surface du sol est presque dénudée au moment de la prise de vue pour les simulations Spot en novembre 1984.

Les grès de Nubie, constituent le substratum géologique. Cependant, les alluvions les plus récentes sont constituées par des limons et des argiles témoins d'une ancienne activité volcanique (fig. 4).

La zone étudiée (60 km²) ne constitue qu'une très petite partie de cette vaste plaine. Comme cette dernière la zone d'Azazi est très plane avec une légère pente vers le Nord-ouest en direction du Nil Blanc.

Cependant, on note la présence de quelques dépressions planes.

En raison d'une longue période de sécheresse et de la faible densité du couvert végétal l'érosion éolienne est très active avec en particulier l'apparition de dunes de sable et de recouvrements sableux.

Les sols sont généralement argileux avec souvent une "contamination" sableuse en surface. La salinité est variable.

LA ZONE DE KOSTI

Elle se localise au Sud de la région centrale du Soudan, le long de la rive Est du Nil Blanc au Nord de la ville de Kosti (fig. 1).

Le climat est aride avec des pluies en été et des hivers secs et chauds. Les précipitations annuelles moyennes sont comprises entre 400 et 750 mm avec un maximum en juillet. Mais la zone d'étude se trouve dans la partie la plus septentrionale. Elle ne reçoit donc qu'environ 450 mm/an car au Soudan la pluviométrie diminue progressivement du Nord vers le Sud.

La composition de la végétation, c'est à dire l'importance relative des deux strates ligneuses et herbacée, est directement en relation avec la pluviométrie et les types de sols (fig. 5) (HARISON et JACKSON, 1958).

Dans cette zone la végétation est cependant plus dense et les arbres sont dominants. Elle se compose d'une strate herbacée variée et d'une strate arbustive à *Acacia mellifera* et *Acacia seyal*.

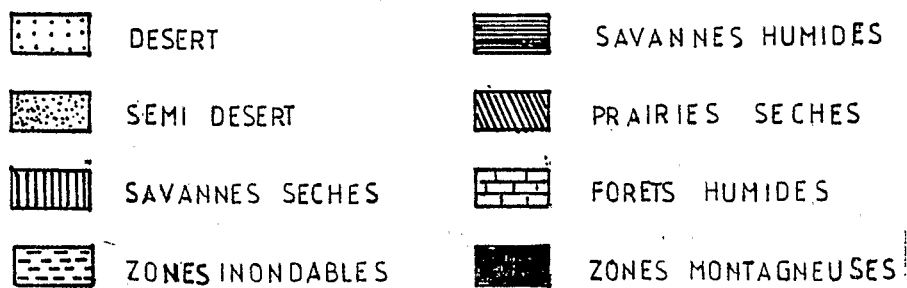
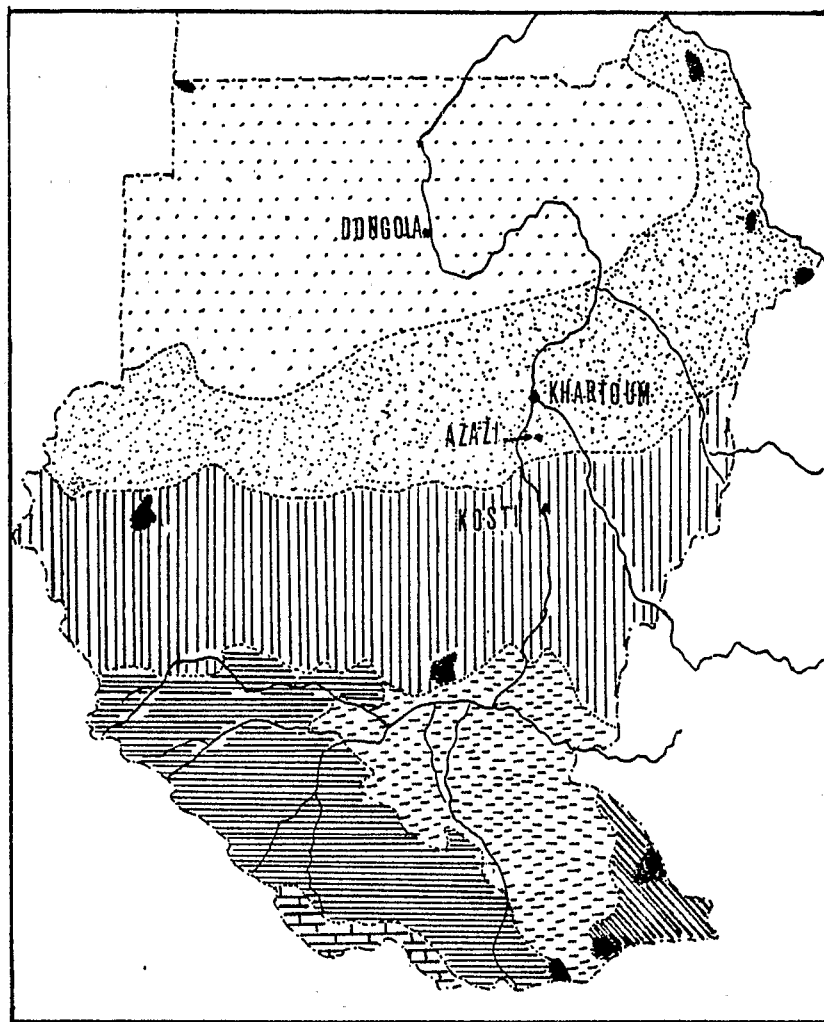


Fig. 5 - Carte de la végétation générale du Soudan
d'après Huting Technical Service 1964-66

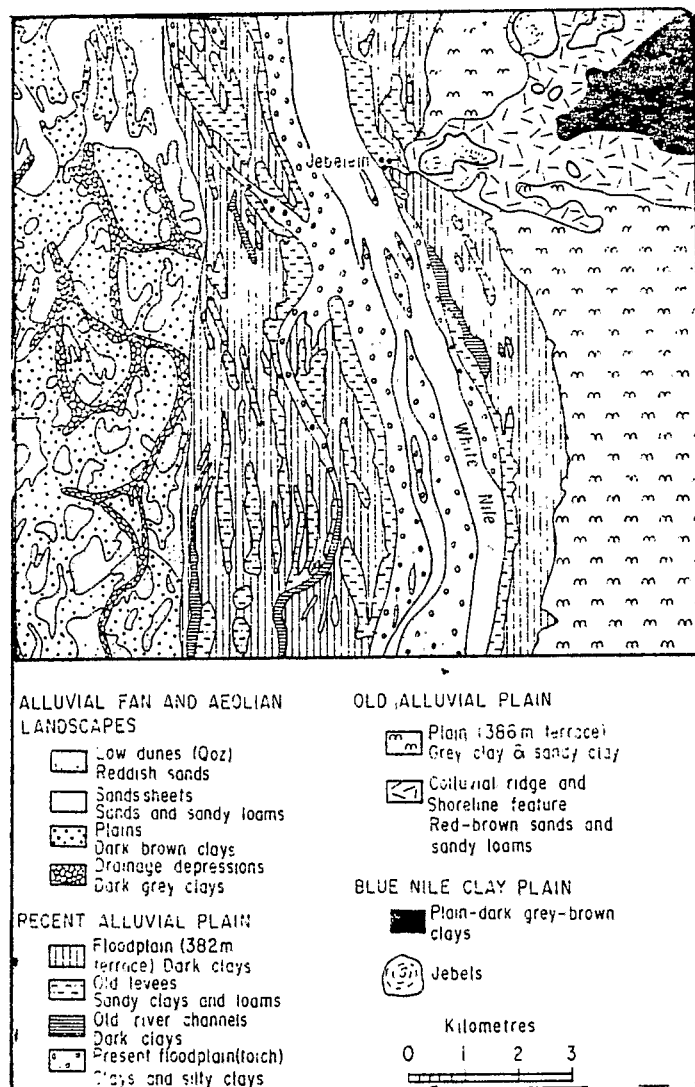


Fig. 6 - Physiographie et pédologie d'une zone au Sud de Kosti (d'après R.H. GUNN - 1954)

Le substratum géologique est constitué par les grès de Nubie (fig. 4). Ils sont d'abord surmontés par des alluvions du Nil Bleu qui ont recouvert de grandes surfaces. Le Nil Blanc entre au Soudan en venant du Sud où la pente est très faible (5 m/kilomètre = 0,5%). Il s'étale paresseusement et coule donc très lentement en ne transportant que très peu d'éléments en suspension. Compte tenu aussi de la topographie très plane le Nil Blanc forme un réseau anastomosé avec de multiples bras.

Il en résulte que les alluvions du Nil Blanc se localisent uniquement le long d'une étroite zone le long du fleuve. Ce type de réseau anastomosé conduit à un ensemble géomorphologique complexe, avec des îles et d'anciens chenaux, caractéristique de la plaine d'inondation du fleuve. La fig. 6 est une esquisse géomorphologique et pédologique d'une zone au Sud de Kosti, très comparable à celle que nous étudions plus au Nord. Celle-ci est d'ailleurs essentiellement constituée d'alluvions du Nil Blanc. Seule une petite partie à l'Est est formée par des alluvions du Nil Bleu ou par des matériaux provenant de l'altération in situ des grès.

On distingue donc deux zones principales :

- les dépôts alluviaux du Nil Blanc avec un réseau anastomosé de chenaux plus ou moins fonctionnels et d'îles.

- la zone Est, peu importante par rapport à la vaste plaine, avec dominance d'affleurements rocheux. Compte-tenu de la pluviométrie plus élevée, le ruissellement est important. Il se forme des axes de drainage avec dissection des surfaces et création d'un réseau de petites dépressions où se déposent des sédiments fins.

Le Nil Blanc est célèbre pour sa végétation aquatique. Même dans la zone alluviale certaines parties, quelquefois submergées lors des plus importantes inondations, sont dominées par différentes plantes aquatiques (Toïch ?).

L'ensemble de la plaine est caractérisée par la présence de différents types d'acacias associés à une strate herbacée variée.

Le pompage des eaux du Nil permet l'irrigation de nombreux petits périmètres où coton et sorgho sont les principales cultures. Dans la zone alluviale, le riz est traditionnellement cultivé, au moment de grandes crues, lorsque les anciens chenaux du Nil sont inondés.

III. MATERIELS ET METHODES

MATERIELS

. Les données disponibles

. Simulations SPOT pour les trois zones avec :

- tirages papier noir et blanc, échelle 1/62 500 (quick-look)
- films noir et blanc, échelle 1/25 000
- bandes magnétiques CCT

c'est à dire les scènes :

- n° SD 84092 A DONGOLA - acquisition du 02/11/84
- n° SD 84141 C EL AZAZI - acquisition du 01/11/84
- n° SD 84081 A KOSTI - acquisition du 01/11/84

. Cartes topographiques : 3 feuilles à 1/250 000 prêtées par le "Sudan Land Survey Department" et montrant la localisation géographique des trois zones :

- feuille n° ND - 36 - F ELGEITEINA
- feuille n° NE - 36 - A DONGOLA
- feuille n° ND - 36 - J ABA ISLAND

. Photos aériennes

Région de Kosti à 1/25 000 prêtées par le "Sudan Land Survey Department" :

- A 136 - 170 - 179 et A 127 - 093 - 100

Région de Dongola :

- AC 13 - 015 — 0 18 et L 15 - 81-85 à 1/40 000

. Documents et bibliographie sur le Soudan

En plus de tout cela, il convient d'ajouter mon expérience personnelle sur les sols et leur cartographie dans différentes régions du Soudan au cours de ces vingt dernières années.

Les moyens utilisés

Tout au long de cette étude l'Atelier de Télédétection de l'ORSTOM à Bondy (ATOB) a mis à ma disposition des appareils et des équipements divers pour le traitement et l'interprétation des données :

- . Le stéréo zoom transfer scope a été utilisé pour l'analyse visuelle des images noir et blanc (quick look) et leur agrandissement à 1/25 000.

- . l'Unité de Traitement Photochimique avec les équipements suivants :

- agrandisseur DURST pour effectuer les agrandissements et les réductions des films négatifs et positifs, les reproductions diverses d'images, papiers, etc...

- développeuse automatique

- appareil "Dupliphot HS 130" pour l'exposition et reproduction de compositions colorées

- développeuses de films diazoïques (diazos) pour la fabrication de compositions colorées.

- . l'Unité de Traitement Informatique :

- ordinateur Mini 6/43

- . contrôleur mémoire pour 128 K mots

- . 2 dérouleurs de bande 1600 BPI

- . 2 unités de disque amovible de 67 Mega octets

- deux écrans couleur Pericolor 1000

- . 1 écran relié au Mini 6 par l'intermédiaire de la GPI et muni d'un lecteur de disquettes

- . 1 écran autonome ayant les extensions suivantes :
lecteur de disquettes
imprimante EPSON (noir et blanc)

- 1 écran graphique Tektronix 4010 relié au Mini 6

- 1 table traçante Benson reliée au Mini 6

- 1 imprimante couleur Colorplot reliée au Mini 6

- 1 caméra digitale reliée au PC 1000

- 4 terminaux VIP (consoles de travail du Mini 6)

Remarque : L'ensemble de l'Atelier a été conçu pour effectuer l'ensemble de la chaîne de traitement en Télédétection (lecture des données, visualisation, traitement, restitution) avec deux postes principaux : Mini 6 et P 1000 off-line (cf. annexe 2).

METHODES

Analyse d'image et interprétation pour la cartographie des sols

Le sol est défini comme un ensemble naturel à trois dimensions : variations en surface (x, y) et variations en profondeur (z) auxquelles il faut d'ailleurs ajouter une quatrième dimension les variations en fonction du temps (t).

En d'autres termes il est le résultat de l'interaction de cinq facteurs principaux : matériau originel, climat, végétation, topographie et temps (durée).

Ces facteurs sont responsables des variations des propriétés et des caractéristiques des sols aussi bien en surface qu'en profondeur. Ils déterminent ainsi les types de sols. Les pédologues, se préoccupant de la cartographie des sols, sont conduits à les regrouper en catégories pour faciliter leur utilisation et leur aménagement. En faisant ainsi les pédologues recherchent à établir des relations entre les caractéristiques et les propriétés des sols en surface et en profondeur. Ce sont ces relations qui relient cartographie des sols et interprétation d'image.

L'image est le résultat de l'énergie réfléchi¹ sur les différents objets à la surface du sol et captée par le satellite. Cependant le plus souvent cette surface est recouverte par la végétation et/ou par des cultures; elle peut aussi être affectée par d'autres facteurs externes qui peuvent ou non être en relation avec les types de sols.

En outre, même si la surface du sol est nue, des sols différents peuvent avoir des luminances identiques et de plus, des sols identiques peuvent avoir des luminances différentes.

C'est la complexité de tous ces facteurs qui rend difficile l'interprétation des images et qui constitue encore un objet de recherche pour de nombreux pédologues.

Les méthodes et les techniques d'interprétation des images, aussi bien visuelles qu'automatiques, sont donc basées principalement sur des prédictions et des hypothèses sur la nature et la répartition des sols. Ces hypothèses dérivent :

- soit des variations et des combinaisons des valeurs de gris ou de tonalité des couleurs, soit des éléments structuraux et texturaux dans le cas d'une analyse visuelle d'image.
- soit des variations des valeurs radiométriques dans le cas d'une classification automatique.

Ainsi donc, quels que soient les résultats obtenus par ces différentes méthodes, ils resteront des hypothèses de prospection jusqu'à ce qu'ils se trouvent confirmés par des vérifications sur place.

¹ pour le visible et proche infra-rouge.

Cependant, la qualité de l'image, le niveau de résolution, la saison d'acquisition et la nature du terrain d'une part, la méthodologie d'interprétation et une bonne connaissance du terrain d'autre, part, sont autant de facteurs importants qui déterminent la capacité d'extraire et de définir le maximum de détails à partir d'une image.

Au cours de cette étude de préparation d'une prospection pédologique nous avons donc essayé différentes méthodes et techniques pour obtenir le maximum possible de détails. Ceci devrait nous aider à individualiser un maximum d'unités dont on espère qu'elles apporteront des informations pertinentes sur les variations de types de sols.

Ces méthodes sont :

- analyse visuelle et interprétation des images noir et blanc
- traitements photochimiques
- traitements numériques

Analyse visuelle et interprétation des images noir et blanc

L'analyse a été faite à partir d'images noir et blanc (quick look) agrandies directement au 1/25 000 et interprétées en utilisant le zoom transfer scope. Cet appareil permet un changement d'échelle et la vision de l'image en mono ou en stéréoscopie.

L'interprétation des images noir et blanc prend en compte les éléments suivants :

- la texture
- la structure
- les valeurs de gris

. La texture

Elle est normalement créée par la répétition de valeurs de gris correspondant à des groupements d'objets trop petits pour être discernés ou individualisés.

Elle permet de distinguer les grandes zones assez homogènes par la forme, la taille et l'abondance des éléments constitutifs. Ceci facilite l'identification des caractères dominants de la zone. La forme et la taille sont aussi d'une grande importance pour identifier les éléments bien individualisés et les objets de l'image.

. La structure caractérise la distribution spatiale des objets. Elles fournissent une indication importante sur leur origine et/ou leur fonctionnement. Les affleurements rocheux constituent un indice sur la structure géologique. Les structures de drainage apparaissent souvent en relation avec la lithologie et la texture des sols.

La structure est donc un élément important qui indique sur l'image un certain nombre de petites caractéristiques qui ne peuvent pas être reconnues par des observations de terrain.

. Les valeurs de gris

Elles constituent un aspect très important dans l'analyse des images noir et blanc. Les variations de valeurs de gris sont produites par les traitements photochimiques des films et elles indiquent des quantités d'énergie réfléchie par les objets. Plus un objet réfléchit de l'énergie plus il apparaît blanc; et inversement moins il réfléchit plus il apparaît noir.

Pour l'interprétation de l'image on utilise donc des classes pour traduire les variations des valeurs de gris : noir, gris sombre, gris, gris clair, et blanc. Ces classes sont directement en relation avec la quantité d'énergie réfléchie pour les objets pour les différentes longueurs d'onde.

. Modèle d'interprétation

La combinaison de ces facteurs pour les différents objets, leurs interrelations, leurs similitudes et leurs différences sur l'image conduisent à élaborer un modèle pour une prospection pédologique. En définitive il s'agit d'une carte avec une interprétation préliminaire. Cette carte indique et définit les différentes zones et unités dont on attend qu'elles correspondent à des variations de types de sols.

Traitements photochimiques

Ce sont des applications de techniques photographiques pour améliorer la lisibilité des images c'est-à-dire pour obtenir le maximum possible d'information et donc faciliter leur analyse.

Ces traitements photochimiques permettent d'obtenir :

- des tirages sur papier noir et blanc à partir des films (agrandissement ou contact)
- des tirages sur films positifs à partir de films négatifs agrandis ou à la même échelle
- des tirages sur films colorés positifs à partir de films positifs noir et blanc.

Il existe bien d'autres méthodes qui n'ont pas été utilisées dans le cadre de ce travail.

Pour la réalisation de l'étude les films positifs noir et blanc ainsi que les tirages papier ont été reproduits pour les quatre canaux (XS1, XS2, XS3, XP) et pour les trois régions (Dongola, Azazi, Kosti) à l'échelle du 1/25 000 en faisant un agrandissement des films originaux (1/62 500).

Pour obtenir des compositions colorées (synthèse soustractive) on réalise des films positifs colorés différents pour les trois canaux (couleurs complémentaires) :

XS1 en jaune
XS2 en magenta
XS3 en cyan

Pour cela les films positifs noir et blanc, déjà préparés, sont reproduits sur des films monochromes (films inversibles diazoïques). La superposition des trois films colorés permet d'obtenir une composition colorée ("false color composite") pour les trois régions étudiées au 1/25 000.

En plaçant cette composition colorée sur la table lumineuse il devient possible d'étudier une foule de variations de couleurs qui correspondent à des variations de niveaux d'énergie réfléchie pour la surface des objets.

Ce procédé permet d'accéder à un autre niveau d'interprétation:

. Analyse visuelle des compositions colorées

Elle est basée sur les mêmes principes que l'analyse des images noir et blanc en ce qui concerne la texture et la structure. Cependant pour ces images les variations des valeurs de gris restent limitées. Par contre pour les compositions colorées on a un grand nombre de teintes différentes et pour chaque teinte une gamme étendue de tonalité.

Il est donc, dans ce cas, important de suivre une méthode rigoureuse qui puisse donner une identification précise des différences de couleur et qui soit suffisamment commode à appliquer et à comprendre.

La méthode utilisée ici se réfère à la méthodologie proposée par G.DEWISPELAERE (1983) d'après les travaux de M.GUY (1970). Elle peut se résumer ainsi :

- chaque unité est distinguée par un code à trois chiffres (par ex.: 1-4-0)

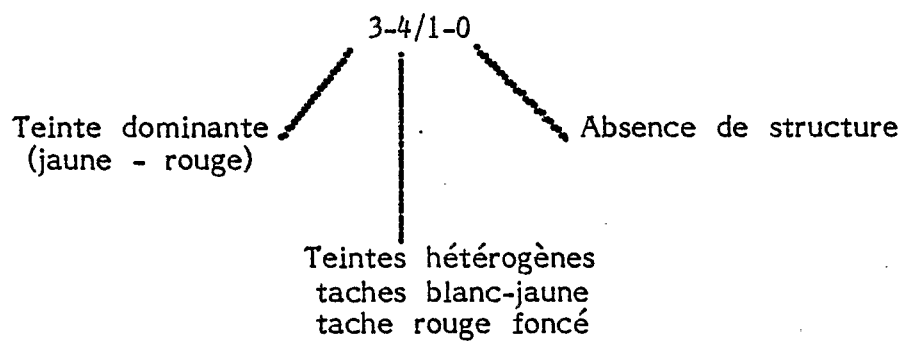
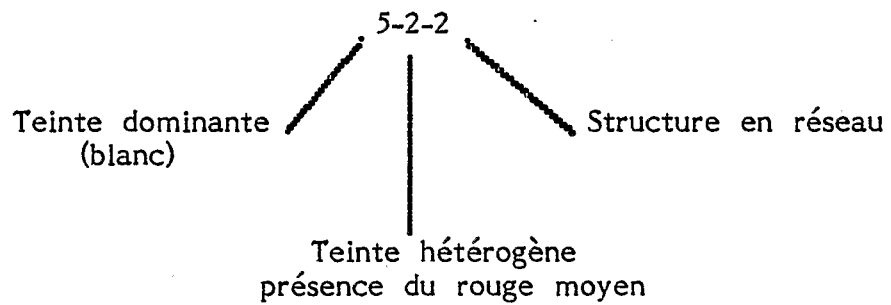
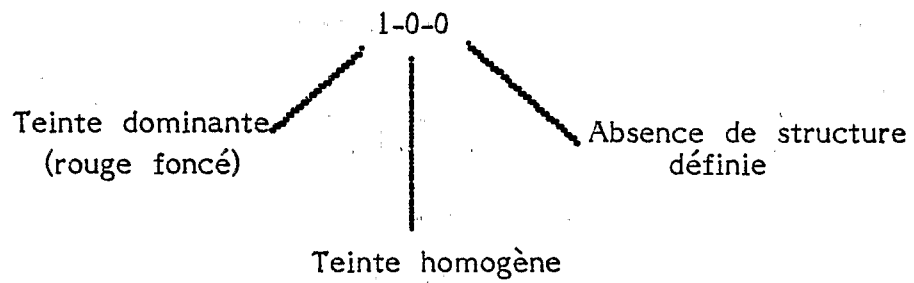
. le premier chiffre indique la teinte de la couleur dominante (de 1 à n, en fonction de l'image étudiée)

. le second chiffre caractérise l'homogénéité ou l'hétérogénéité de la teinte. Ex.: code 0 : unité avec une seule teinte homogène, la teinte dominante. Code 1 à N unité hétérogène, le chiffre indique la teinte secondaire associée à la teinte dominante. Un code double (ex.: 2/5) est utilisé pour noter la présence de deux teintes secondaires.

. le troisième chiffre précise la structure de l'unité (exemple ci-dessous) :

code 0 = absence de structure distincte
1 = structure orientée d'une certaine manière
2 = structure en réseau, ou discontinue

Exemples :



d'après G. DEWISPELAERE (1983)

. Création de néocanaux par procédés photochimiques

En plus des analyses visuelles classiques, sur images noir et blanc des différents canaux et sur compositions colorées, nous en avons effectué sur des images noir et blanc représentant des néocanaux obtenus par procédés photochimiques. Ces techniques mises au point par B.LORTIC (1982) ont pour but d'améliorer et de faciliter l'analyse visuelle des images de télédétection (simulations SPOT, Landsat, etc.). Elles consistent à créer de nouveaux canaux par "addition" ou "soustraction" de densité. Pour notre part nous avons essayé le procédé basé sur la "soustraction" de densité.

- création de nouveaux canaux par soustraction

A partir des histogrammes bidimensionnels des canaux XS1, XS2, XS3 visualisés sur le Pericolor, nous avons pu relier la position des points dans les "nuages" (XS1-XS2 et XS2-XS3 par exemple) et leur distribution géographique sur l'image. Il est clair qu'il existe une corrélation très étroite, sur l'histogramme XS1-XS2, entre cette position des points et les états de surface des sols. Par contre, le canal XS3 permet de prendre en compte la végétation.

Au laboratoire photo nous avons eu à choisir les films les plus contrastés et présentant une large gamme de densités. Pour cela nous avons utilisé un densitomètre.

On reproduit ainsi le positif du canal XS1 et le négatif de XS2 sur supports transparents. La superposition des deux films ("sandwich" XS1-XS2) permet de créer un autre film représentant le nouveau canal (DS1-DS2). Le néocanal (DS3-DS2) est obtenu de même en utilisant le positif de XS3 et le négatif de XS2.

Ces traitements nous apportent une meilleure "lisibilité" de l'information en terme de différence de luminance entre canaux.

- analyse visuelle des néocanaux

L'analyse est faite sur les mêmes bases, exposées dans ce chapitre, que pour les images noir et blanc. Cependant il est possible d'extraire du néocanal DS1-DS2 une meilleure présentation et définition des unités autres que la végétation.

Inversement le néocanal DS3-DS2 permet une très bonne discrimination des unités relatives à la végétation (végétation "active").

Traitements numériques

. Généralités

Ils concernent la manipulation de données numériques enregistrées sur bandes magnétiques et correspondant aux valeurs de luminance de chaque pixel dans les différentes longueurs d'onde.

Les procédés de traitements numériques comportent :

- le chargement de l'information dans l'ordinateur (système "on line")

- le transfert de l'information sur disquettes pour l'étude détaillée de "fenêtres" de 256x256 pixels sur le Pericolor 1000 (système off line) :
 - . visualisation des différents canaux
 - . compositions colorées par superposition des canaux XS1, XS2, XS3 : synthèse additive avec les couleurs primaires bleu, vert et rouge.
 - . analyse des histogrammes bidimensionnels
 - . classification multispectrale de type "hypercubes"
- le retour au "système on line" avec classification de type "loterie" pour l'ensemble de la zone AZAZI
- la restitution sur table traçante BENSON à l'échelle du 1/25 000 des deux classifications

. Analyse numérique et classification

L'analyse numérique nécessite donc des techniques informatiques qui permettent de regrouper les pixels d'une scène en zones différentes en fonction de leurs valeurs radiométriques. Les zones ainsi définies sont homogènes quant à leur radiométrie et l'on s'attend à ce qu'elles représentent des objets à la surface du sol ou des unités de paysages.

Le résultat de telles classifications sont des cartes de valeurs radiométriques qui montrent les caractères des états de surface des sols et donnent un aperçu de leurs similarités et de leurs variations. Dans des études de cartographie pédologique elles facilitent les vérifications de terrain et les échantillonnages. Elles servent aussi de guide précieux pour l'étude des types de répartitions des sols et donc de leur cartographie. Dans cette étude nous avons mis en oeuvre deux procédures de classification utilisées à l'Atelier de Télédétection de l'ORSTOM.

. Classification par hypercubes

Pour l'application de cette technique, un certain nombre de zones-test sont définies en s'appuyant :

- d'une part sur l'analyse visuelle des compositions colorées obtenues par les traitements photochimiques
- d'autre part, sur la position des pixels sur les histogrammes bidimensionnels (XS1-XS2, XS1-XS3, XS2-XS3) visualisés sur l'écran Pericolor.

Le programme HISTOBIDIM 1 permet d'analyser chacune de ces zones-test préalablement tracées avec le curseur sur la composition colorée visualisée sur l'écran du P 1000. Ainsi chaque zone-test est considérée comme un **thème** ayant une valeur définie dans la gamme des radiométries, traduite par une certaine tonalité de couleur sur la composition colorée et correspondant à une certaine position dans le nuage de l'histogramme bidimensionnel.

Avec l'application du programme HYPERCUBE¹ sur le P 1000 off line, il est possible de définir pour chaque thème, les bornes maximum et minimum dans chacun des trois canaux. Il est également possible d'opérer un regroupement des thèmes en classes différentes en fonction de ces valeurs radiométriques (cf. § IV).

¹ Programme M.RAKOTO

On visualise ensuite sur l'écran du Pericolor l'ensemble des thèmes. L'image obtenue représente donc leur extension et leur répartition géographique. On affecte une couleur à chacun des thèmes et l'on effectue enfin un tracé à 1/25 000 à la table traçante BENSON.

. Classification par la procédure "Loterie"

La méthode est décrite dans la brochure "Télédétection n° 2 ORSTOM". Les termes fondamentaux de la procédure ont pour noms : polynombres, serpents, lots, thèmes.

Ainsi le **polynombre** de niveau 3 par exemple est défini par trois nombres. Il représente ici, pour un pixel, les valeurs radiométriques dans les trois canaux XS1, XS2, XS3. Le **serpent** est un ensemble de polynombres compris entre des valeurs radiométriques maximum et minimum dans les trois canaux. Le serpent d'un certain thème correspondant donc à l'ensemble des polynombres ayant des valeurs radiométriques comprises entre certaines "bornes" dans les différents canaux.

Les **lots** représentent un ensemble de pixels dont les polynombres sont à l'intérieur d'un serpent bien défini. Les **thèmes** regroupent un certain nombre de lots.

L'application de la procédure "loterie" dans cette étude a été faite de la façon suivante :

- seuillage des canaux XS1, XS2, XS3 après :
 - . examen des histogrammes des trois canaux
 - . analyse des histogrammes bidimensionnels (cf. classification par hypercube)
 - . seuillage "topologique"
- combinaisons des trois canaux sur le système Mini 6 on line (programmes LOTE¹, STALOT¹) avec créations de lots caractérisés par trois nombres correspondants aux niveaux de réflectance dans les trois canaux. Un lot représente un cube dans trois dimensions XS1, XS2, XS3.
 - regroupement des lots en **thèmes** (programme TEMLOT¹)
 - tracé à la table traçante BENSON (programme TRACE²)

¹ Programme J.NOEL

² Programme B.LORTIC

IV. RESULTATS

GENERALITES

Les résultats sont présentés essentiellement sous forme de cartes différentes, élaborées à partir de l'analyse et de l'interprétation des images de simulations SPOT. Ces images ont été obtenues en utilisant les méthodes et les techniques variées, photochimiques et numériques (cf. chapitre II). Les cartes résultent donc :

- . d'une part, de l'analyse visuelle d'images (échelle 1/25 000) élaborée par les traitements photochimiques des données film :

- images noir et blanc des différents canaux
- compositions colorées
- images noir et blanc de néocanaux (DS1-DS2 et DS3-DS2)

Il s'ajoute à cela, pour préciser les résultats, l'analyse d'une couverture de photos aériennes à 1/25 000.

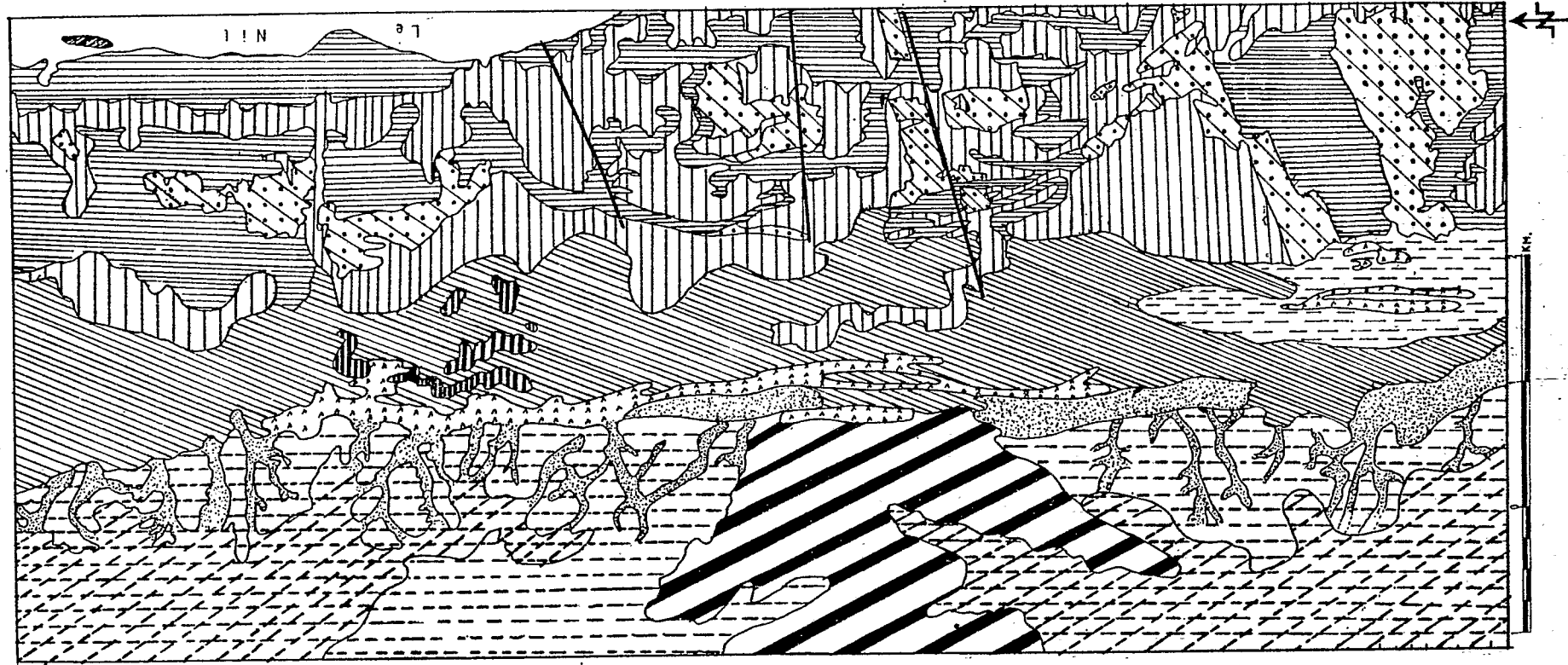
- . d'autre part, de l'analyse et de l'interprétation des données numériques qui ont permis un tracé automatique de documents cartographiques : les cartes infographiques à 1/25 000 des états de surface des sols. Les cartes ainsi produites apportent chacune des éléments pour la préparation de la prospection pédologique avec un certain niveau de détails que les traitements et les méthodes d'analyse ont permis d'améliorer. Cependant, il est évident que l'on ne peut considérer ces cartes comme des cartes de sols sans vérifications et études de terrain.

Les détails, apportés par les différentes méthodes, sont variables mais aucune d'elles n'est inutile. En effet chaque méthode contribue à une partition du paysage dans une certaine limite de détails utiles pour la prospection pédologique à ce niveau.

ANALYSE VISUELLE DES IMAGES NOIR ET BLANC

Comme on peut le voir avec l'analyse des trois régions (fig. 7-8-9 et tabl. 1-2-3) il est clair que le nombre d'unités identifiées est faible comparé aux unités définies par les autres méthodes.

FIG. 7 DONGOLA
ANALYSE VISUELLE DES SIMULATIONS SPOT (NOIR ET BLANC)



ANALYSE VISUELLE DES SIMULATIONS SPOT
IMAGES NOIR ET BLANC - ZONE DE DONGOLA

UNITE D'INTERPRETATION			VALEUR DES GRIS DANS LES DIFFERENTS CANAUX			
	N°	IDENTIFICATION	XS1	XS2	XS3	XP
	1	Dépressions des anciens chenaux du Nil	gris clair à moyen	gris clair à moyen	gris sombre à moyen	gris clair à moyen
	2	Anciennes digues (levées)	blanc - gris clair blanchâtre	blanc - gris clair blanchâtre	blanc - gris blanchâtre	blanc - gris clair blanchâtre
	3	Accumulations sableuses et dunes	blanc - gris clair blanchâtre	blanc - gris clair blanchâtre	blanc - gris blanchâtre	blanc - gris clair blanchâtre
	4	Terrasse ancienne du Nil	gris blanchâtre gris clair	gris blanchâtre gris clair	gris sombre et gris sombre blanchâtre	gris blanchâtre gris clair
	5	Bordures des dunes	gris blanchâtre	gris blanchâtre	gris clair blanchâtre	gris blanchâtre
	6	Traces de cultures irriguées sur l'ancienne terrasse du Nil	gris	gris	gris sombre moyen	gris
	7	Lits d'oueds et zones d'épandages	gris clair	gris clair	gris moyen	gris clair
	8	Zones désertiques ("desert pavement") disséquées	gris clair blanchâtre	gris clair blanchâtre	gris moyen blanchâtre	gris clair blanchâtre
	9	Zones désertiques ("desert pavement") probablement avec mince recouvrement sableux	gris clair blanchâtre	gris clair blanchâtre	gris blanchâtre	gris clair blanchâtre
	10	Amont des bassins versants des oueds - Probablement avec affleurements rocheux	gris clair et gris	gris clair et gris	gris et gris sombre	gris clair et gris
	11	Zones cultivées et végétation	noir	noir	blanc	noir
	12	Barres sableuses	gris blanchâtre	gris blanchâtre	blanc	gris blanchâtre
		Fleuve (le Nil)	gris sombre	gris sombre	noir	gris sombre
		Canaux d'irrigation	gris	gris	gris sombre	gris

TABLEAU 1 -

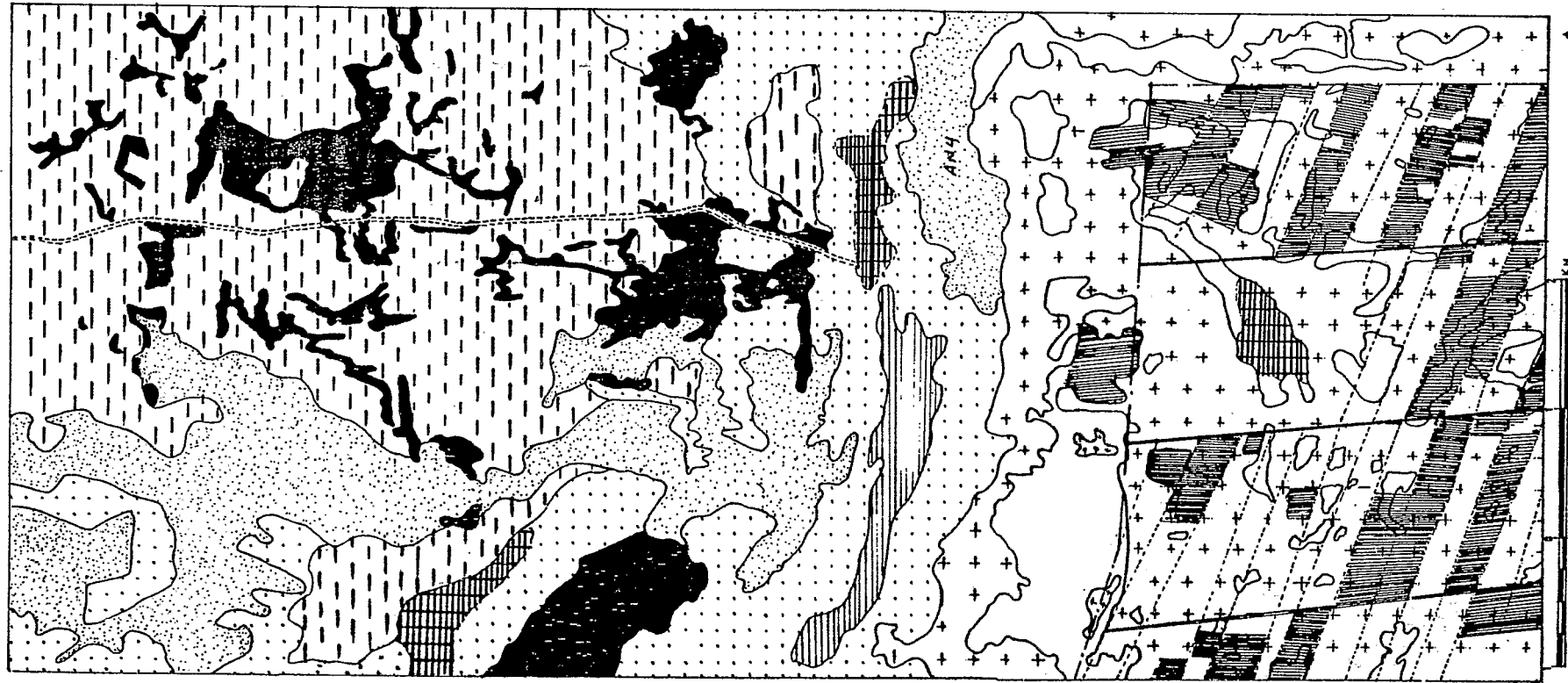
Il est évident qu'à cette étape de la méthodologie l'analyse dépend essentiellement de la distinction des valeurs de gris, en plus de la texture et de la structure. Ainsi la quantité de détails qui peuvent être extraits dépendent de la capacité de l'oeil humain qui ne peut distinguer que cinq classes ou niveaux de gris.

On met cependant en évidence les principales unités géomorphologiques et de paysages aussi bien que certains constituants formant des unités hiérarchiquement moins importantes.

D'autres commentaires peuvent être faits concernant la qualité des images et la lisibilité des différents canaux. Ainsi on constate que, malgré un agrandissement de cinq fois, les contrastes de l'image ne sont pas altérés. En outre, les canaux XS1 et XS2 sont corrélés avec les caractères de surface des sols, autres que la végétation.

Ces types de végétation et de surfaces associés à une certaine humidité sont bien exprimés par le canal XS3. Par contre, sur le canal panchromatique XP les types de parcellaires et les formes topographiques sont mieux identifiées.

FIG. 8 ANALYSE VISUELLE DES SIMULATIONS SPOT (NOIR ET BLANC)
AZAZI



-ANALYSE VISUELLE DES SIMULATIONS SPOT
IMAGES NOIR ET BLANC - ZONE D'AZAZI

UNITE D'INTERPRETATION			VALEUR DES GRIS DANS LES DIFFERENTS CANAUX			
	N°	IDENTIFICATION	XS1	XS2	XS3	XP
	1	Zone d'agriculture traditionnelle	gris sombre	gris sombre	gris très sombre	gris sombre
	2	Zone hétérogène associée à des traces d'anciennes cultures traditionnelles	gris clair et blanc pâle	gris clair et blanc pâle	gris moyen et gris blanchâtre	gris moyen et blanc pâle
	3	Zones probablement très salées ou zones surélevées	blanc	blanc	blanc brillant	blanc
	4	Dépressions planes	gris clair homogène	gris clair homogène	gris sombre homogène	gris clair homogène
	5	Non identifié	gris clair	gris clair	gris	gris clair
	6	Sols nus dans les zones cultivées dans les périmètres irrigués et les terres avoisinantes	gris	gris	gris sombre	gris
	7	Végétation et zones cultivées	gris très sombre	gris très sombre	blanc	gris très sombre
	8	Plages discontinues associées à des zones de cultures irriguées	gris blanchâtre	gris blanchâtre	gris blanchâtre	gris blanchâtre
	9	Villages	gris hétérogène gris blanchâtre	gris hétérogène gris blanchâtre	gris hétérogène blanc	gris hétérogène gris blanchâtre
	10	Routes, pistes	gris	gris	gris sombre	gris

TABLEAU 2 -

ANALYSE VISUELLE DES COMPOSITIONS COLOREES

Le cerveau humain reçoit les impulsions colorées depuis les yeux via trois types de capteurs situés sur la rétine et correspondant respectivement à la lumière bleue, verte et rouge. Ainsi telle couleur que nous associons à tel objet particulier dépend de la quantité particulière de bleu, de vert et de rouge qu'il réfléchit. Additionnés ensemble ces trois impulsions sont perçues comme une seule couleur caractérisant cet objet.

En définitive nous percevons toutes les couleurs en synthétisant les pourcentages relatifs des trois couleurs. Les combinaisons variables de l'addition de ces couleurs primaires nous permettent donc de distinguer différentes couleurs.

L'analyse des compositions colorées produites par la superposition des couleurs complémentaires (jaune, magenta, cyan) nous permet la visualisation de combinaisons variées des couleurs primaires.

Il en résulte qu'il est possible de définir une série de variations de couleurs qui correspondent à des énergies différentes réfléchies pour différents objets à la surface du sol. Il est clair (fig. 10-11-12) que ce traitement a pour résultat de pouvoir introduire dans les unités précédemment définies (par l'analyse des images noir et blanc) des subdivisions plus fines et très variées. Bien que ce procédé fournisse encore un niveau élevé de détails, les unités délimitées sont difficiles à définir et à décrire. En effet elles représentent souvent de petites différences sur une même unité géomorphologique.

KOSTI
FIG. 3 ANALYSE VISUELLE DES SIMULATIONS SPOT (NOIR ET BLANC)



ANALYSE VISUELLE DES SIMULATIONS SPOT
IMAGES NOIR ET BLANC - ZONE DE KOSTI

UNITE D'INTERPRETATION		VALEUR DES GRIS DANS LES DIFFERENTS CANAUX			
N°	IDENTIFICATION	XS1	XS2	XS3	XP
	1 Anciens chenaux du Nil Blanc	gris, gris sombre et gris très sombre	gris, gris sombre et gris très sombre	gris clair et gris	gris, gris sombre et gris très sombre
	2 Iles anciennes (terres entre les chenaux)	gris clair gris blanchâtre	blanc, gris clair blanchâtre	blanchâtre clair à gris moyen	blanchâtre clair à gris clair
	3 Iles anciennes	blanc - gris blanchâtre	blanc - gris blanchâtre	blanc clair gris blanchâtre	blanc - gris blanchâtre
	4 Zones d'anciens chenaux - associés à zone de cultures	gris blanchâtre	gris blanchâtre	gris blanchâtre moyen	gris blanchâtre
	5 Levées discontinues le long de l'ancienne rivière (bourrelets)	blanc	blanc	blanc	blanc
	6 Dépressions et axes de drainage	gris sombre à moyen	gris sombre à moyen	gris clair moyen	gris sombre moyen
	7 Zones fortement disséquées (probablement des pédiments)	gris blanchâtre rayé de gris	gris blanchâtre rayé de gris	gris clair blanchâtre rayé de gris clair	gris clair blanchâtre rayé de gris clair
	8 Zone de transition non disséquée	gris blanchâtre	gris blanchâtre	gris clair blanchâtre	gris blanchâtre
	9 Affleurements rocheux ?	gris	gris	gris clair	gris
	10 Végétation et zone de culture	noir à gris sombre	noir gris sombre	blanc, gris clair blanchâtre	noir gris sombre
	Routes, pistes	gris	gris	gris	gris
	Pont sur le Nil Blanc	gris blanchâtre	gris blanchâtre	gris blanchâtre	gris blanchâtre
	Fleuve (Nil Blanc)	gris moyen gris blanchâtre	gris moyen	noir	gris moyen
	Canaux d'irrigation	gris sombre	gris sombre	gris sombre	gris sombre

TABLEAU 3 -

Pour AZAZI, la composition colorée a été analysée selon la méthode décrite dans le chapitre précédent. On distingue ainsi six grands ensembles en fonction de la couleur dominante (brun, violet, bleu, jaune, rouge et blanc). Chaque couleur comprend plusieurs zones en fonction de la couleur secondaire et de la structure :

Couleur dominante	Symbole sur la carte	Codage
1 Brun 	1	110
	2	141
	3	131
	4	120
	5	130
2 Violet 	6	230
	7	220
	8	210

FIG.10 ANALYSE VISUELLE DES SIMULATIONS SPOT (COMPOSITION COLOREE)
DONGOLA

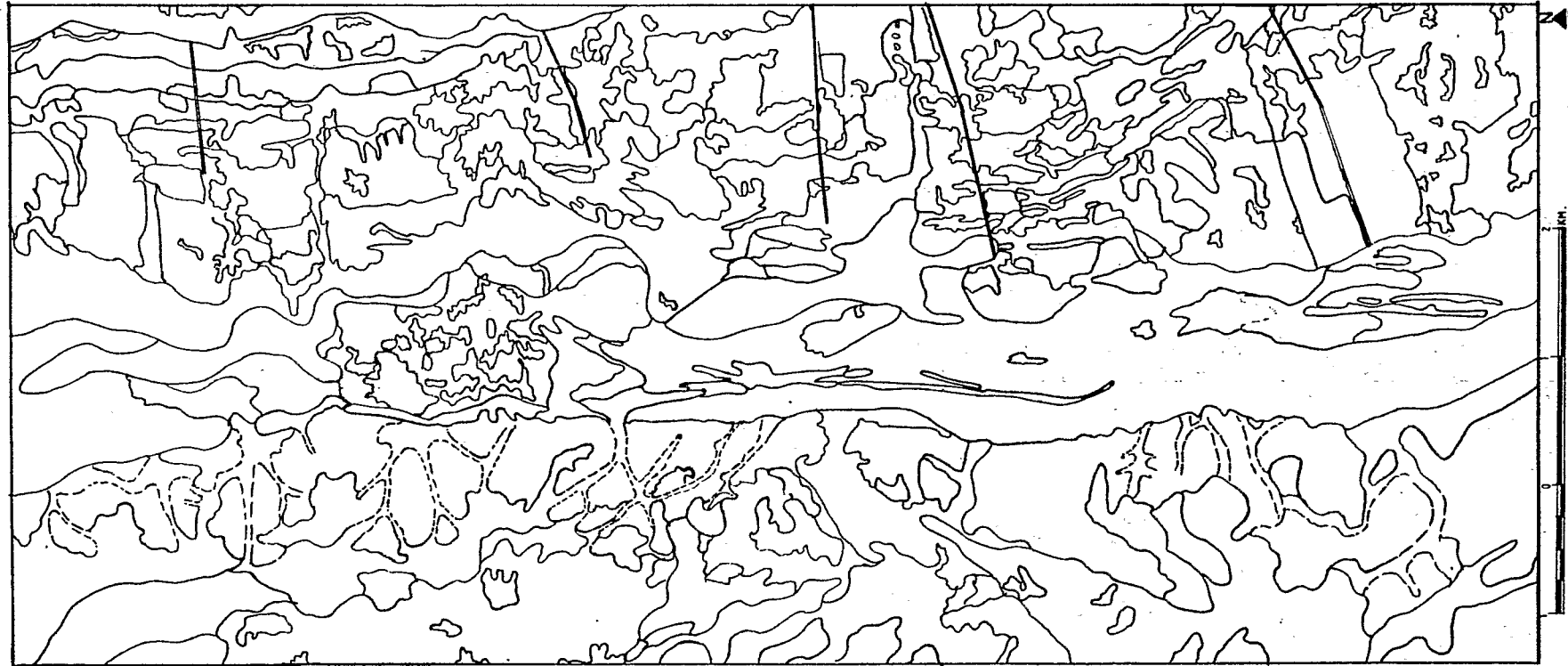
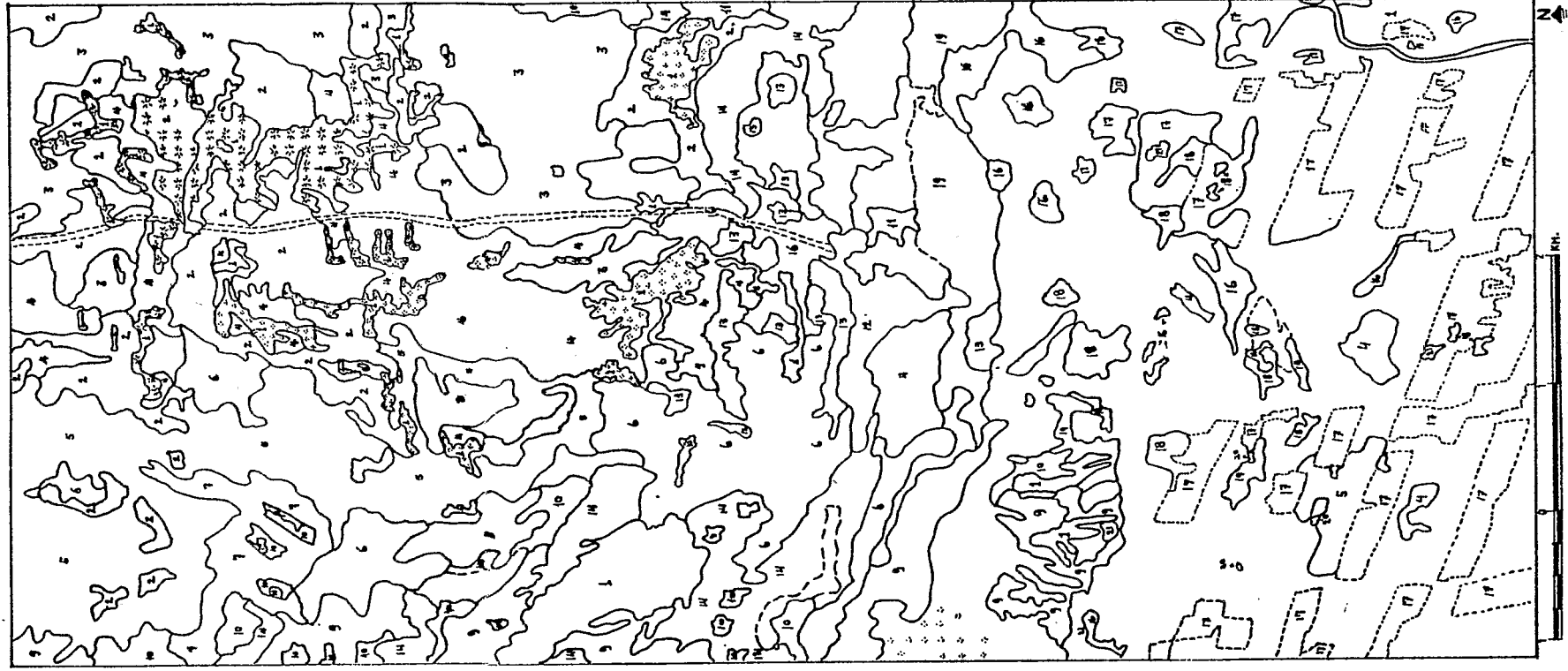


FIG.11 AZAZI
ANALYSE VISUELLE DES SIMULATIONS SPOT/COMPOSITION COLOREE

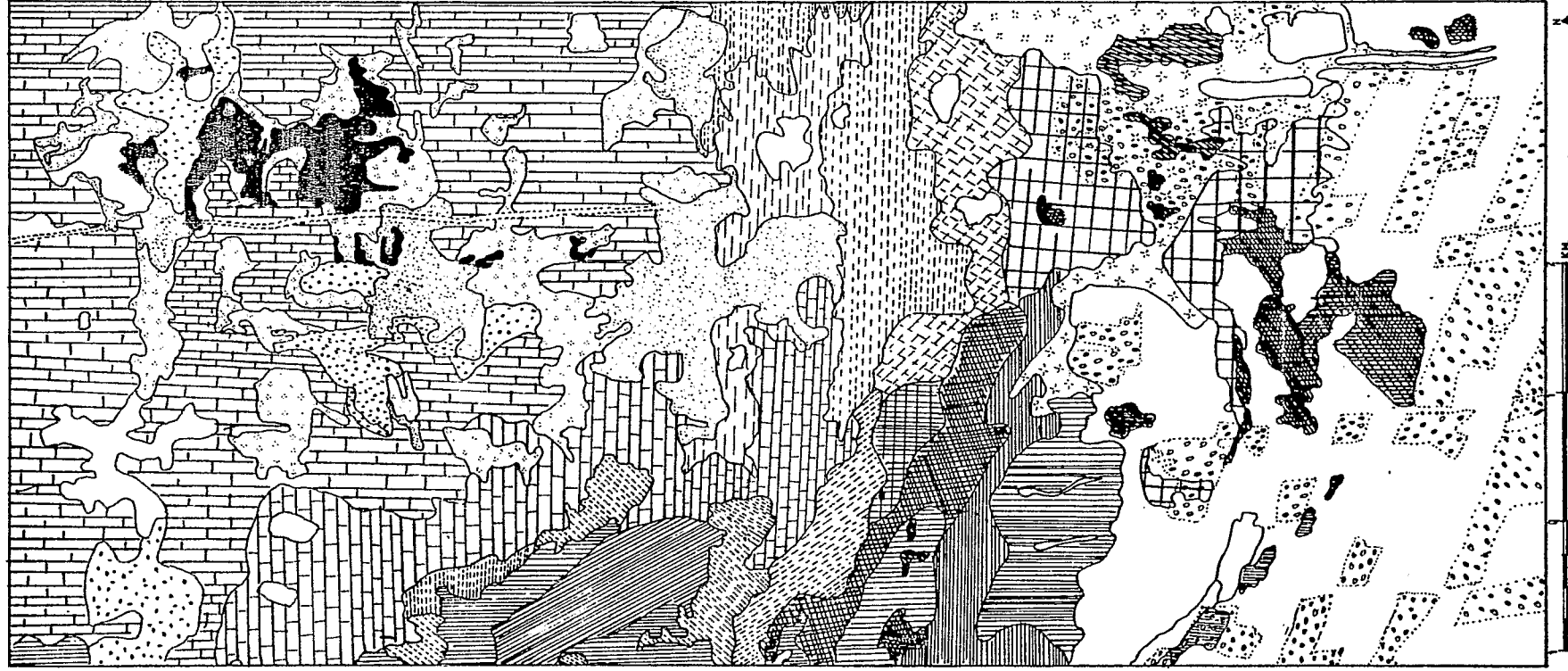


KOSTI
ANALYSE VISUELLE DES SIMULATIONS SPOT (COMPOSITION COLOREE)

FIG. 12

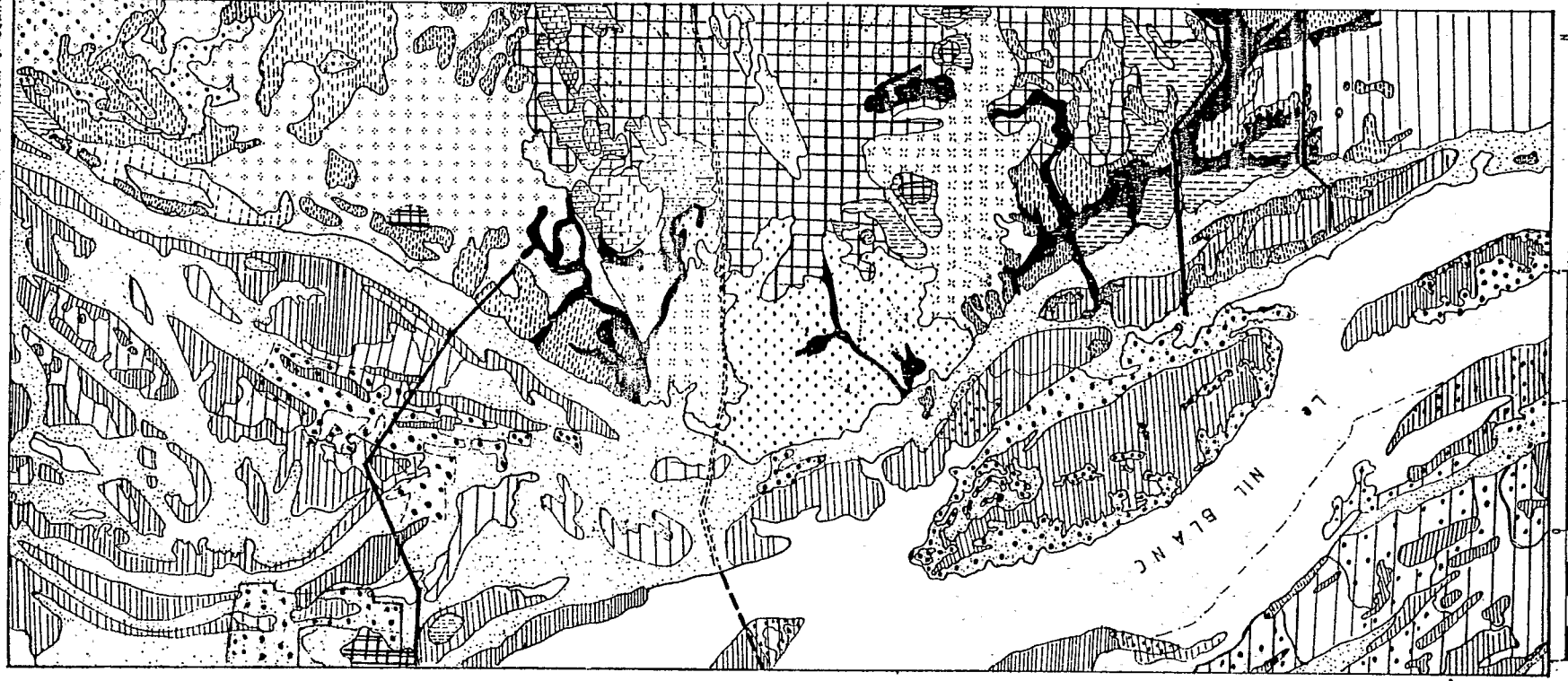


FIG. 13
ANALYSE VISUELLE DU NEO CANAUX (DXS1 - DXS11 ET DXS3 - DXS21) DES SIMULATIONS SPOT NOIR ET BLANC



KOSTI

FIG. 2 ANALYSE VISUELLE DU NED CANAUX (DSS2—DSS1 ET DSS3—DSS2) DES SPILATIONS SPOT (NOIR ET BLANC)



3 Bleu	9	320
	10	330
	11	340
4 Jaune	12	420
	13	430
	14	440
	15	410
5 Rouge	16	530
	17	541
	18	520
	19	510
6 Blanc	20	610
	21	620

Pour Dongola et Kosti, l'analyse n'a pas été conduite jusqu'au codage des zones comme pour Azazi qui sert d'exemple méthodologique. Cependant, l'analyse a servi en apportant de nombreux détails nécessaires à la préparation de la prospection pédologique.

ANALYSE VISUELLE DES NEOCANAUUX ("soustraction" de densité)

L'image résultant de ce procédé de "soustraction" de densité, à partir des canaux d'origine, semble avoir des effets très marquants sur l'homogénéité des unités. Il en résulte une définition et un tracé plus précis des limites de ces unités.

En outre, bien que l'analyse soit basée sur la distinction de valeurs de gris il est malgré tout possible de définir une plus grande gamme d'unités dans la mesure où elles intègrent la différence de luminance entre deux canaux.

L'analyse visuelle des néocanaux (fig. 13-14) paraît être en étroite corrélation avec les résultats de la photointerprétation des photos aériennes de la même zone. Cependant, dans de nombreux cas, les caractéristiques de la surface des sols sont mieux définis sur les néo-canaux.

ANALYSE NUMERIQUE

Les traitements numériques ne concernent que la région d'Azazi. Au terme de cette analyse basée sur les valeurs radiométriques des pixels et leurs regroupements en thèmes nous avons pu obtenir deux exemples de cartes radiométriques résultant de deux types de classification : méthode des hypercubes¹ et procédure "loterie" (planche couleur hors-texte).

¹ Cette carte en couleurs n'est pas jointe au présent rapport.

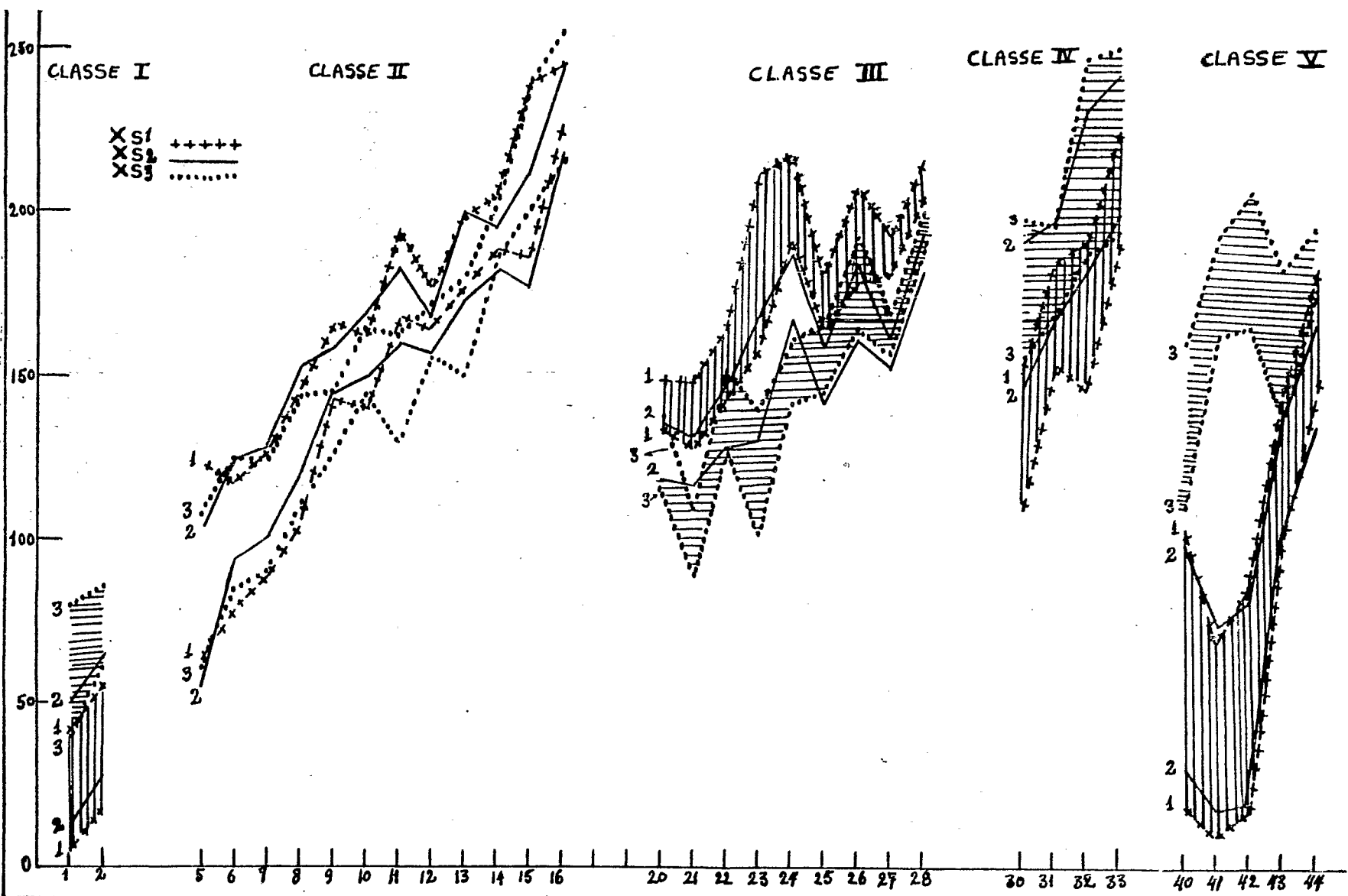


Fig. 15 - Région d'Azazi : Regroupement des 32 zones-test en 5 classes principales en fonction des valeurs radiométriques ("serpents") dans les canaux XS1, XS2, XS3

Classification par hypercubes

Sur la composition colorée, visualisée sur l'écran du P 1000 off line, on délimite avec le curseur 32 zones-test. Compte-tenu de leur position sur les histogrammes bi-dimensionnels (XS1-XS2, XS2-XS3, XS1-XS3), c'est à dire en fait de leurs valeurs radiométriques dans les trois canaux, on peut les regrouper en cinq classes principales (fig. 15) :

- la **classe I** correspond aux zones sombres sur la composition colorée dans les trois canaux. Elle se localise uniquement dans certaines zones ou parcelles du périmètre irriguées de la Gezira. Sans doute s'agit-il de sols très humides.

- la **classe II** comprend une gamme variée depuis les faibles jusqu'au fortes valeurs en suivant sensiblement la "**droite des sols**" (ou "droite de brillance") sur les histogrammes bidimensionnels. Sur la composition colorée on passe du brun foncé au blanc. On constate en outre que les valeurs radiométriques sont sensiblement comparables dans les trois canaux.

- la **classe III** caractérise les zones de couleur violette à bleue sur la diazo (bleu à bleu très pâle sur la composition colorée écran P 1000). Les **luminances dans le canal 1** sont toujours relativement **plus élevées** que celles des autres canaux. Les pixels se répartissent le long d'un axe parallèle à la "droite des sols".

- la **classe IV**, au contraire, correspond aux zones jaunes à blanches sur la composition colorée c'est-à-dire aussi à des **valeurs radiométriques relativement plus élevées dans le canal 2**. Les pixels se répartissent le long d'un axe, parallèle au précédent, mais situé de "l'autre côté" de la "droite des sols" (cf. diapo).

- la **classe V** s'écarte totalement de ces droites avec des **valeurs très élevées dans le canal 3** : sols couverts par une "végétation active" dans le périmètre irrigué.

La figure 16 illustre la position de quelques hypercubes (1,2,3,4,5,6) dans l'espace des canaux XS1, XS2, XS3. Certains sont bien individualisés, d'autres restent "emboîtés" les uns dans les autres, même si l'on fait varier les bornes sur les canaux, c'est-à-dire si l'on modifie la dimension de ces cubes.

On peut aussi constater qu'avec cette méthode il reste souvent un certain nombre de pixels non classés (entre les hypercubes). Quoiqu'il en soit elle permet de discriminer des thèmes assez bien définis et différenciés du point de vue de leurs valeurs radiométriques. Elle constitue surtout une approche très intéressante pour étudier la structure des données dans l'espace radiométrique des trois canaux.

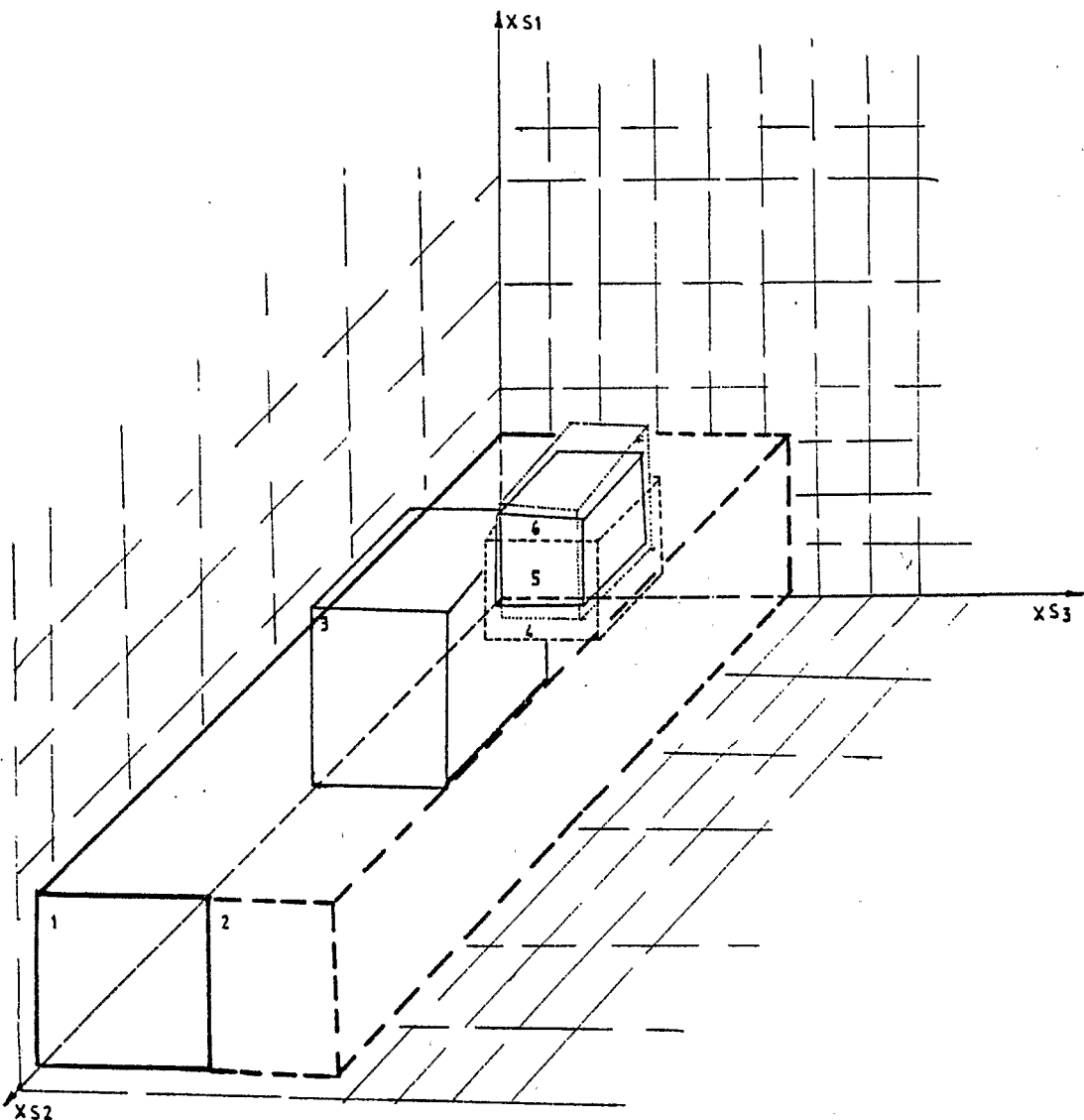


Fig. 16 - Position des hypercubes dans l'espace des canaux XS1, XS2, CS3

Classification par la procédure "loterie"

Le seuillage, effectué sur les trois canaux, tient compte de plusieurs analyses :

- (fig. 17) - histogrammes avec des "pics" et des "palliers" assez nets
- histogrammes bidimensionnels (fig. 18) et toute l'analyse précédente des hypercubes
- seuillage topologique à l'écran

La combinaison des trois canaux crée des lots juxtaposés que l'on va ensuite regrouper en thèmes qui, ici, ne peuvent "s'emboîter" comme précédemment (fig. 19).

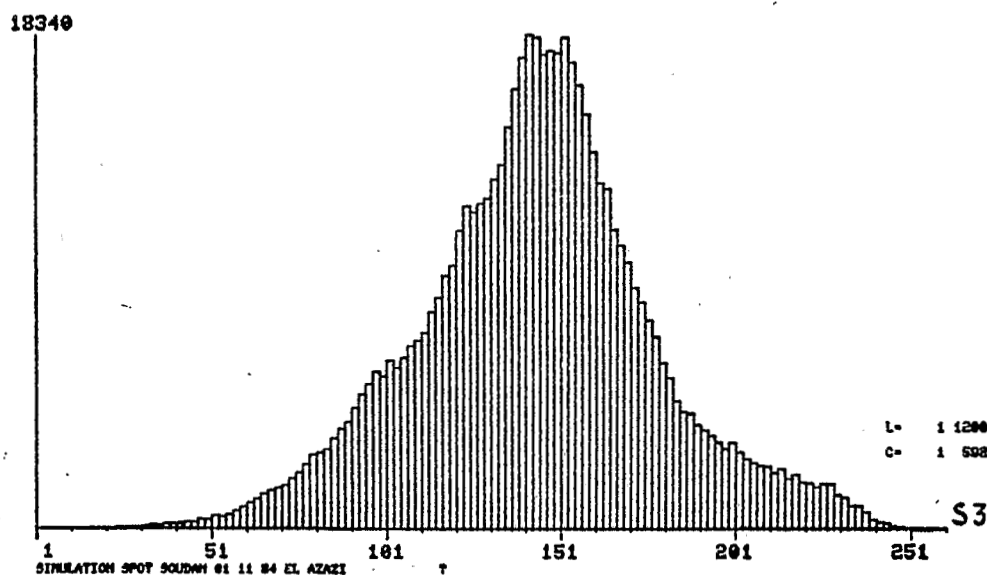
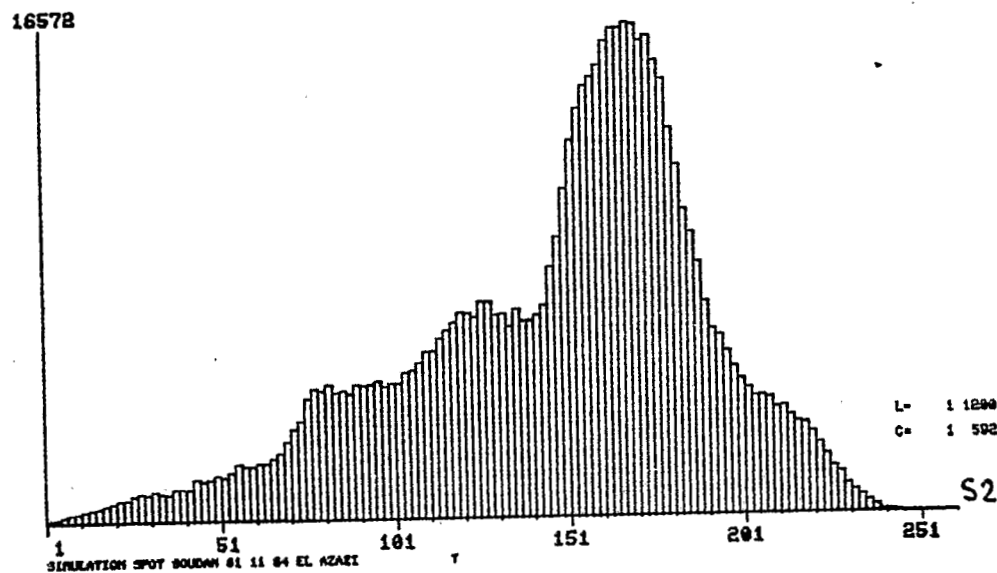
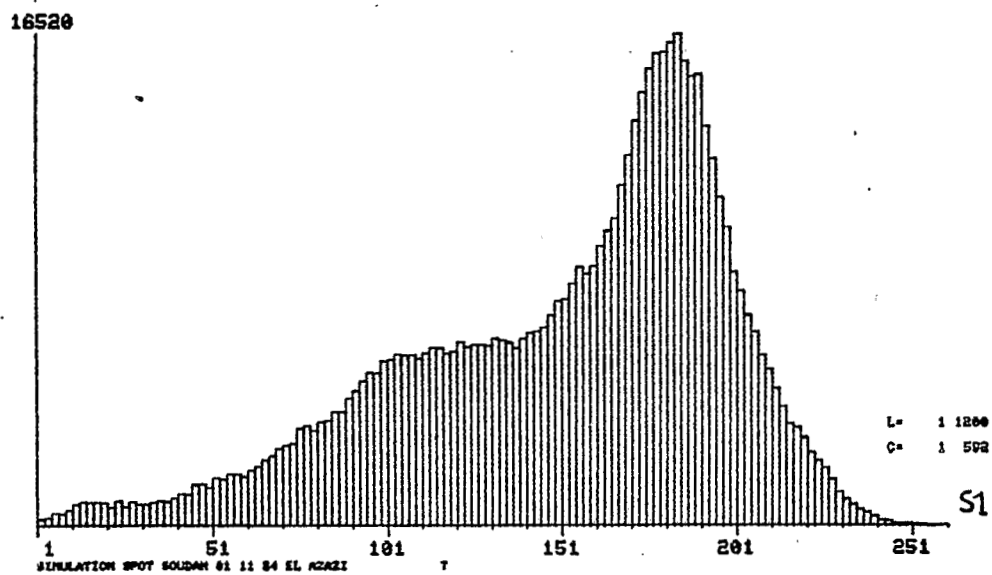


Fig. 17 - Histogrammes des canaux XS1, XS2, XS3

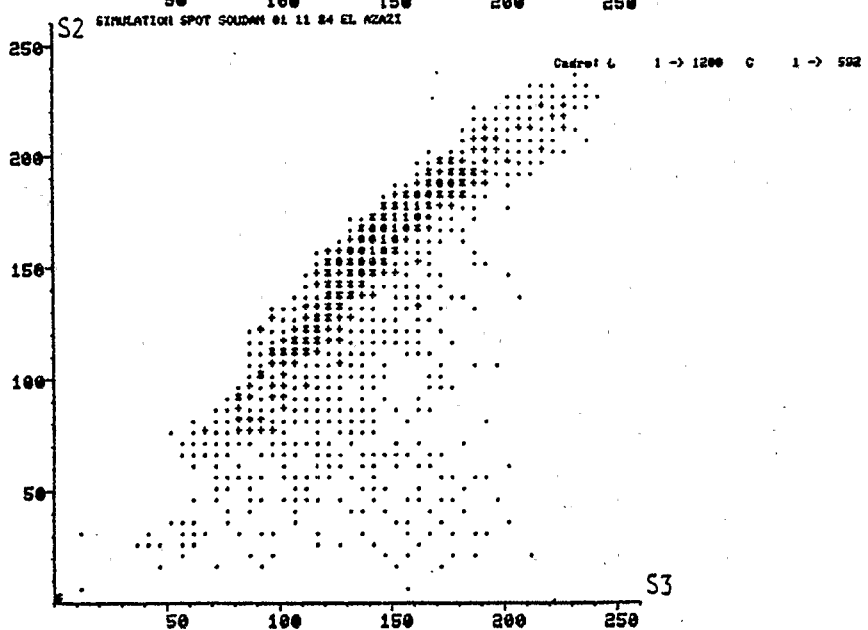
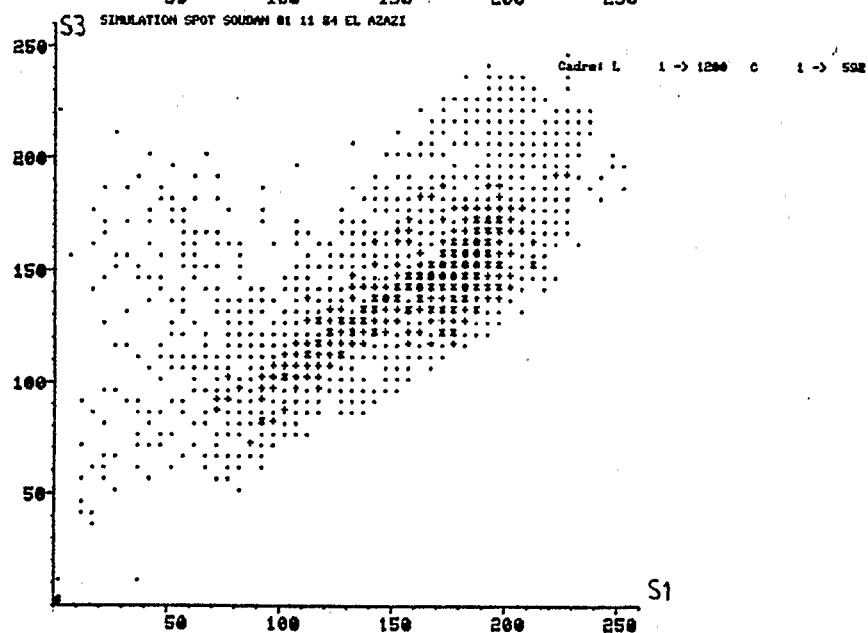
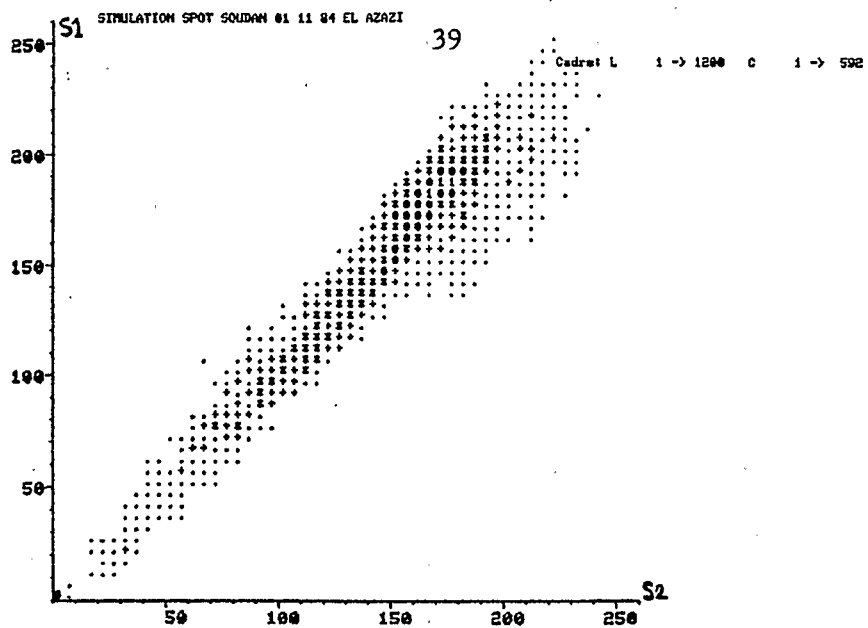


Fig. 18 - Histogrammes bidimensionnels

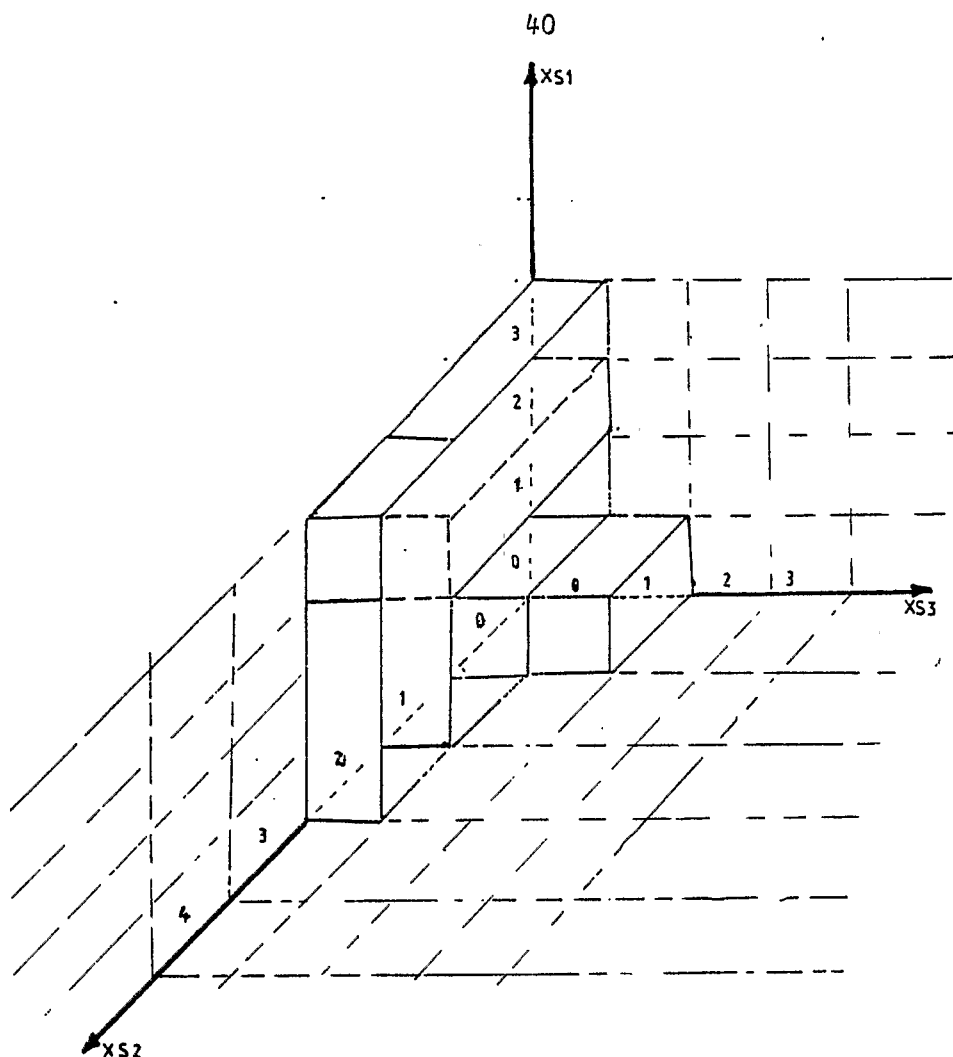


Fig. 19 - Principe d'une loterie à trois canaux

Le listing (fig. 20) indique :

- les seuils retenus pour les canaux : XS1 = 1-63 ; 64-103 etc...
- pour chacun des lots classés par importance décroissante, le numéro (N), le codage du lot (CL), le nombre de pixels (NPIX), le pourcentage (%) et le pourcentage cumulé.

Au terme du regroupement des lots on individualise 19 thèmes pour faire un tracé automatique : la carte infographique des états de surface à 1/25 000 (planche hors texte). Il n'est pas surprenant de constater que ces 19 thèmes s'organisent autour des 5 classes de la classification précédente. Des hypothèses peuvent être formulées quant à certaines caractéristiques de surface des sols telles que la couleur (teinte et clarté)¹, l'humidité, la présence de végétation "active".

La procédure "loterie" permet de classer tous les pixels. Elle semble donner des résultats fiables et logiques.

¹ Sols irrigués très humides	=====	classe I
Sols "gris"	=====	classe II (droite des sols)
Sols "plus jaunâtres"	=====	classe III
Sols "plus rouges"	=====	classe IV
Végétation active	=====	classe V

SIMULATION SPOT SOUDAN 01 11 84 EL AZAZI
T

CADRE:

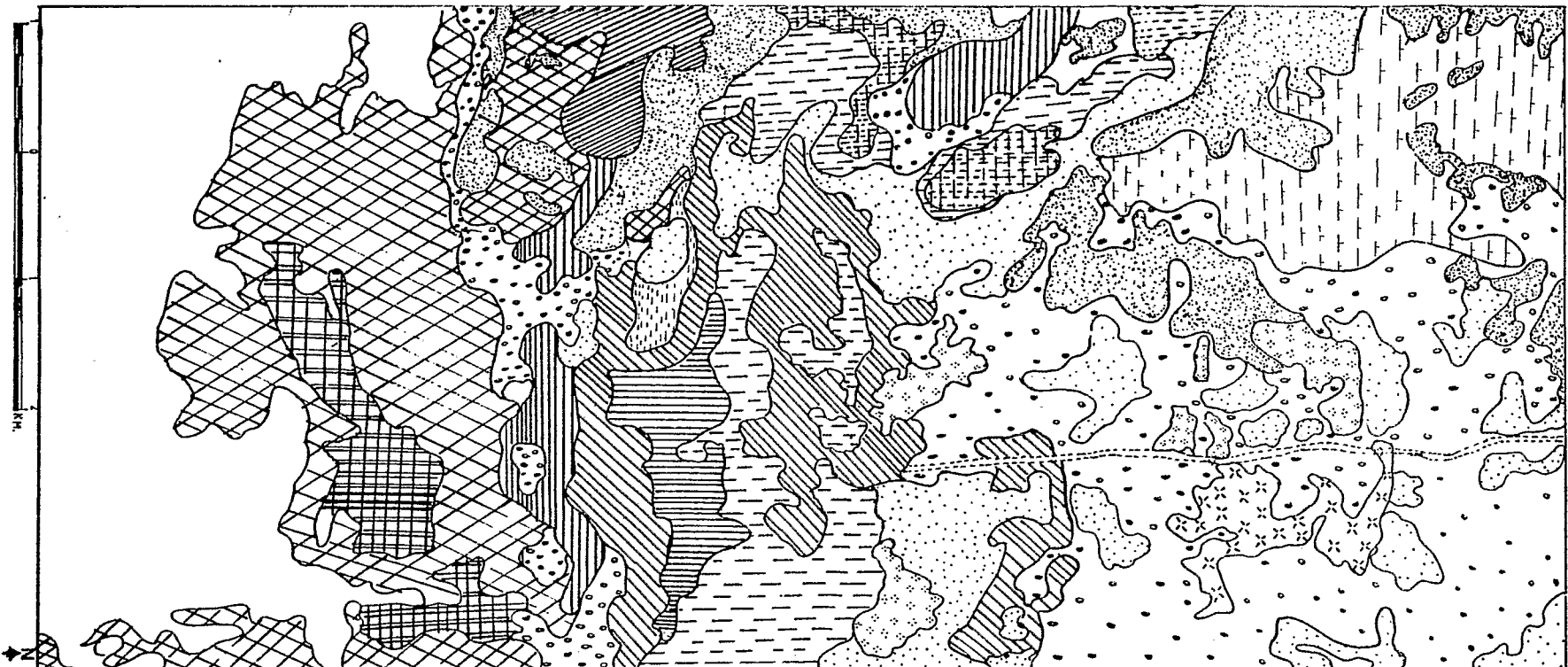
L= 1 1200
C= 1 592

CODAGE DES LOTS *****

	0	1	2	3	4	5	6	7								
CANAL 1	1	63	64	103	104	127	128	147	148	163	164	184	185	225	226	255*
CANAL 2	1	55	56	97	100	117	118	143	144	168	169	198	199	255*		
CANAL 3	1	61	62	106	107	124	125	140	141	159	160	192	193	255*		
N	CL	NPIX		X1	X2	Z1	Z2									
1	455	59416		0.084	0.084	72	231			944				0.001	0.855	
2	544	49820		0.070	0.154	73	642			928				0.001	0.856	
3	654	39296		0.055	0.209	74	12			796				0.001	0.857	
4	111	36344		0.051	0.261	75	213			732				0.001	0.858	
5	543	30296		0.043	0.303	76	124			732				0.001	0.859	
6	666	29120		0.041	0.344	77	125			720				0.001	0.860	
7	555	25800		0.036	0.380	78	435			720				0.001	0.861	
8	444	22224		0.031	0.412	79	466			524				0.001	0.862	
9	554	19536		0.027	0.439	80	214			484				0.000	0.863	
10	333	18096		0.025	0.465	81	10			472				0.000	0.863	
11	232	16956		0.024	0.489	82	323			464				0.000	0.864	
12	443	16320		0.024	0.512	83	245			444				0.000	0.865	
13	332	14132		0.020	0.532	84	755			320				0.000	0.865	
14	221	11568		0.016	0.548	85	454			320				0.000	0.866	
15	222	11544		0.016	0.565	86	116			260				0.000	0.866	
16	643	10264		0.014	0.579	87	324			244				0.000	0.866	
17	542	9204		0.013	0.592	88	215			236				0.000	0.867	
18	112	9148		0.013	0.605	89	103			228				0.000	0.867	
19	233	8664		0.012	0.617	90	754			212				0.000	0.867	
20	665	8580		0.012	0.629	91	446			208				0.000	0.867	
21	455	7520		0.011	0.640	92	546			204				0.000	0.868	
22	1	7276		0.010	0.650	93	244			200				0.000	0.868	
23	121	6656		0.009	0.659	94	533			196				0.000	0.868	
24	644	6404		0.009	0.668	95	105			180				0.000	0.869	
25	566	6048		0.009	0.677	96	356			144				0.000	0.869	
26	343	5672		0.008	0.685	97	101			144				0.000	0.869	
27	113	5664		0.008	0.693	98	132			136				0.000	0.869	
28	344	5368		0.008	0.701	99	325			132				0.000	0.869	
29	331	5256		0.007	0.708	100	236			124				0.000	0.869	
30	432	5228		0.007	0.715	101	102			120				0.000	0.870	
31	334	5160		0.007	0.723	102	104			116				0.000	0.870	
32	445	5028		0.007	0.730	103	126			116				0.000	0.870	
33	211	4624		0.007	0.736	104	336			104				0.000	0.870	
34	223	4492		0.006	0.742	105	16			96				0.000	0.870	
35	766	4484		0.006	0.749	106	645			76				0.000	0.870	
36	122	4068		0.006	0.754	107	545			72				0.000	0.871	
37	114	3920		0.006	0.760											
38		3640		0.005	0.765	108	534			56				0.000	0.871	
39	433	3608		0.005	0.770	109	103			52				0.000	0.871	
40	5	3504		0.005	0.775	110	226			52				0.000	0.871	
41	115	3312		0.005	0.780	111	100			44				0.000	0.871	
42	11	3296		0.005	0.784	112	346			44				0.000	0.871	
43	234	2996		0.004	0.789	113	210			32				0.000	0.871	
44	224	2788		0.004	0.793	114	243			28				0.000	0.871	
45	2	2784		0.004	0.796	115	315			28				0.000	0.871	
46	556	2608		0.004	0.800	116	320			28				0.000	0.871	
47	765	2424		0.003	0.804	117	531			24				0.000	0.871	
48	335	2400		0.003	0.807	118	106			20				0.000	0.871	
49	545	2392		0.003	0.810	119	134			20				0.000	0.871	
50	4	2032		0.003	0.813	120	255			20				0.000	0.871	
51	656	1968		0.003	0.816	121	436			20				0.000	0.871	
52	212	1928		0.003	0.819	122	553			20				0.000	0.871	
53	3	1888		0.003	0.821	123	105			16				0.000	0.871	
54	345	1884		0.003	0.824	124	310			12				0.000	0.871	
55	110	1796		0.003	0.827	125	312			12				0.000	0.871	
56	123	1676		0.002	0.829	126	535			12				0.000	0.871	
57	653	1676		0.002	0.831	127	646			12				0.000	0.871	
58	456	1492		0.002	0.833	128	342			3				0.000	0.871	
59	6	1396		0.002	0.835	129	354			3				0.000	0.871	
60	321	1392		0.002	0.837	130	424			3				0.000	0.871	
61	431	1388		0.002	0.839	131	143			4				0.000	0.871	
62	351	1340		0.002	0.841	132	220			4				0.000	0.871	
63	322	1208		0.002	0.843	133	313			4				0.000	0.871	
64	14	1180		0.002	0.846	134	314			4				0.000	0.871	
65	15	1156		0.002	0.849	135	420			4				0.000	0.871	
66	532	1152		0.002	0.852	136	421			4				0.000	0.871	
67	434	1028		0.001	0.854	137	422			4				0.000	0.871	
68	442	1028		0.001	0.857	138	425			4				0.000	0.871	
69	225	984		0.001	0.859	139	536			4				0.000	0.871	
70	235	976		0.001	0.863											

Fig. 20 - Listing des lots

FIG. 21

AZAZI
PROSPECTION PEDOLOGIQUE

PROSPECTION PEDOLOGIQUE

Par suite de ces traitements variés nous sommes parvenus à une série d'analyses qui apportent chacune un certain nombre de détails complémentaires (cf. début de ce chapitre). L'objectif de ce travail est de proposer, pour les trois régions, un plan de prospection pédologique qui sera soumis ultérieurement à des vérifications de terrain. Il est à la base d'une étude des corrélations existant réellement entre la distribution des sols et les données Simulations Spot.

Ainsi donc cette préparation de prospection facilite l'étude de terrain pour plusieurs raisons :

- elle fournit un premier aperçu satisfaisant sur la nature du terrain et sur l'arrangement et la distribution des sols. Elle met en évidence les principales variations de la surface des sols qui peuvent aider à définir les différentes unités pédologiques.

- elle contribue efficacement à définir les unités géomorphologiques majeures et leurs composantes génétiques susceptibles de prévoir la nature du matériau originel et le mode de formation des sols, et donc leur classification.

- elle facilite le plan de travail sur le terrain dans la mesure où l'on peut choisir et localiser précisément les transects à étudier et l'emplacement des profils pédologiques à effectuer et à échantillonner.

- elle devrait réduire le temps passé sur le terrain en permettant l'extrapolation des connaissances entre le connu et l'inconnu en tenant compte des similitudes entre les éléments texturaux et structuraux de l'image ainsi que des valeurs radiométriques.

Il est par conséquent important que la prospection pédologique prenne en considération les variations et les différences qui ont une signification pour la cartographie et la différenciation des types de sols. Si l'on tient compte de détails superflus, basés sur des variations superficielles, et si l'on considère comme également importants tous les détails fournis par les différentes analyses on aboutira à une grande complexité. Il convient de préparer la prospection en ne considérant que les détails relatifs à des phénomènes logiques et naturels qui d'une façon ou d'une autre peuvent être reliés à des variations de sols.

En définitive les prospections pédologiques présentées dans cette étude sont le résultat d'une sélection de détails obtenus en superposant les résultats des différentes analyses menées dans les trois régions et résultant des traitements variés décrits dans ce rapport.

Il faut préciser que les trois régions n'ont pas été analysées de la même façon tant par le type que le nombre de traitements. Ceci devrait permettre d'estimer les différents niveaux d'amélioration et de qualité des prospections en fonction du nombre et du type de ces traitements.

Pour la région d'Azazi (fig. 21) la prospection pédologique est le résultat de la superposition des analyses suivantes :

- analyse visuelle des images noir et blanc des 3 canaux
- analyse visuelle des compositions colorées
- analyse visuelle des néocanaux
- classifications numériques

KOSTI
PROSPECTION PEDOLOGIQUE

FIG. 22



Pour la région de Kosti (fig. 22)

- analyse visuelle des images noir et blanc des 3 canaux
- analyse visuelle des compositions colorées
- analyse visuelle des néocanaux

Pour la région de Dongola (fig. 23)

- analyse visuelle des images noir et blanc des 3 canaux
- analyse visuelle des compositions colorées

Comme il l'a été mentionné précédemment la lisibilité et l'analyse des images est améliorée par les traitements. Il est clair que la superposition d'un plus grand nombre de ces traitements va augmenter l'efficacité pour distinguer des unités.

Ainsi on peut constater pour la région d'**Azazi** que, malgré l'absence de variations topographiques et physiographiques, une panoplie assez complète d'analyses permet de distinguer un grand nombre d'unités (19). La plupart concerne vraisemblablement des caractéristiques d'états de surface des sols (couleur, humidité, texture?), quelques unes les cultures (végétation "active").

Pour la région de **Kosti** où il y a des variations de topographie, l'absence d'analyse numérique a réduit grandement l'efficacité pour une bonne délimitation des unités, tout particulièrement dans la zone des anciens chenaux.

Pour la région de **Dongola**, où, à la fois l'analyse visuelle des néocanaux et l'analyse numérique n'ont pas été faites, on a malgré tout des unités relativement nombreuses et variées.

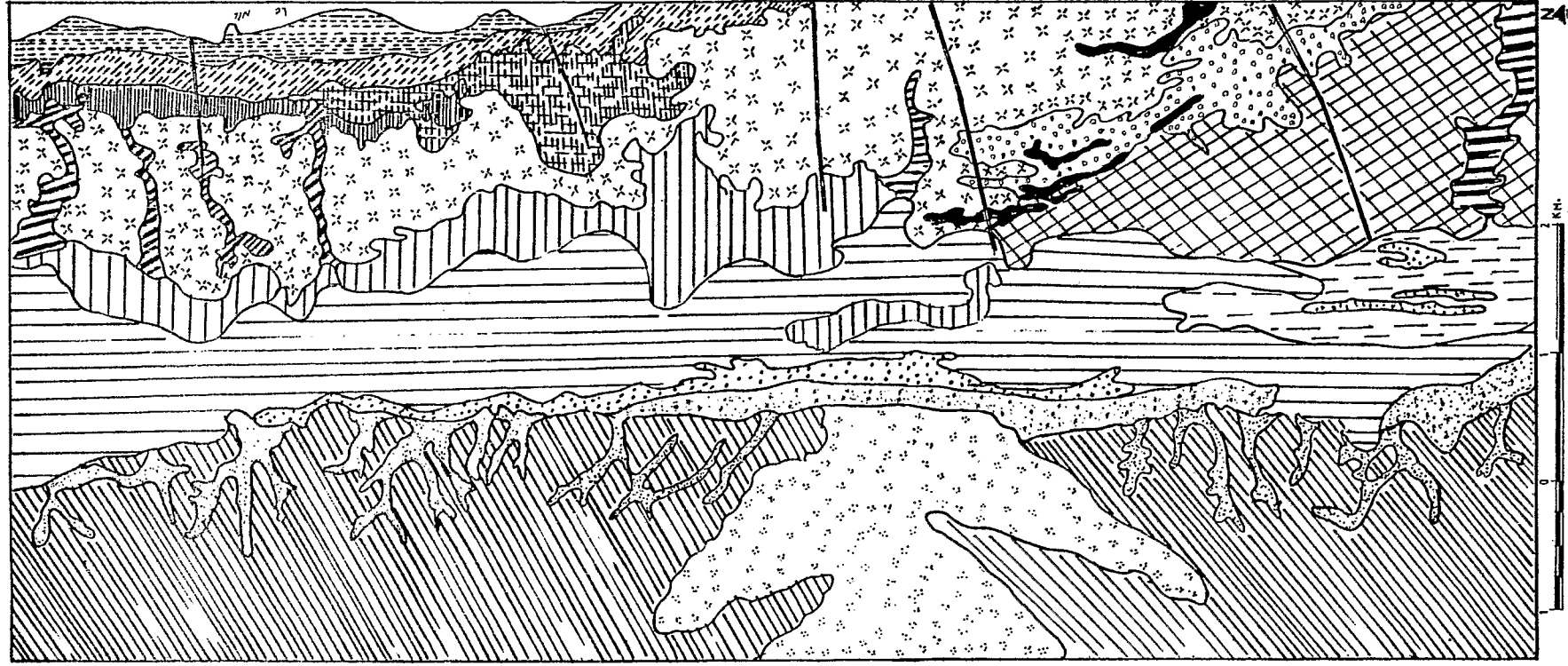
Cependant, sans trop se soucier de ces différences, on attend de ces préparations de prospections qu'elles servent effectivement à identifier et à caractériser des unités de sols après avoir effectué les vérifications de terrain. Les unités correspondant à des figures naturelles de distribution spatiale et continue n'ont pas été difficiles à reconnaître et à distinguer. Par contre, les unités basées sur des différences superficielles ont été plus difficiles à définir et à justifier; une majorité de celles-ci n'a pas été prise en compte.

ESSAI D'EVALUATION - COMPARAISON AVEC LA PHOTO-INTERPRETATION DES PHOTOS AERIENNES

Dans cette étude les résultats de la photointerprétation sont considérés comme un moyen de juger et d'évaluer les données Simulations Spot dans le cadre de la préparation d'une prospection pédologique. Malheureusement nous n'avons que les photos aériennes à l'échelle du 1/25 000 de la région de Kosti, échelle utilisée pour les cartographies semi-détaillées.

DONGOLA
PROSPECTION PEDOLOGIQUE

FIG. 23



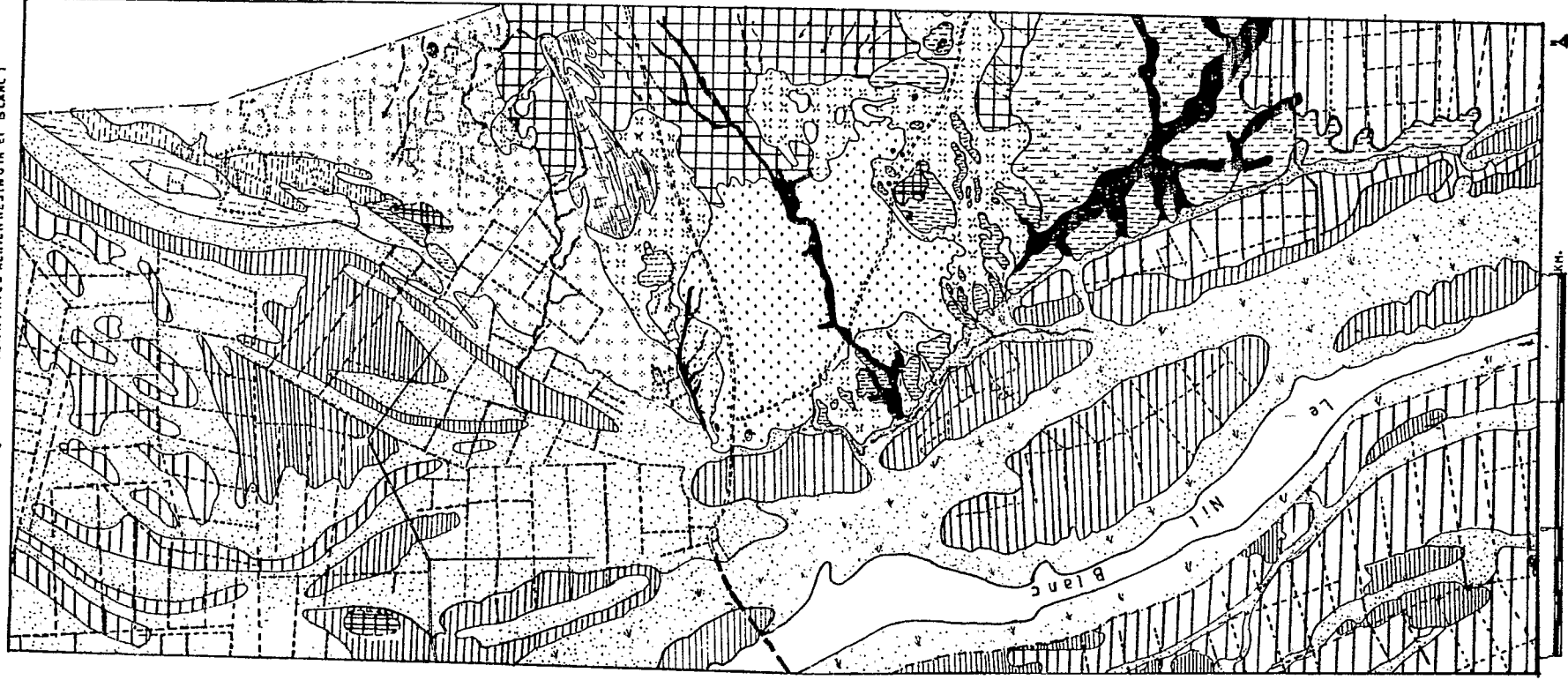
L'interprétation des photos aériennes fournit un document très fiable pour les prospections pédologiques à cause de la vision stéréoscopique du terrain. Elle permet en effet une représentation vraie du paysage où les relations et les différences entre unités de paysage apparaissent évidentes.

On peut voir sur la photointerprétation (fig. 24) qu'il a été possible de délimiter un grand nombre d'unités bien définies. A ces unités devraient correspondre des différences de types de sols qui sont en relation directe avec leurs situations dans le paysage.

En comparant cette photointerprétation des photos aériennes et la carte pour la prospection pédologique établie avec les données Simulations Spot, on ne peut que constater une grande similitude. Les petites différences tiennent surtout à la différence des dates d'acquisition car les photos aériennes sont très anciennes : changements du cours du fleuve et de la végétation fortement dégradée et moins dense dans la partie Est, différences dans le parcellaire, création de nouveaux aménagements hydro agricoles (canaux d'irrigations), etc.. Par contre en ce qui concerne les traits permanents du paysage les différences sont négligeables.

Une différence majeure se trouve être la possibilité d'identifier les unités mises en évidence sur la photo aérienne à cause de la vision stéréoscopique qui les situe avec précision dans leur contexte topographique. Ceci est plus difficile sur les Simulations Spot. Par contre, pour la mise en évidence des unités elles-mêmes on constate que dans beaucoup de cas, avec la panoplie des traitements disponibles on peut extraire une information très riche sur les Simulations Spot, particulièrement dans les zones planes (cf. région d'Azazi).

FIG. 24 KOSTI
INTERPRÉTATION DES PHOTOGRAPHIES AÉRIENNES NOIR ET BLANC



V. CONCLUSIONS

Les conclusions présentées à la fin de cette étude sont le résultat des différentes étapes du travail effectué au cours du stage. Elles concernent aussi bien la méthodologie utilisée que les résultats obtenus.

L'analyse visuelle aidée par les techniques et les traitements photochimiques facilite l'extraction de détails variés et nombreux. Ces détails dépendent de la méthodologie utilisée même si elle ne met en oeuvre que des procédés tels que les agrandissements, la création de néocanaux et la réalisation de compositions colorées.

L'application des **traitements photochimiques** ouvre la voie à une meilleure compréhension et une meilleure aptitude à identifier les composantes de l'image et donc à augmenter l'efficacité de l'analyse visuelle.

Ceci est tout particulièrement important dans les pays en voie de développement (PVD) où l'analyse visuelle des images est la méthode la plus couramment utilisée.

Il en résulte que **l'installation de laboratoires photographiques** est une nécessité absolue dans les départements et organisations utilisant la Télédétection. Cependant, le coût est élevé si chaque département s'équipe d'un tel laboratoire. Le problème peut être résolu facilement par l'installation d'un laboratoire national qui accueillerait les utilisateurs des différents départements.

L'analyse numérique qui permet la manipulation des valeurs radiométriques de chaque pixel est une technique efficace pour visualiser avec beaucoup de détails les réflectances. Celles-ci représentent une très large gamme de variations d'états de surface pouvant caractériser et expliquer certains phénomènes naturels. L'analyse numérique sert donc à identifier des zones d'assez grande superficie mais aussi à reconnaître de très petites différences de la taille du pixel.

Ceci est spécialement important dans les régions où les sols et leur répartition sont complexes. Si donc, des études précises de terrain peuvent corrélérer ces problèmes pédologiques avec les valeurs radiométriques, l'analyse numérique aidera l'identification et la cartographie des sols complexes, en particulier dans les zones arides où la salinité et l'alcalinité sont des problèmes majeurs.

Dans les régions planes, là où les variations topographiques et géomorphologiques sont très faibles, la cartographie des sols est difficile en utilisant les méthodes classiques, c'est le cas de la Gézira au Soudan. L'analyse numérique devrait dans ces conditions, se révéler une technique efficace.

Toutefois, le coût élevé d'une installation de traitement informatique, le manque de savoir faire technique et la rareté de personnel qualifié, entravent une grande extension de ces technologies dans beaucoup de PVD. Ceci peut être surmonté en installant des centres informatiques régionaux qui pourraient servir à plusieurs pays.

Comme on a pu le voir au cours des analyses effectuées au cours de cette étude, les données de Simulations Spot apportent une quantité considérable d'informations qu'il est possible d'extraire facilement en utilisant des techniques et des méthodes efficaces.

Les prospections pédologiques à moyenne échelle (1/25 000); préparées à partir des images de Simulations Spot, sont très comparables à celles préparées avec les photos aériennes.

Ceci indique les grandes possibilités de Spot pour la cartographie des sols à moyenne échelle, mais aussi à petite échelle (cartes semi-détaillées et cartes de reconnaissance).

En outre les données multispectrales de Spot apportent des informations nouvelles concernant la végétation (canal 3) et concernant surtout certaines caractéristiques de la surface des sols : couleur, texture, rugosité, etc.. De ce dernier point de vue, les canaux 1 et 2 (visible) sont très importants en zones arides et semi-arides pour caractériser les états de surface des sols et pour suivre leur évolution dans le temps.

En conclusion, l'auteur de ce rapport espère poursuivre cette étude en effectuant d'abord les vérifications de terrain sur les trois zones et en comparant ensuite, dans un futur proche, avec les données réelles du satellite SPOT dès que celui-ci sera lancé en octobre 1985.

LISTE DE LA BIBLIOGRAPHIE CONSULTÉE

ALI M.A., 1981 - Soils of the Sudan. Proceedings Third International Soil Classification Workshop. ACSAD : Damascus.

American Society of Photogrammetry, 1976 - Manual of Remote Sensing, vol. II, Interpretation and Application.

BALDE J., 1979 - Les satellites Landsat dans l'étude de la cartographie des sols. Applications à la République de Guinée.
Rapport de stage ORSTOM Paris.

BERNUS E. et PONCET Y., 1981 - Etude exploratoire du Milieu Naturel par Télédétection. Plaine de l'Eghazer, Niger SW de l'Aïr.
IDT n° 51, Télédétection 6, ORSTOM, Paris.

COMBEAU A., 1982 - Simulations des données du futur satellite SPOT, Ermenonville, 1980. Résultats dans le domaine de l'occupation des sols et comparaisons Landsat. Simulations SPOT.
IDT, n° 53, Télédétection 7, ORSTOM, Paris.

DOSSO M., KILLIAN J. and SAVARY G., 1983 - Etude IBM-IRAT. Campagne de Simulation des Données Spot, Haute Volta, Région de Bagré.
Centre Scientifique de Paris, Etude F.059.

DEWISPELAERE G., 1983 - Système de production d'élevage au Sénégal. Etude et cartographie d'évolution de la végétation par télédétection aérospatiale. IEMVT, Paris.

ESCADAFAL R., 1980 - Compte rendu de stage au Bureau de Télédétection de l'ORSTOM Bondy.

JAMAGNE M., 1967 - Bases et techniques d'une cartographie des sols. Paris, Annales Agronomiques.

LEROY G., 1980 - Utilisation des données satellites en Pédologie. ORSTOM, Bondy.

LILLES M., THOMAS M.L. and KIEFFER R.W., 1979 - Remote Sensing and Image Interpretation . John Willey and Sons, New York-Chichester-Brisbane-Toronto.

LORTIC B., 1982 - Une méthode d'analyse visuelle d'une image spatiale. Objectivation du zonage manuel. Mémoire EHESS, Paris, 56 p.

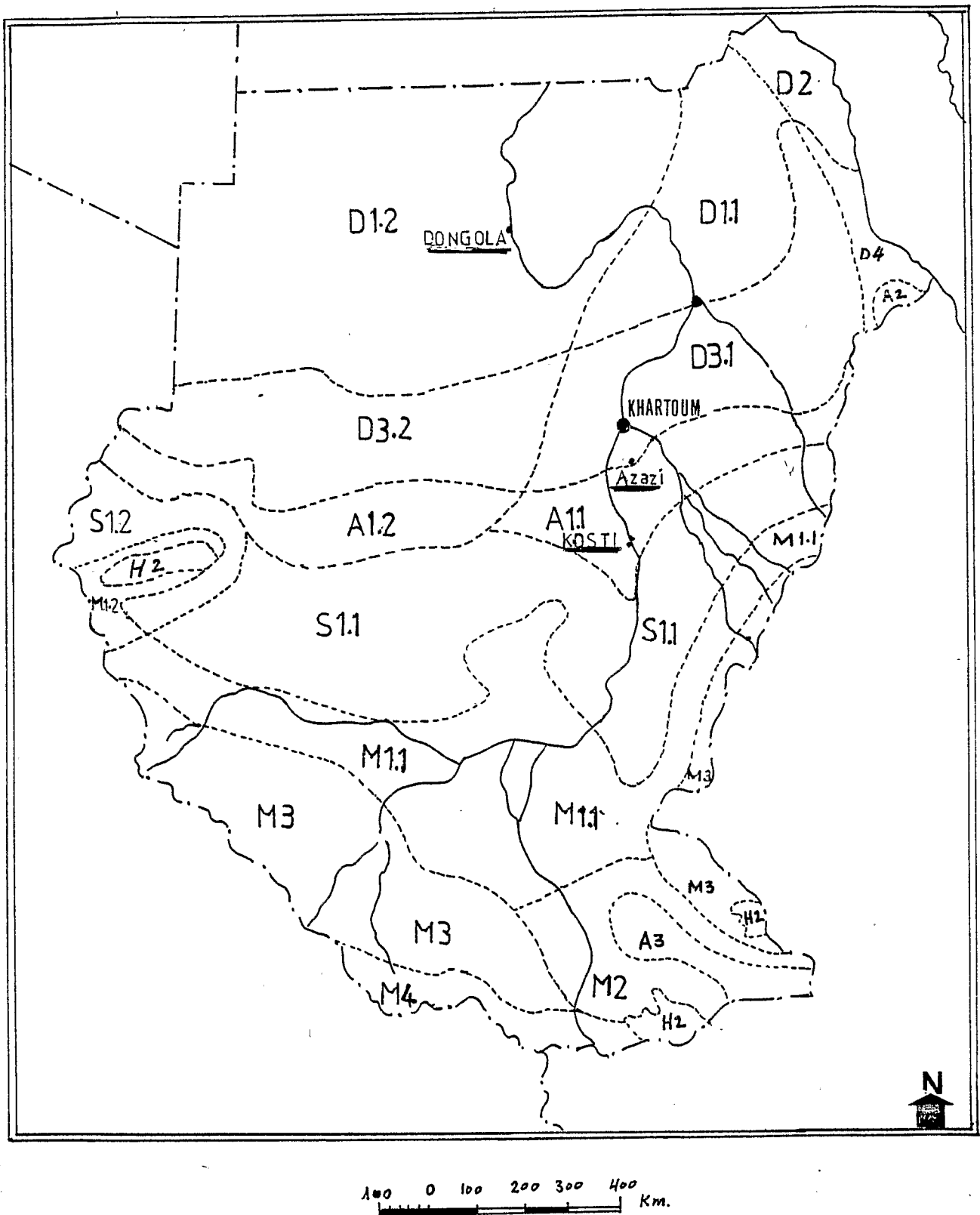
ORSTOM, 1978 - Analyse multivariable (Procédure Loterie) : application à l'analyse multispectrale en télédétection. IDT n° 38, Télédétection 2, ORSTOM, Paris.

ROCHON G. et CHABREUIL A., 1982 - Le système SPOT d'observations de la Terre. Montréal - Québec.

WENDEROTH S. and YOST E., 1975 - Multispectral Photography for Earth Resources. Remote Sensing Information Center Greenvall, New York.

WHILE L.P., 1977 - Aerial Photography and Remote Sensing for Soil Survey. Clarendon Press, Oxford.

ANNEXES



Annexe I - Zones climatiques du Soudan

ANNEXE 1
LEGENDE DE LA CARTE DES ZONES CLIMATIQUES
DU SOUDAN

ZONES CLIMATIQUES		Pmm/an	MOYENNE DES θ max du mois le plus chaud	MOYENNE DES θ min du mois le plus froid
D1-1	Désert - Pluies estivales - hivers chauds	< 100	42 - 44	8 - 15
D1-1.2	Désert - Pluies estivales - hivers frais	< 100	42 - 44	8 - 13
D2	Désert - Pluies hivernales	< 75	42 - 44	13 - 18
D3-1	Semi-désert - Pluies estivales hivers chauds	100-225	40 - 42	13 - 16
D3-2	Semi-désert - Pluies estivales hivers frais	100-225	40 - 42	8 - 13
D4	Semi-désert - Pluies hivernales	75-225	40 - 42	18 - 20
A1-1	Aride - Pluies estivales, hivers chauds	225-400	40 - 42	13 - 17
A1-2	Aride - Pluies estivales, hivers frais	225-400	40 - 42	8 - 13
A-2	Aride - Pluies hivernales	225-400	40 - 42	13 - 20
A-3	Aride - Pas de saisons marquées	550-750	37 - 38	18 - 20
S1-1	Semi-aride - Pluies estivales hivers chauds	400-750	39 - 40	13 - 17
S1-2	Semi-aride - Pluies estivales hivers frais	300-600	35 - 39	8 - 13
M1-1	Tropical sec (mousson) - longue saison sèche, hivers chauds	750-1000	36 - 41	17 - 20
M1-2	Tropical sec (mousson), longue saison sèche, hivers frais	600-850	38 - 39	5 - 13
M2	Tropical sec (mousson), saison sèche de durée moyenne	850-1000	36 - 38	18 - 21
M3	Tropical humide (mousson) saison humide de durée moyenne	950-1400	34 - 39	12 - 20
M4	Tropical humide (mousson), longue saison humide	1200-1600	34 - 35	14 - 19
M1	Montagnes - longue saison humide étés chauds	600-1000	36 - 39	6 - 8
H2	Montagnes, saison humide de durée moyenne, hivers frais	1000-1600	23 - 33	10 - 17

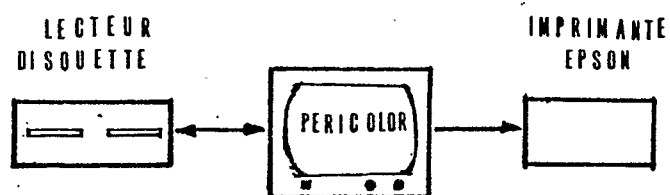
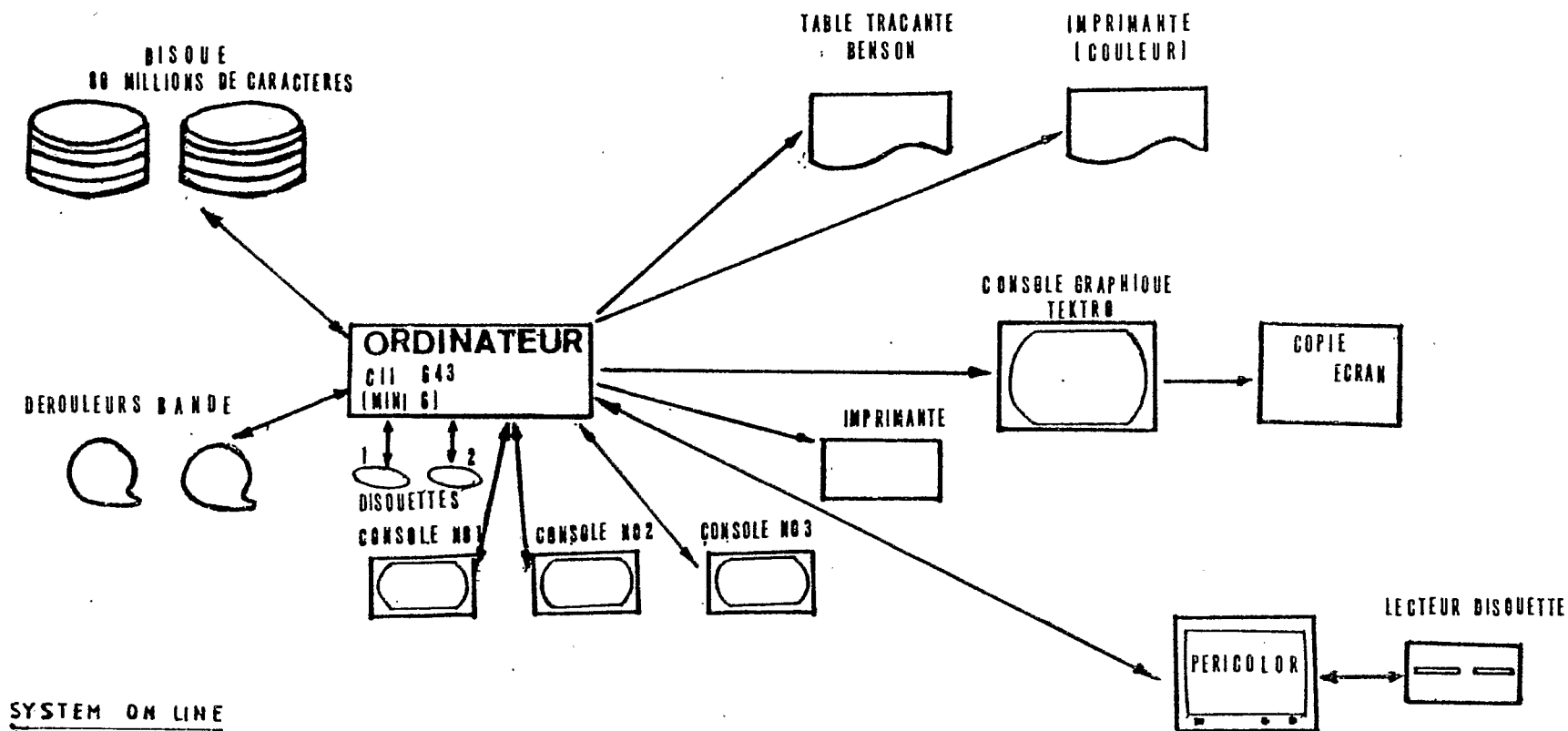


TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	3
I. INTRODUCTION	5
II. GENERALITES SUR LES TROIS ZONES D'ETUDE	7
Le choix des zones	7
La zone de Dongola	7
La zone d'Azazi	11
La zone de Kosti	13
III. MATERIELS ET METHODES	17
Matériels	17
. Les données disponibles	
. Les moyens utilisés	
Méthodes	19
. Analyse d'image et interprétation pour la cartographie des sols	
. Analyse visuelle et interprétation des images noir et blanc	
. Traitements photochimiques	
. Traitements numériques	
IV. RESULTATS	27
Généralités	27
Analyse visuelle des images noir et blanc	27
Analyse visuelle des compositions colorées	31
Analyse visuelle des néocanaux	34
Analyse numérique	34
Prospection pédologique	43
Essai d'évaluation. Comparaison avec la photointerprétation des photos aériennes	45

V. CONCLUSIONS	49
----------------	----

VI. LISTE DE LA BIBLIOGRAPHIE CONSULTÉE	51
---	----

VII. ANNEXE	53
-------------	----

Zones climatiques du Soudan (carte + légende)
Configuration de l'Unité de Traitement Informatique
de l'Atelier de Télédétection de l'ORSTOM à Bondy

PLANCHES HORS-TEXTE

Images noir et blanc des 3 régions (échelle 1/62 500)
Quick-look

Carte infographique à 1/25 000 des états de surface des sols
(région d'Azazi)

ETATS DE SURFACE DES SOLS
 ASSOCIATION "LOTERIE" (CANAUX 1,2,3)
 A 101 SPOT REGION AZAZI (SOUDAN)



- 1 SOLS IRRIGUES TRES HUMIDES
- 2 " " " " + VEG. ACTIVE
- 3 " " HUMIDES + VEG. ACTIVE
- 4 SOLS "GRIS" TRES FONGES
- 5 " " FONGES
- 7 " " FONGES + VEG. ACTIVE
- 8 " " ASSEZ CLAIRS
- 11 " " CLAIRS
- 15 " " TRES CLAIRS
- 6 SOLS "PLUS JAUNATRES", VEG., TRES FONGES
- 9 " " " " FONGES
- 10 " " " " CLAIRS
- 14 " " " " TRES CLAIRS
- 12 SOLS "PLUS JAUNATRES", CLAIRS + FONGES
- 13 " " " " ASSEZ CLAIRS + FONGES
- 16 " " " " TRES CLAIRS
- 17 SOLS BRILLANTS
- 18 VEGETATION "ACTIVE", CULTURES 1-10
- 19 VEGETATION "TRES ACTIVE", CULTURES 1-10

ORSTOM 1985

ETATS DE SURFACE DES SOLS
 CLASSIFICATION "LOTTERIE" (CANAUX 1,2,3)
 LOCALISATION SPOT REGION AZAZI (SOUDAN)



- 1 SOLS IRRIGUES TRES HUMIDES
- 2 " " " " + VEG. ACTIVE
- 3 " " HUMIDES + VEG. ACTIVE
- 4 SOLS "GRIS" TRES FONCES
- 5 " " FONCES
- 7 " " FONCES + VEG. ACTIVE
- 8 " " ASSEZ CLAIRS
- 11 " " CLAIRS
- 15 " " TRES CLAIRS
- 6 SOLS "PLUS JAUNATRES", SECS, TRES FONCES
- 9 " " " FONCES
- 10 " " " CLAIRS
- 14 " " " TRES CLAIRS
- 12 SOLS "PLUS ROUGES" CLAIRS + VEG. ACTIVE
- 13 " " " ASSEZ CLAIRS + VEG. ACTIVE
- 16 " " " TRES CLAIRS
- 17 SOLS BRILLANTS
- 18 VEGETATION "ACTIVE", CULTURES IRRIGUEES
- 19 VEGETATION "TRES ACTIVE", CULTURES IRRIGUEES

A. T. D. R.
 ORSTOM 1985