

Département de géographie et télédétection

Faculté des lettres et sciences humaines

Université de Sherbrooke

**Apport de la télédétection spatiale et des systèmes d'information géographique
à la préparation d'un cadastre polyvalent : cas de la région de Niamey (Niger)**

Par

Hamadou Soumana

Mémoire présenté pour l'obtention du grade de Maître ès sciences (M.Sc.) en géographie,
cheminement Télédétection

Mars 1999

© Hamadou Soumana

Directeur de recherche : Dr. Denis Morin

Codirecteur de recherche : Dr. Dong Chen He

Membre du jury :

Dr. Denis Morin (Département de géographie et télédétection, Université de Sherbrooke)

Dr. Dong Chen He (Département de géographie et télédétection, Université de Sherbrooke)

Dr. Abderrazak Bannari (Département de géographie, Université d'Ottawa)

Programme : Maîtrise en géographie Date : Février 1999
Type de document : Mémoire de Maîtrise
Nom de l'auteur : Hamadou, Soumana
Domaine de spécialisation : Télédétection
Institution : Université de Sherbrooke
Directeur de mémoire : Dr. Denis, Morin
Codirecteur de mémoire : Dr. Dong-Chen He
Titre du mémoire : Apport de la télédétection et des systèmes d'information géographique à la
préparation d'un cadastre polyvalent : cas de la région de Niamey (Niger)
Nombre de Pages : 66

RÉSUMÉ

La mise en place d'un cadastre à buts multiples, nécessite l'établissement d'une carte de base à moyenne échelle (entre 1 : 50 000 et 1 : 25 000), représentant le territoire d'une manière globale et plus ou moins précise. Les techniques généralement utilisées dans les pays en développement sont lentes et coûteuses pour accomplir cette tâche (levés d'arpentage; la photogrammétrie et la photo-interprétation); ce qui entraîne donc des contraintes de durée de mise en oeuvre, de coût de réalisation et de mise à jour de cette carte de base. Face à toutes ces contraintes, la télédétection et les systèmes d'information géographique apportent des solutions nouvelles à des coûts relativement bas, dans l'extraction de l'information sur les ressources naturelles et l'environnement à partir d'images aérospatiales, ainsi que l'analyse, l'interprétation et la gestion de cette information.

La démarche méthodologique suivie dans le cadre de cette étude consiste en la combinaison d'informations géographiques et une technique de segmentation thématique par coopération spectrale-texturale d'images HRV de SPOT, dans le cadre d'un Système d'Information Géographique (SIG). Nous avons effectué une classification dirigée au maximum de vraisemblance sur les canaux panchromatique et spectraux, combinés à trois canaux de texture et procédé à la numérisation de la carte topographique et la carte des contours des champs levés au système de positionnement global par satellites (GPS) du site d'étude; ces données sont ensuite intégrées dans le SIG ARCVIEW pour l'établissement de la carte de base de la région d'étude.

Les résultats montrent, pour la classification : une précision globale de 87 % pour les classes prises en considération. Pour l'évaluation des superficies, nous remarquons des statistiques de concordance entre les superficies mesurées sur l'image de fond et celles mesurées sur le terrain se situant entre 85 % et 99 %. Nous obtenons de ce fait une précision moyenne de 95 % et une différence de superficie moyenne de 1,3 ha pour l'ensemble des échantillons de champs. En fonction des échelles, la précision souhaitée est atteinte dans 80 % des échantillons de champs à l'échelle 1 : 25 000, et 93 % à l'échelle 1 : 50 000.

Program : Master in geography Date: February 1999
Type of document : Master's paper
Name of the author : Hamadou, Soumana
Field of specialization Remote sensing
Institution : University of Sherbrooke
Director of memory : Dr. Denis, Morin
Co-director of memory : Dr. Dong-Chen He
Titrates report : Apport of remote sensing and geographical information systems to the
installation of a general-purpose land register : case of the area of Niamey (Niger)
Number of Pages: 66

SUMMARY

The installation of a land register with multiple goals, requires the establishment of a basic chart with average scale (between 1: 50 000 and 1: 25 000), representative in a total and more or less precise way the territory. The techniques generally used in the developing countries are slow and expensive to achieve this task (raised land surveying, photogrammetry and photo-interpretation); what thus produces constraints of duration of implementation, of cost of realization and update of this basic chart. Vis-a-vis to all these constraints, the remote sensing and the geographical information systems bring new solutions at relatively low cost, in the extraction of information on the natural resources and the environment starting from aerospace images, as well as the analysis, the interpretation and the management of this information.

The methodological step consists of the combination of geographical information and a technique of segmentation set of themes by spectral-texturale co-operation of images HRV of SPOT, within the framework of a Geographical Information system GIS. We carried out a classification directed to the maximum of probability on the spectral channels panchromatic and, combined with three channels of texture and process to the digitalization of the topographic card and the card of contours of the fields raised with the GPS of the site of study; these data are then integrated in the GIS in the process of establishment of the basic chart of the area of study.

The results show, for classification: a total precision of 87 % for the classes taken into account. For the evaluation of the surfaces, we notice statistics of agreement between the surfaces measured on the basic image and those measured on the ground being located between 85 % and 99 %. We obtain from this fact an average precision of 95 % and a difference of average surface of 1,3 ha for the whole of the samples of fields. According to the scales, the desired precision is reached in 80 % of the samples of fields on scale 1: 25 000, and 93 % on scale 1: 50 000.

Table des matières

Table des matières	1
Liste des figures.....	iv
Liste des tableaux	v
Liste des annexes.....	vi
Dédicace	vii
Remerciements	viii
1. Introduction	1
1.1. La problématique.....	1
1.2. Les objectifs.....	4
1.3. L'hypothèse scientifique.....	4
1.4. La portée pratique, technique et économique de l'étude.....	5
2. La présentation générale de la zone d'étude.....	6
2.1. La situation géographique	6
2.1.1. La topographie.....	6
2.1.2. La végétation	6
2.1.3. L'agriculture et le pâturage.....	7
2.1.4. La situation cadastrale, foncière et fiscale.....	7
3. La méthodologie.....	10
3.1. La revue de littérature.....	12
3.2. La collecte de données.....	17
3.2.1. Les données images	17
3.2.2. Le levé au G.P.S.	19
3.2.3. Les données d'enquête.....	19
3.2.4. Les données auxiliaires.....	19
3.2.5. La carte topographique	20

3.3. Le prétraitement des données	21
3.3.1. La correction géométrique des images	21
3.4. L'analyse de texture.....	22
3.4.1. Aperçu sur la texture.....	22
3.4.2. Les modèles du domaine fréquentiel	22
3.4.3. Les modèles du domaine spatial.....	23
3.4.4. Le choix des paramètres de texture	24
3.4.5. Le choix de la distance entre pixels.....	25
3.4.6. Le choix de la fenêtre optimale	25
3.4.7. Le choix de la direction convenable.....	26
3.4.8. La création des images de texture.....	26
3.5. La classification.....	31
3.5.1. Les méthodes de classification utilisées en télédétection.....	31
3.5.2. L'intégration des données panchromatique brut, spectrales et texturales dans la classification dirigée par maximum de vraisemblance.....	32
3.5.3. La création des sites d'entraînement	35
3.5.4. L'établissement des classes des signatures spectrales.....	35
3.5.5. La vérification de la séparabilité des classes	36
3.5.6. La classification par maximum de vraisemblance.....	36
3.5.7. La vérification de la classification.....	36
3.5.8. L'utilisation de la table de pseudo-couleur.....	37
3.5.9. Le filtrage de l'image classifiée.....	37
3.5.10. L'estimation de la précision de la classification.....	37
3.6. La numérisation de la carte topographique.....	41
3.7. L'intégration des données dans le S.I.G.....	43
3.7.1. L'analyse cartographique	43
3.8. La validation et la vérification de la carte de base	46
3.8.1. Les relations entre des mesures faites sur une carte et les valeurs correspondantes sur le terrain, en fonction de l'échelle.....	47
4. L'interprétation et l'analyse des résultats.....	48
4.1. Les résultats du traitement des images	48

4.2. L'analyse des résultats du processus d'intégration des données dans le S.IG.	50
4.3. L'analyse des résultats d'évaluation des superficies	50
5. Discussion.....	53
6. Conclusion	54
7. Références	56

Liste des figures

1. Région de Niamey : le site d'étude.....	9
2. Organigramme méthodologique.....	11
3. Courbes du coefficient de variation en fonction de la taille de la fenêtre et la zone homogène considérée pour le paramètre GLDV Angular Second Moment.....	26
4. Schéma de l'analyse de texture.....	27
5. Région de Niamey : image de texture pour le paramètre homogénéité.....	28
6. Région de Niamey : image de texture pour le paramètre entropie.....	29
7. Région de Niamey : image de texture pour le paramètre GLDV Angular Second Moment...	30
8. Schéma d'intégration des données dans la classification dirigée par maximum de vraisemblance.....	34
9. Région de Niamey : image classifiée.....	40
10. Région de Niamey : carte numérisée.....	42
11. Région de Niamey : carte de base	45
12. Région de Niamey : image panchromatique.....	64
13. Région de Niamey : image multispectrale.....	65

Liste des tableaux

1. Matrice de séparabilité des classes de signatures des sites d'entraînement.....	48
2. Résultats de la classification dirigée par maximum de vraisemblance après vérification.....	49
3 Résultats du calcul des superficies par les coordonnées mesurées sur le terrain au GPS et sur la carte-image.....	57

Liste des annexes

1 Images brutes panchromatique et multispectrale.....	63
2 Paramètres statistiques des images.....	66

Dédicace

À mon père pour son soutien moral et indéfectible, et sans qui je ne verrais pas le jour.

À ma mère à titre posthume en reconnaissance de son éducation dont je récolte les fruits chaque jour.

À ma femme Mohamed Idrissa Touré Aldjada, pour son soutien, sa patience et la compréhension dont elle a fait preuve pendant mes longues journées de travail et mon absence lors de la collecte de données.

À mes deux filles, Hamsatou et Aminata Hamadou Soumana, dont les sourires m'étaient d'un grand secours pendant les périodes difficiles.

Remerciements

Je remercie profondément le directeur et le codirecteur de ce mémoire, Denis Morin et Dong Chen He pour leur assistance tout au long de la réalisation de ce projet.

Je sais infiniment gré à tous les professeurs du Département de géographie et télédétection, au personnel du CARTEL et aux camarades étudiants pour leur collaboration directe ou indirecte.

Je voudrais remercier les responsables du Centre régional AGRHYMET à Niamey, pour avoir mis à notre disposition l'ensemble des données images utilisées dans ce mémoire.

Je remercie l'Agence Canadienne pour le Développement International et le Programme Canadien de Bourses de la Francophonie pour leur assistance financière durant mes études.

1. Introduction

1.1. La problématique

Dans le cadre de la mobilisation des ressources internes et dans un souci de gestion des ressources naturelles et de gestion du territoire, au Niger, on a décidé d'étendre le cadastre, qui auparavant était uniquement au niveau des villes, à la zone rurale. La mise en place de ce cadastre à buts multiples, nécessitent l'établissement d'une carte de base à moyenne échelle représentant d'une manière globale et plus ou moins précise le territoire. L'identification du patrimoine rural et urbain, comme sa conservation, pose au Niger de nombreuses questions. Le domaine est relativement nouveau et ne s'appréhende pas toujours sous les mêmes formes que dans les pays développés. La mise en œuvre d'action de conservation de l'espace bâti ou non bâti, nécessite la possibilité d'intervenir sur les lieux physiques, d'en connaître leurs limites, leur nature, leur occupation et donc d'abord d'en identifier leurs propriétaires réels ou apparents. Le plus souvent, il est extrêmement difficile d'identifier le propriétaire foncier d'un terrain, généralement sous le régime de l'indivise ou bien divisé de fait entre plusieurs descendants, sans qu'aucun acte officiel ne légitime les transactions. L'absence d'application des régimes fonciers officiels successifs explique cette situation, problématique pour les aménageurs, mais d'une certaine manière normale pour les habitants qui de tout temps, se sont organisés autrement, en fonction de leurs propres règles. La propriété du sol est du ressort des ancêtres en milieu rural .

Il est évident que pour asseoir une politique foncière, la situation idéale est celle où il existe un cadastre général présentant l'intégralité de l'espace rural. De la même façon, il apparaît que la subdivision du terrain en parcelles cultivables doit s'appuyer sur une cartographie renseignée. La fonction généralement assignée au cadastre est fiscale. Quand l'institution se veut plus ambitieuse, elle joue le rôle dans l'établissement de la preuve de la consistance de la propriété. Or, on constate qu'avec le temps, des services de plus en plus nombreux et variés sont demandés au cadastre, seul document présentant la propriété foncière ou son approche, à l'échelon de tout un pays. Dès lors, il paraît intéressant de s'interroger sur les fonctions potentielles d'un cadastre. Toutefois, avant d'entreprendre cette étude, il convient de délimiter les champs d'application respectifs du cadastre et de la cartographie thématique.

La notion de Cadastre a évolué au fil des siècles soit pour s'adapter à des besoins nouveaux, soit pour appliquer des techniques nouvelles. La vocation du cadastre est la création de plans parcellaires à grande échelle se rattachant d'une manière plus ou moins précise à la propriété. Cependant, il est possible de dégager une définition générale quelque soit le type de Cadastre envisagé. Dans son sens le plus large, un Cadastre peut être considéré comme un inventaire de la propriété foncière dont il donne une description plus ou moins détaillée, destiné à répondre aux besoins individuels ou collectifs notamment en matière fiscale, foncière, juridique, économique (École nationale du cadastre, 1993, p.10). Cet inventaire se traduit le plus souvent par l'établissement d'une documentation graphique (plans cadastraux) et d'une documentation littérale (registres, fichiers). Néanmoins, il est intéressant d'en retenir la définition, plus précise, suivante : Le Cadastre est l'ensemble des documents qui définissent la propriété foncière et qui servent à la répartition de l'impôt foncier; c'est également l'Administration fiscale chargée d'établir, de mettre à jour et de conserver les documents cadastraux (École nationale du cadastre, 1993, p. 11). Plus spécifiquement, en se situant dans le cadre de notre étude, le Congrès de la Fédération Internationale des Géomètres d'Ankara (1973, *in*, École nationale du cadastre, 1989, p. 152), a ainsi défini le cadastre à buts multiples : le but du cadastre polyvalent est de mettre à la disposition de la collectivité, des documents pouvant satisfaire aux besoins du régime foncier, du génie civil et rural, de l'aménagement du territoire et de l'urbanisme, de l'utilisation du sol, de l'économie des services publics, de la statistique, de la science et de la recherche.

Les cartes thématiques ont un champ spatial plus large que celui du cadastre; elles se rattachent à la notion de zone, indépendamment de toute préoccupation de la configuration de la propriété : zone de migrations, zone fertile, zone au sous-sol instable, zone sensible aux incendies, zone inondable, zone de cultures, etc. Cependant, en agissant sur les échelles, il pourrait être admis que des relations soient créées entre les deux types de documents. Par exemple, ne paraît-il pas intéressant de faire prendre en charge par le plan cadastral l'occupation du sol d'une parcelle rurale, le renseignement étant tiré d'une carte thématique suffisamment précise?

Pour accomplir cette tâche, les techniques généralement utilisées sont lentes et coûteuses. Il s'agit en effet d'utiliser, dans des conditions particulières et rigoureuses, des photographies aériennes et des méthodes de levés d'arpentage, la photogrammétrie et la photo-interprétation. Si les photographies aériennes sont utilisées depuis toujours dans les pays en développement, dans les travaux de topographie pour la confection des cartes de base à moyennes échelles, l'utilisation à

cette fin des données numériques des satellites n'avait pas encore fait l'objet d'un examen systématique. Sur ce dernier point, la télédétection apporte des solutions nouvelles à des coûts relativement bas. Sa problématique d'ensemble consiste en l'extraction de l'information sur les ressources naturelles et l'environnement, à partir d'images aérospatiales. Cette information doit ensuite être analysée, interprétée et incorporée dans un système de gestion où elle devient un élément parmi tant d'autres du mécanisme d'analyse et de prise de décision. En effet, sur le plan des applications, on définit la télédétection comme, l'ensemble des connaissances et des techniques nécessaires pour interpréter et identifier divers objets par leurs comportement spectraux et leurs distributions spatiales à l'aide de mesures et caractéristiques spécifiques effectuées à distance (Bonn et Rochon, 1996, p. 3).

De l'utilisation de l'imagerie satellitaire aux besoins du cadastre, la littérature en parle peu. En 1978, une étude menée sur l'évaluation de l'imagerie Spatiale pour la confection des plans cadastraux a été abandonnée au profit des photographies aériennes ; le critère d'abandon était la résolution spatiale pas très fine des images satellites. (Andrew et Morshall , 1978, p. 41-59). Un autre projet a fait l'objet d'abandon : gestion de l'espace et utilisation du foncier en milieu villageois dans la vallée du fleuve Sénégal : association de l'image aérienne basse altitude petit format et de l'image satellite (Grépin et *al.*, 1989-1990). Toutefois, en 1986, une étude menée sous les auspices des services de programmation de la politique scientifique (SPPS) sur les terroirs ruraux du Burkina Faso (Lambin et Lamy, 1986; Lambin, 1986, 1987 a, b, et c, 1988 a, b, et c , *in*, Wilmet, 1989, p. 37), a montré :

- qu'il est possible d'utiliser l'imagerie numérique Landsat MSS comme support de stratification de l'espace en termes de systèmes agraires; le critère utilisé est la configuration des champs;
- que ce compartimentage de l'espace constitue une base adéquate pour des investigations statistiques agricoles;
- qu'il offre un cadre efficace pour mettre sur pied une politique de développement agricole régional;
- qu'il est possible, à l'aide des données LANDSAT, de diagnostiquer les effets de déséquilibres écologiques affectant des systèmes agraires sur les faciès environnementaux.

D'autres applications sur l'inventaire et l'utilisation agricole du sol ont fait l'objet d'étude (Dugas et Morin, 1993, p. 35-48), (Duvernoy et *al.*, 1993, p. 211-226), (Cavayas et *al.*, 1995, p. 28-42). Ainsi, toute information renseignant sur la contribution de l'imagerie satellitale au cadastre fait défaut. Il a semblé donc intéressant, qu'au Niger, on a opté sur l'observation des zones rurales par télédétection spatiale et le recours à un Système d'Information Géographique, pour la préparation de ce qui est désormais devenu une priorité nationale «le cadastre polyvalent».

1.2. Les objectifs

L'objectif principal de la recherche est de reconstituer à moyenne échelle (entre 1 :50 000 à 1 : 25 000), une carte de base de la zone d'étude, et de pouvoir suivre son occupation du sol.

D'une manière spécifique, le projet vise à :

- assurer l'actualisation permanente de cette carte. Les échanges d'information entre les différents partenaires devraient se faire par la mise en place d'un mécanisme de tenue à jour permanent et centralisé. Faisant appel aux techniques de mise à jour disponibles, ce mécanisme sera élaboré en tenant compte des capacités des intervenants (cartographie conventionnelle ou élaboration de fichiers numériques compatibles);
- favoriser l'utilisation polyvalente de cette banque d'information. L'information cadastrale représente une partie des données utiles à la gestion du territoire. L'élaboration de cadres d'entente et l'utilisation de formats facilitant le transfert devraient favoriser la constitution de systèmes d'information géographique (SIG). Ces systèmes visent à aider la commune dans l'exercice des fonctions qui relèvent de sa responsabilité;

1.3. L'hypothèse scientifique

Notre projet est basé sur l'hypothèse scientifique principale suivante : Il est possible, en utilisant une approche géomatique, de reconstituer une carte de base de la région de Niamey, et d'en suivre son occupation du sol.

1.4. La portée pratique, technique et économique de l'étude

Notre étude fournit un protocole de recherche simple et efficace pour la gestion du domaine rural et du suivi de l'occupation du sol de la région ou même de l'ensemble du pays. Ce document peut avoir valeur de test pour l'apport de la télédétection et des Systèmes d'Information Géographique à la mise en place d'un cadastre polyvalent ou la gestion du territoire et des ressources naturelles en général. Tant d'un point de vue technique qu'économique, il est intéressant d'analyser comment l'imagerie SPOT peut contribuer à évaluer l'efficacité des mesures mises en place. Statistiquement, il peut être démontré que plus l'occupation des terres est conforme aux déclarations, moins un contrôle fondé sur un tirage aléatoire des échantillons à vérifier sur le terrain est efficace. De manière rapide et efficace, l'imagerie HRV de SPOT permet d'estimer, globalement sur l'ensemble du territoire analysé, le pourcentage de déclarations non conformes. Si celui-ci est inférieur au seuil de tolérance admis, alors le contrôle au sol peut ne plus être une nécessité. De plus si le contrôle se doit d'être exhaustif et précis, le traitement des données HRV de SPOT permet de distinguer les parcelles présentant un doute par rapport à celles qui sont classées sans ambiguïté.

2. La présentation générale de la zone d'étude

2.1. La situation géographique

Le cadre géographique de cette étude s'étend sur une bande de 19 km X 12 km soit une superficie de 249 km² soit 24 900 hectares. Elle se situe à l'ouest du Niger en Afrique de l'ouest, entre 13° 20' et 13° 40' de latitude Nord et entre 2° 40' et 2° 50' de longitude Est. Sur le plan administratif, elle est située dans la région de Niamey arrondissement de Kollo. Cette zone est destinée essentiellement à l'agriculture et à l'élevage; l'économie est donc essentiellement rurale, induisant une forte pression sur les ressources naturelles (figure 1).

2.1.1. La topographie

Le site d'étude, est une plaine relativement peu dénivelée, se situant entre les courbes de niveau 200 et 240 mètres. Ce qui ne nécessite pas une correction de l'effet topographique à l'aide d'un modèle numérique d'altitude (MNA) pour la suite des travaux.

2.1.2. La végétation

La distribution de la végétation est influencée par le gradient pluviométrique, le substrat et l'influence anthropique. D'une manière générale, la densité de la couverture végétale suit un gradient décroissant du Nord au Sud. Les principales formations sont :

- les forêts sèches ou savanes boisées à l'extrême sud de la zone qui correspondent au secteur le plus arrosé. Ce sont des formations ligneuses claires arborescentes et arbustives caractérisées par la prédominance d'espèces de savane. Elles se développent sur sol peu évolué ou faiblement lessivé;
- les formations de brousses tigrées : ces formations azonales colonisent les plateaux latéritiques du continental terminal. Décidues en saison sèche avec des espèces sempervirentes en mélange, elles sont rencontrées dans toute la zone avec une présence plus marquée vers le nord. Ce sont des bosquets de ligneux de 5 à 12 mètres de hauteur avec une strate herbacée séparée par des plages nues. Les espèces sont typiquement sahéliennes.

L'expression brousses tigrées est employée pour désigner une végétation contractée, caractérisée par une alternance de bandes couvertes de végétation et de bandes nues (Clos-Arceduc, 1956, *in*, Saley, 1995, p. 9). Le vocable brousses tigrées est utilisé pour les désigner en raison du pelage de tigre qu'évoquent leurs structures observées par vue aérienne (fig 1);

- les steppes, situées au Nord de la zone; elles sont dominées par des épineux et un tapis d'herbacées annuelles. Elles se rencontrent aussi bien sur les dunes fixées que dans les vallées sèches sur sols pauvres et peu épais;
- les savanes claires : ce sont des formations ouvertes à dominance herbacées à l'optimum de la végétation et correspondent aux savanes steppiques. Cette physionomie est beaucoup plus marquée dans la partie centrale.

2.1.3. L'agriculture et le pâturage

Les baisses de rendement consécutives à l'appauvrissement des sols et à la désertification, ont engendré une augmentation des terres cultivées pour couvrir les besoins d'une population croissante. L'impact de l'agriculture (défrichement) sur la savane boisée et les brousses tigrées est désormais une réalité et pourrait être fatal pour l'avenir de ces formations. Au nord comme au sud, sur les plateaux de brousses tigrées, comme dans les vallées, l'influence du cheptel demeure une donnée permanente et active dans la détérioration du milieu. En effet, l'élevage étant extensif, la conduite des troupeaux reste fortement liée à la présence de points d'eau.

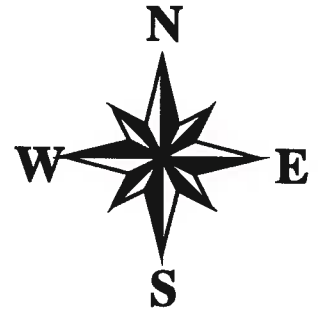
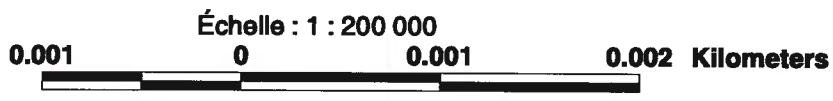
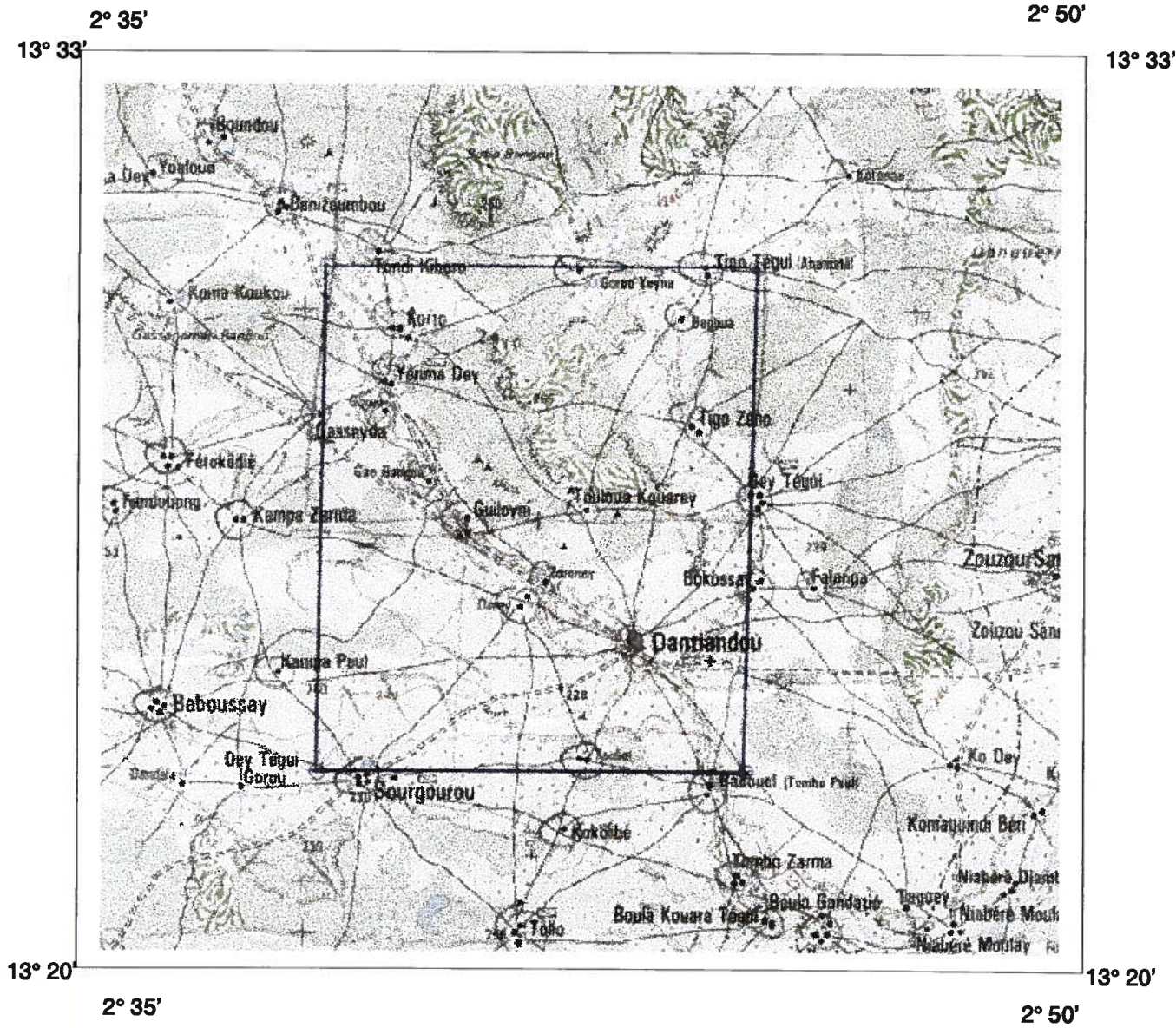
2.1.4. La situation cadastrale, foncière et fiscale

À l'instar de toutes les zones rurales au Niger, la zone d'étude n'est pas cadastrée; ce qui laisse les propriétaires coutumiers dans une perpétuelle menace d'expropriation pour cause ou non d'utilité publique, faute de preuves de droits et de consistance de leurs propriétés. Outre ces problèmes de droits de propriété, cette situation enrichit de véritables conflits désagréables, d'une part entre propriétaires coutumiers, et d'autre part entre propriétaires et éleveurs à la recherche de pâturage pour leurs animaux. L'état Nigérien a donc un manque à gagner dans le cadre de la mobilisation des ressources internes, sur le plan de la fiscalité foncière dans cette zone, tout

comme dans tout le domaine rural du pays. C'est ce qui explique notre motivation quant au choix de ce site.

RÉGION DE NIAMEY

Site d'étude



Projection UTM Zone 31

Auteur : H. Soumana

Université de Sherbrooke

Février 1999

Figure 1 - Région de Niamey : Le site d'étude

Tiré de la carte au 1 : 200 000

3. La méthodologie

La méthode que nous proposons consiste à exploiter la combinaison d'informations géographiques et une technique de segmentation thématique par coopération spectrale-texturale d'images HRV de SPOT, développée par Anys et He, (1995, p. 138-157), dans le cadre d'un Système d'Information Géographique SIG. Six étapes sont nécessaires pour développer cette méthode (figure 2) soit :

- la revue de littérature,
- l'acquisition des données,
- le traitement des données,
- l'intégration des données dans un S.I.G,
- la validation et la vérification de la carte de base,
- l'interprétation et l'analyse des résultats.

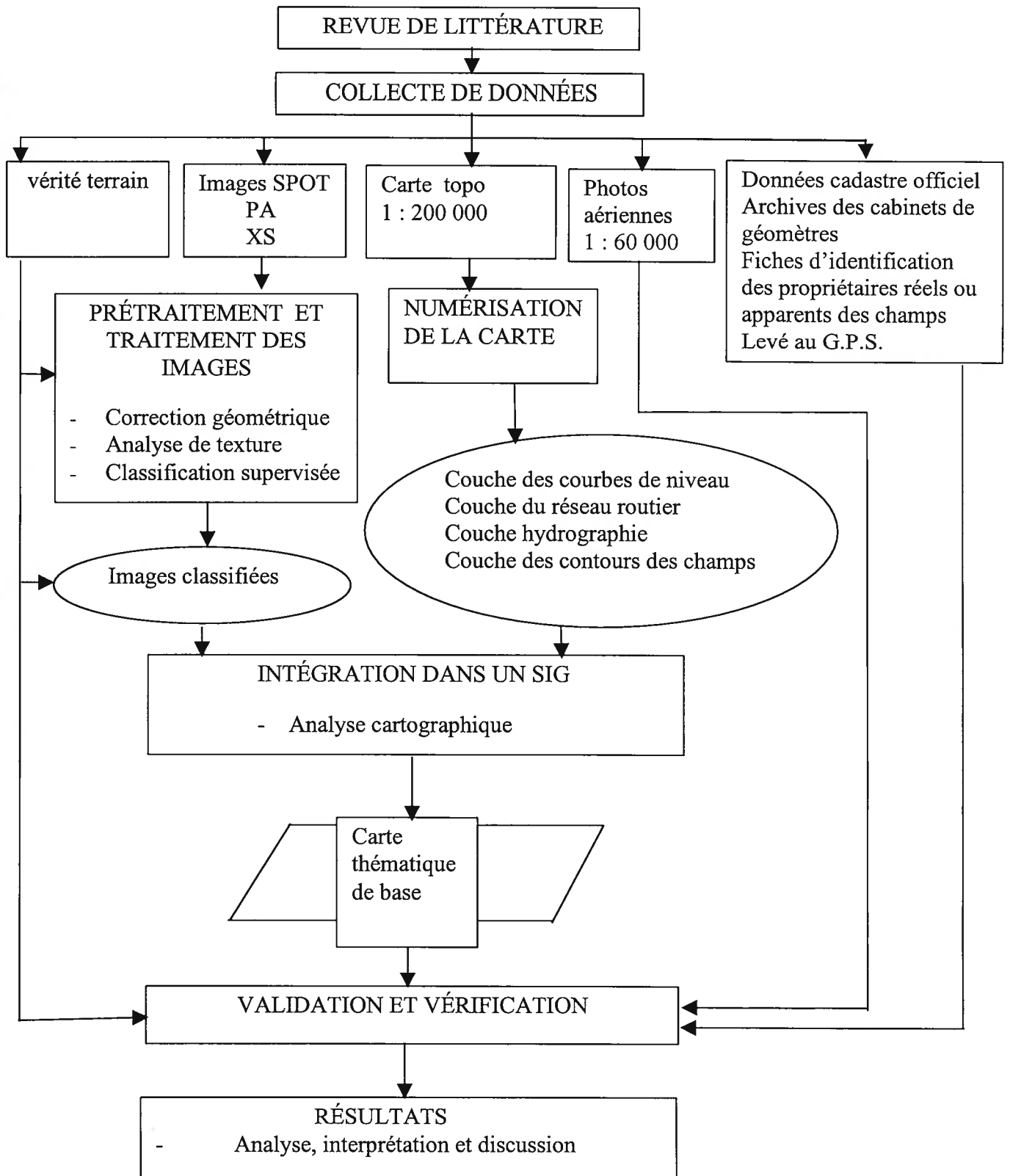


Figure 2 - Organigramme méthodologique

3.1. La revue de littérature

Une revue de littérature préliminaire sur le cadastre, la télédétection et les systèmes d'information géographique a été effectuée, afin de démontrer l'apport de ces outils (Télédétection et SIG), à la mise en place d'un Cadastre. De façon spécifique, cette étude doit contribuer à l'élaboration d'un tableau de bord visant à informer sur les possibilités et les opportunités d'utilisation de l'imagerie spatiale et des SIG, pour des besoins de la géomatique cadastrale. Cette activité nous a donc permis d'atteindre l'objectif suivant : la conception de l'outillage méthodologique qui permet de faire une synthèse sur des études faites antérieurement, sur la contribution de la télédétection et des systèmes d'information géographique SIG, à la préparation d'un Cadastre. Cette recherche bibliographique a permis dans un premier temps, de soulever la problématique de recherche et de préciser davantage l'orientation des travaux. Dans un second temps, elle nous a permis d'identifier les outils nécessaires à la réalisation de notre projet. Ceci nous a permis de déterminer les données pouvant être collectées sur le terrain. La revue de littérature a été pertinente afin de déterminer les différentes méthodes de traitements et d'analyse qui sont utilisées dans cette étude pour évaluer et bien représenter la zone d'étude, selon une problématique de gestion du territoire.

De ce fait, la problématique de l'étude est déterminée premièrement par la dimension multithématique des documents (articles, livres, thèses) qu'il faut utiliser pour dresser le tableau de bord et deuxièmement par l'effort méthodologique qu'il convient de fournir pour les traiter de manière combinée et ce, dans un intervalle chronologique important (de 1990 à nos jours). Pour ce faire, nous nous sommes appuyés sur trois grandes méthodes de collecte de données : des recherches sur CD ROM, nous ont permis d'une part d'identifier les banques de données existantes et d'autre part de prendre connaissance des divers mécanismes de recherches documentaires selon les thèmes; la seconde méthode a consisté, à consulter le site Web (Internet) en vue de localiser les différents centres d'intérêts; enfin une troisième méthode a fait appel à une recherche par questionnaire sur télé-référence, des thèses de Doctorat. De ces trois grandes méthodes de collecte de données, nous avons pu tirer les principales informations suivantes :

- de l'utilisation de l'imagerie satellitaire aux besoins du Cadastre, les articles n'en font pas cas. Toutefois, dans l'ouvrage de Rouet (1991, p. 57-59) Les données dans les systèmes d'information géographique, l'auteur parle de la reconstitution du relief et l'édition d'ortho-images SPOT.

Cette faculté permet à SPOT d'enregistrer des stéréo-images et donc de reconstituer le relief tout comme la photogrammétrie aérienne. SPOT enregistre une première fois un territoire de 60 km², en se penchant d'un côté. Au cours d'une orbite ultérieure il enregistrera le même territoire d'un point de vue différent, en s'inclinant probablement de l'autre côté, la somme des deux inclinaisons venant compenser l'écart entre les deux orbites. Du fait de la très bonne connaissance de la trajectoire du satellite, les pixels des deux images (10 m x 10 m) pourront venir se superposer. L'information étant entièrement numérique est directement accessible aux calculs sur ordinateur. Des logiciels permettent de reconstituer des ortho-images, c'est-à-dire des vues exactement superposables à une carte de même échelle, tous les facteurs de distorsion ayant été corrigés : courbure et rotation de la terre pendant la prise de vue, déplacement du satellite et perspective due à l'angle de prise de vue, reconstitution du relief et redressement de la déformation d'échelle qu'il introduit. Cette reconstitution automatique des ortho-images et du relief, déjà mise en œuvre, est proposée parmi les produits standard de la société Spotimage. Cette possibilité ouvre des perspectives très remarquables. En effet le résultat a une précision de 10 m aussi bien en planimétrie qu'en altimétrie, ce qui est compatible avec l'édition de cartes au 1 : 100 000, au 1 : 50 000 et même au 1 : 25 000 (si l'on admet, dans ce dernier cas, une marge de 2/10 mm). C'est le moyen d'établir des cartes à peu de frais dans un grand nombre de pays qui en sont dépourvus. Une question est fréquemment posée, concernant la nature exacte de la résolution des images satellites : *Peut-on voir, avec des pixels de 10 mètres, un chemin de 3 m de large ?* Souvent la réponse est oui. Il suffit que ce chemin présente un contraste suffisant avec son environnement, pour modifier de façon significative le rayonnement moyen des pixels dans lesquels il est inscrit. Un chemin de sable blanc de trois mètres de large avec des prairies de part et d'autre se distinguera parfaitement. Le chemin sera restitué, mais pas l'information selon laquelle il a trois mètres de large, puisqu'il sera repéré par des pixels, certes éclaircis, mais de taille inchangée de 10 m de large ! Inversement la limite entre forêt, taillis et prairie sera parfois difficile à établir, même à plusieurs dizaines de mètres près, si le contraste est insuffisant. La signature de chaque usage du sol dans les différentes bandes enregistrables doit être soigneusement étudiée au préalable. Il faut noter par ailleurs que SPOT permet, dans certaines conditions, d'atteindre une résolution planimétrique de 5 mètres. L'amélioration de la résolution spatiale des images satellites ne s'arrête pas là. D'autres, sans aucun doute, se développeront. Il est possible de citer, à titre d'exemple, dans ce domaine en pleine expansion : le satellite Russe SPIN 2 mis en service en février 1997, capable d'atteindre une résolution spatiale de 2 mètres. De nombreuses applications leur sont associées :

- système d'Information Géographique (SIG),
- évaluation environnementale,
- gestion des ressources naturelles,
- gestion des bois et forêts,
- aménagement du territoire,
- cadastre,
- gestion des systèmes de transport.

La télédétection par le traitement d'images apporte sa contribution en présentant les différentes approches développées en analyse de texture (Haese-Coat *et al.*, 1994, p. 17-27), et une méthode de segmentation thématique par coopération spectrale-texturale, avec application de cette technique aux deux problèmes suivants : extraction des zones urbaines et extraction d'une culture particulière dans les images de SPOT (Poujade et Laurore, 1990, p. 41-46).

Enfin, une étude non moins importante, sur l'évaluation de quelques sources d'erreur dans un inventaire semi-automatisé de l'utilisation agricole du sol entre une image satellitaire classifiée et une image des terrains, provenant du cadastre numérisé, a été réalisée par Dugas et Morin, (1993, p. 35-48), à Sainte-Foy (Québec). Les auteurs ont examiné trois sources d'erreur dans cette étude : l'erreur planimétrique, créée par la rasterisation des polygones-terrain, l'erreur dans les proportions des classes d'occupation du sol due à la résolution spatiale, et l'erreur de la classification elle-même. Les résultats démontrent que chacune de ces erreurs varie en fonction des terrains, donnant des inventaires de qualité inégale.

Les systèmes d'information géographique (SIG) occupent une place importante, quant à leur apport à la mise en place d'un Cadastre, tant par le traitement des données issues des images satellitaires, en vue de l'établissement de la documentation graphique (plans cadastraux), que par la gestion de la documentation littérale (registres, fichiers). Ainsi, plusieurs projets de SIG ont fait l'objet d'étude pour les besoins du Cadastre; il est possible de citer à titre d'exemple dans ce domaine :

- le projet EPSILOG utilisé pour la Recherche et Développement (R&D) et d'enseignement au centre de géomatique de l'Université Laval (Pageau *et al.*, 1991, p. 53-64). Des résultats

intéressants ont été obtenus par la production automatique des cartes thématiques dans les laboratoires de cartographie et de photogrammétrie;

- la Division des Levés Officiels (DLO) a élaboré un système cadastral polyvalent pour la gestion des terres au Canada. Le Cadastre qui constitue la base du système, est créé au moyen d'une approche fondée sur des mesures. Les résultats obtenus par ce système démontrent que l'information cadastrale peut être extraite par les méthodes d'interrogation habituelles en fonction des attributs et de pointage graphique ainsi que par des fonctions d'analyse. Cette application permet également d'afficher l'information du Cadastre et sur les titres de propriété dans l'état où elle se trouvait à une date spécifique. Enfin, des interrogations statistiques concernant divers attributs pour l'ensemble de la base de données ou pour une région géographique spécifique sont possibles. (Campbell et Hastie, 1993, p. 141-153);
- le même organisme (DLO) a mis au point STAGE (Système triangulaire d'arpentage, de gestion foncière et d'enregistrement) une application de SIG à utiliser comme système cadastral polyvalent pour la gestion de l'information sur les terres du Canada (SAITC). Les résultats de cette approche fondée sur des mesures offrent de nombreux avantages. Parmi les avantages, mentionnons les possibilités de mise à jour et d'amélioration de la base de données d'après des mesures ultérieures plus précises et le partage de l'information géométrique entre des couches différentes. Le SAITC est donc un outil efficace pour le partage de données dans un Cadastre polyvalent (Coulas et *al.*; 1993, p. 231-242);
- le Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec a produit, dans le cadre du plan géomatique gouvernemental, la représentation numérique du morcellement foncier à l'échelle 1 :20 000. Les principales fonctions de cette application sont la réception et l'organisation des données, le contrôle de qualité (codification, précision, topologie et exactitude de la désignation), le traçage et la diffusion (Vincent, 1993, p. 208-218);
- des méthodes et des techniques ont été développées afin d'améliorer l'acquisition de données pour les habitats de population croissant rapidement et des SIG cadastraux à buts multiples ont été créés et utilisés pour organiser ces données. Une étude de cas d'un village sur la frange rurale urbaine de Gaborone (Botswana) met en lumière les problèmes de la circulation

des données pour une planification dans des habitats de type tribal (Nkambwe et Arnberg, 1995, p. 225-231);

- enfin, dans le contexte de l'implantation d'un système d'information à référence spatiale pour le Manitoba (MLRIS), une base de données cadastrales a été développée pour supporter les applications des divers SIRS qui sont impliqués dans le projet Manitobain. Le concept cadastral basé sur les mesures, ainsi que l'utilisation d'une base de données relationnelles à référence spatiale sont analysés et comparés à d'autres modèles cadastraux (Arancibia et Clark, 1993, p. 219-230).

Dans cette étude nous n'avons pas oublié de souligner l'importance du Système de Positionnement Global (SPG ou GPS) dans le milieu du levé, sa contribution à la société de l'information (Cannon, 1990, p. 225-231) et la gestion du territoire par cette nouvelle technique, expérience vécue à Drummondville (Scott, 1996, p. 26-28). Les résultats dans ces deux documents montrent le futur rôle du GPS dans la collecte de données géoréférencées ainsi que par un propos sur les nouvelles et fascinantes perspectives qu'il engendre pour les arpenteurs géomètres. En somme, en combinant et en analysant les informations recueillies, nous pouvons tirer les principales conclusions et recommandations suivantes :

- la revue de littérature a permis de comprendre à quel point les images satellitaires ne peuvent pas toujours remplacer les photographies aériennes en raison de leur résolution pas très commodes pour des besoins du Cadastre. Néanmoins SPOT image et SPIN-2 offrent des produits exploitables à cette fin;
- l'apport de la télédétection spatiale au Cadastre est absent dans la littérature, excepté des études faites en traitement d'images sur la texture et ses différentes approches et une méthode de segmentation thématique par coopération spectrale-texturale sur les images de SPOT;
- à mesure que la résolution des images des futurs satellites civils le permet, nous encourageons des projets de Recherches et Développement dans le domaine de la géomatique cadastrale, pour une bonne gestion des terres;

- l'utilisation du Système de Positionnement Global (GPS) est à encourager dans les techniques de gestion du territoire et la validation des résultats de nos futurs projets cadastraux utilisant l'imagerie satellitaire comme base de données.

3.2. La collecte des données

Les objectifs de recherche de notre étude énoncés précédemment, impliquent une collecte de données sur le terrain, provenant de source spatiale, par conséquent, ils entraînent une connaissance sur les caractéristiques topographiques de la zone d'étude, ainsi qu'une identification des sites d'entraînement et un levé des échantillons de parcelles cultivées. Ces données servent à la réalisation de la carte thématique de base. Les données nécessaires pour notre étude proviennent des sources suivantes :

. les données de télédétection spatiale:

- une image HRV de SPOT Panchromatique de limite de résolution de 10 m de février 1997;
- une image HRV XS de SPOT multispectrale de limite de résolution de 20 m de mars 1997;

. des photographies aériennes datant de juin 1989 à l'échelle 1 : 60 000;

. une carte topographique au 1 : 200 000, de 1980;

. des données d'enquêtes, identifiant les propriétaires réels ou apparents des parcelles, des fiches de relevés de terrain au G.P.S;

. des données auxiliaires provenant d'archives du cadastre officiel et de cabinets de Géomètres.

L'acquisition de ces données a été réalisée lors d'un séjour de trois mois à la Direction des affaires domaniales et cadastrales et au centre régionale AGRHYMET à Niamey au Niger. Ces données ont été traitées par les logiciels de traitement d'images PCI pour les images satellites, de numérisation ATLAS GIS pour les cartes, et visualisées dans ARCVIEW. Ces trois outils combinés offrent une panoplie de procédures en analyse spatiale qui ont permis de traiter, d'analyser et de représenter les données recueillies.

3.2.1. Les données images

La finesse de l'information recherchée dans notre étude, nécessite des images de haute résolution spatiale et un travail en limite de résolution. La qualité géométrique d'une carte ainsi que son

échelle de restitution dépendent directement de la résolution de l'instrument utilisé. La précision graphique d'un document cartographique est de l'ordre de $\pm 0,2$ mm, ce qui correspond pour des échelles moyennes allant de 1 : 25 000 à 1 : 50 000 à des précisions de ± 5 m et ± 10 m respectivement. Ceci implique que la taille du pixel soit du même ordre de grandeur. On assurera ainsi une qualité graphique compatible avec la résolution du capteur. Pour une précision théorique (hors erreur graphique) sur une carte finale de 0,2 mm, l'échelle la plus grande compatible avec la précision géométrique de l'image peut se déterminer rapidement (Durand, 1993, p. 38) :

$$1/S = 0,2 / (r/2) \quad (1)$$

où $1/S$ est le facteur d'échelle,

r (en mm) la taille du pixel du satellite.

Exemple : Si $r = 10$ m $\Rightarrow 1/S = 1 : 25\ 000$

$r = 20$ m $\Rightarrow 1/S = 1 : 50\ 000$

Nous avons donc utilisé deux scènes du capteur H.R.V. (Haute Résolution Visible) de SPOT répondant à ces critères pour notre étude, soit:

- une image en mode panchromatique (PA) : il comprend une bande spectrale dans le visible de 0,51 à 0,73 μm . la résolution est de 10 m (annexe 1, figure 12);
- une image en mode multispectral (XS) : il comprend trois bandes spectrales dont deux dans le visible (vert et rouge) : XS1 : de 0,50 à 0,59 μm , XS2 : de 0,61 à 0,68 μm et une dans le proche infrarouge XS3 : de 0,79 à 0,89 μm ; la résolution est de 20 m (annexe 1, figure 13).

Ces images ont subi un pré-traitement de base de Niveau 1B; c'est-à-dire qu'elles sont corrigées des déformations systématiques introduites par le système : rotation de la terre, effet panoramique, effet de filé, angle de visée. Pour la précision planimétrique de nos travaux, ces images ont été corrigées géométriquement par rapport à la projection de la carte topographique et aux points d'appui mesurés sur le terrain au G.P.S.

3.2.2. Le levé au G.P.S.

Lors de cette collecte de données, nous avons effectué un relevé topographique au G.P.S, par la méthode de positionnement à temps réel. Le mode de positionnement à temps réel est une des innovations du positionnement G.P.S. Cette méthode permet d'obtenir instantanément les coordonnées d'un point avec une précision centimétrique sans qu'il soit nécessaire d'effectuer des calculs ultérieurs (post-traitement). Une antenne G.P.S. identifiée comme la station de référence est installée sur un point dont les coordonnées sont connues. Un récepteur G.P.S. couplé à un ordinateur portable, identifié comme la station itinérante est utilisé pour établir la position des points désirés. Les données observées à la station de référence sont immédiatement transmises à l'ordinateur portable de la station itinérante au moyen d'un modem radio. Les données des récepteurs sont alors combinées et traitées en continu, d'où l'expression temps réel. Ceci nous a permis de déterminer un canevas d'ensemble de la zone d'étude et son rattachement au système général de référence. Ces points ont servi de points de contrôle pour la correction géométrique de nos images numériques, et à la détermination de la précision planimétrique du résultat cartographique issu de leurs traitements. Un échantillon de cinquante parcelles cultivées sur le site d'étude ont été levées à cette occasion.

3.2.3. Les données d'enquête

Une enquête en séance publique sur le terrain, nous a permis d'une part d'identifier les propriétaires réels ou apparents des champs, d'autre part de faire un constat sur la pratique et la nature des cultures dans la zone d'étude . Il faut tout de suite noter que, lors de notre enquête, nous avons pu faire le constat que la parcelle cultivée ne constituait pas la parcelle cadastrale. La parcelle cadastrale peut être occupée par plusieurs exploitants.

3.2.4. Les données auxiliaires

Les données auxiliaires sont des données provenant des archives du cadastre officiel et des cabinets de géomètres, renseignant sur d'éventuelles immatriculations ou délimitations de propriétés dans la zone d'étude. En effet, certains propriétaires coutumiers soucieux de connaître les limites et la contenance de leurs propriétés, peuvent procéder à la délimitation de leur domaine par l'intermédiaire d'arpenteurs géomètres spécialisés.

3.2.5. La carte topographique

La carte topographique dont nous disposons, est une carte à l'échelle du 1 : 200 000, établie en 1980 par l'Institut Géographique National de France, en collaboration avec la Direction de la Topographie et du Cadastre de la République du Niger. Cette carte est le produit d'un financement du Fonds d'Aide et de la Coopération de la République Française. Seule carte dans la zone d'étude depuis sa date d'établissement, elle présente les caractéristiques suivantes :

- ellipsoïde de Clarke 1880,
- amorces du quadrillage de 10 en 10 kilomètres,
- projection Mercator Transverse Universelle (M.T.U),
- fuseau n° 31, Méridien origine : 3° Est du Méridien Internationale,
- équidistance des courbes à 40 mètres.

De cette carte topographique, nous avons établi une carte de vérité-terrain, en y ajoutant non seulement, le morcellement non officialisé et le parcellaire issu du relevé au G.P.S, mais aussi les limites des zones d'échantillonnage qui ont servi de sites d'entraînement dans notre processus de traitement des images.

3.3. Le prétraitement des données

3.3.1. La correction géométrique des images

Le positionnement géométrique des différents éléments de la carte nécessite la connaissance, pour chaque élément de l'image (pixel), des coordonnées dans un système de référence géographique et cartographique. Or chaque image spatiale a une géométrie particulière liée au mode d'acquisition de la donnée. Elle n'est donc pas directement et exactement superposable à une carte ou à une autre image. Les images acquises étant toutes de Niveau 1B, elles ne permettent pas de ce fait la superposition avec une carte pour une bonne localisation des objets, d'effectuer correctement des mesures de surface et enfin leur superposition entre elles. Ceci revient à géoréférencer les deux images par rapport à la projection de la carte topographique et aux points d'appui levés au G.P.S. sur le terrain. Cette étape constitue un préalable dans tout traitement rigoureux d'images numériques. Parmi les différentes fonctions de modélisation, nous avons utilisé le modèle polynomial parce qu'elle est simple et disponible sur notre système de traitement d'images. Le principe de fonctionnement de cette correction repose sur la détermination d'une relation mathématique entre les coordonnées dans l'image à corriger et celles dans le système de référence (carte ou image), à l'aide de polynômes de degrés différents (premier, deuxième, troisième degré ou plus). Le choix du degré de polynôme est lié à l'importance de la distorsion. Le type de polynôme fait varier le nombre de points de contrôle minimum à utiliser; la formule s'établit ainsi :

$$N = ((n+1) (n+2))/2 \quad (2)$$

Où

N = nombre de points d'appui

n = degré du polynôme.

Nous avons choisi l'ordre 2, parce que les images SPOT ne présentent pas beaucoup de distorsions dans leur orientation; ce qui nous a conduit à une précision RMS (Root Mean Square Error) de ± 0.50 pixel (annexe 2). Douze points d'appui ont été choisis dans cette étude, répartis sur l'ensemble du site, sur des points d'intersection de routes et pistes ainsi que des ouvrages (ponts), visibles sur la carte topographique, les photographies aériennes et les images satellites.

3.4. L'analyse de texture

3.4.1. Aperçu sur la texture

La texture est utilisée pour caractériser les variations de niveaux de gris dans une image. L'information texturale est déterminée par la forme et la configuration d'un groupe de pixels de niveaux de gris différents (Lake, 1991, p. 2). Dans la littérature, deux grandes catégories de méthodes ont été développées pour analyser la texture : la catégorie des méthodes structurales et celle des méthodes statistiques. La première approche définit la texture comme un ensemble de structures primaires se répétant selon des règles de déplacements spécifiques qu'il est possible de définir mathématiquement (Haralick et *al.*, 1973, p. 610-621). Cette méthode n'opère pas directement sur les niveaux de gris de l'image, mais plutôt sur sa transformée en une image de structure. On se sert souvent du domaine fréquentiel de l'image (transformée de Fourier) pour identifier les textures par ces méthodes. La seconde approche, la plus utilisée dans les applications en télédétection, est basée sur les méthodes statistiques qui considèrent l'image comme une structure aléatoire non uniforme. Ces méthodes se subdivisent en deux groupes de modèles : les modèles qui fonctionnent dans le domaine fréquentiel et ceux qui extraient l'information dans le domaine spatial.

3.4.2. Les modèles du domaine fréquentiel

Dans ces modèles, la fréquence spatiale est directement reliée à la texture. Les textures fines sont caractérisées dans les hautes fréquences spatiales, tandis que les textures grossières sont observées dans les faibles fréquences (Haralick et *al.*, 1973, p. 612-615). La transformée de Fourier et la fonction d'auto-corrélation sont les modèles du domaine fréquentiel. Les fonctions d'auto-corrélation caractérisent la dimension des primitives. Les primitives tonales de grandes dimensions indiquent une texture grossière, tandis qu'une texture fine se caractérise par des primitives tonales de faibles dimensions. Ce type d'approche a été utilisée la première fois par (Kaiser, 1995). Ce dernier, voulait voir si la fonction d'auto-corrélation présente une relation quelconque entre la texture et la visualisation de l'image par des photo-interprètes. Yaglon (1962, p. 14 et 78), a démontré qu'il existe une relation entre la transformée de Fourier et la fonction d'auto-corrélation. La relation s'explique par le fait que la transformée de Fourier de la fonction d'auto-corrélation n'est autre que le spectre de Fourier. Plusieurs auteurs utilisent la transformée

de Fourier pour caractériser la texture, (Lieberman et Bajcsky, 1976; Weska et *al.*, 1976, p. 269-271).

3.4.3. Les modèles du domaine spatial

Les modèles statistiques du domaine spatial font une distinction entre les méthodes d'analyse de premier ordre et celles du deuxième ordre. Les méthodes de premier ordre utilisent des opérateurs communs (moyenne, variance et écart-type). Ces opérateurs sont directement appliqués sur les niveaux de gris de l'image. On peut citer comme exemple, la méthode de la différence de niveaux de gris; elle est basée sur la différence absolue entre les paires de niveaux de gris ou les moyennes de niveaux de gris. Les méthodes de deuxième ordre s'expriment par la probabilité qu'un pixel de niveaux de gris i ait un voisin de niveau de gris j . Le calcul de cette probabilité fait que les statistiques sont d'un ordre supérieur; c'est le cas de la méthode de cooccurrence, la plus utilisée de toutes les méthodes du domaine spatial. Les auteurs sont confiants quant à l'amélioration de la classification par l'information de texture calculée sur ces modèles (Marceau et *al.*, 1990, p. 513-519), (Kilpelä et Heikilä, 1990, p. 333-339). Cependant, ils sont tous unanimes sur le temps de calcul très coûteux de ces méthodes. Sur ce dernier point, une solution a été trouvée pour contourner ces problèmes de temps de calcul, tout en conservant l'information originale. C'est la méthode du tableau récapitulatif développée par Anys (1995, p. 113). En effet, contrairement à la méthode classique de calcul des histogrammes de différents ordres, qui considère la totalité de la matrice (255 x 255 pixels) de la plupart des images numériques avec des NG représentés à 8 bits, pour avoir la fréquence d'occurrence de chaque couple sur une fenêtre donnée, l'auteur considère uniquement les pixels de la fenêtre et établissent leur fréquence d'occurrence dans un tableau récapitulatif qui servira au calcul des divers paramètres.

Outre le coût élevé en temps de calcul, ces méthodes présentent certains problèmes liés principalement à la définition de trois éléments, soit :

- le choix de la distance appropriée entre pixels,
- le choix de la fenêtre optimale,
- le choix approprié de la direction entre pixels selon laquelle les calculs seront effectués.

La méthode statistique que nous avons utilisée pour notre étude, a été développée par Haralick et *al.*, (1973, p. 610-621). L'information texturale est extraite à l'aide de paramètres statistiques

basés sur des matrices de cooccurrence de niveaux de gris établies sur des fenêtres de l'image. La matrice de cooccurrence exprime la probabilité que, pour un angle donné, on retrouve une paire de niveau de gris i et j séparés par une distance d'influence d . Quatorze paramètres de texture peuvent être extraits à partir de cette matrice dont plusieurs d'entre eux présentent des redondances. Toutefois, dans le cas de notre étude, nous nous sommes limités à douze paramètres utilisés par notre système de traitement d'images, pour exprimer la texture. Ce sont :

- homogénéité,
- contraste,
- dissimilarité,
- moyenne,
- écart-type,
- entropie,
- second moment angulaire,
- corrélation,
- GLDV angular second moment (Grey Level Difference Vector A.S.M),
- GLDV entropy (Grey Level Difference Vector Entropy),
- GLDV mean (Grey Level Difference Vector Mean),
- GLDV contrast (Grey Level Difference Vector Contrast).

Parmi ces paramètres, nous en avons choisi trois qui répondent le plus à nos besoins (homogénéité, entropie, GLDV angular second moment).

3.4.4. Le choix des paramètres de texture

Le critère de choix de ces paramètres repose sur l'affichage des histogrammes des images de texture créées à partir de l'image brut panchromatique de SPOT à travers une fenêtre mobile 5 x 5 pixels (annexe 2), par la qualité visuelle de ces images et à partir de la matrice de corrélation calculée pour les douze paramètres. Ces paramètres détenaient les plus faibles corrélations dans la matrice.

3.4.5. Le choix de la distance entre pixels

Le choix de la distance convenable entre pixels est étroitement lié à la grossièreté ou à la finesse de la texture dans l'image à traiter. En effet, plus la texture est grossière plus la distance entre pixels peut être augmentée, ce qui réduira le temps de calcul. Cependant, il existe dans une scène naturelle une multitude de textures avec des degrés de finesse ou de grossièreté très variables. Par conséquent, une distance entre pixels choisie pour une image peut être convenable pour certaines textures et ne pas l'être pour d'autres. Une façon de simplifier ce problème est de considérer, malgré que le temps de calcul en sera augmenté, une distance égale à 1 pixel qui sera valable autant pour les textures fines que grossières (Anys, 1995, p. 110). C'est ce qui fut notre choix.

3.4.6. Le choix de la fenêtre optimale

Le succès d'une analyse de texture avec des paramètres dépend de la taille de la fenêtre sur laquelle ils sont calculés. Si la taille de la fenêtre est trop petite, on ne peut pas extraire assez d'information spatiale; et si la fenêtre est trop grande, elle pourra soit chevaucher sur deux types de couvertures au sol et introduire une information spatiale erronée (Pulz et Brown, 1987, p. 88), soit créer des limites de transition trop larges entre deux types voisins d'occupation du sol (Gong, 1990, p. 152). Pour le choix de la fenêtre optimale, nous adopterons la méthode qui consiste à calculer le coefficient de variation d'un paramètre donné pour chaque classe en fonction de la taille de la fenêtre. La dimension de la fenêtre choisie sera celle à partir de laquelle la valeur du coefficient de variation commence à se stabiliser pour la majorité des classes, tout en ayant la plus faible valeur (Laur, 1989, p. 170).

Le coefficient de variation $CV = (\text{écart-type}/\text{moyenne})$. (3)

Suivant la figure 3 ci-dessous, nous avons choisi la taille de fenêtre 11 x 11 pixels.

Courbes du coefficient de variation en fonction de la taille de la fenêtre et la zone homogène considérée pour le paramètre GLDV Angular Second Moment

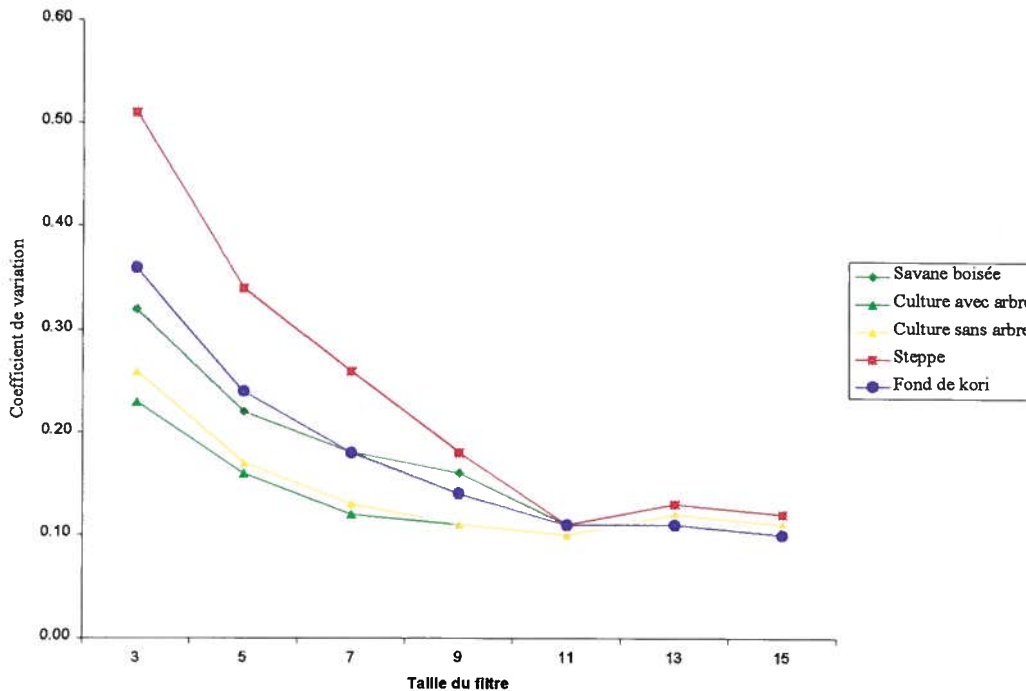


Figure 3 - Courbes du coefficient de variation en fonction de la taille de la fenêtre et la zone homogène considérée, pour le paramètre GLDV Angular Second Moment.

Source : H. Soumana

3.4.7. Le choix de la direction convenable

Pour palier à ce problème de choix de la direction convenable, Haralick (1979, p. 792) a proposé de calculer les paramètres de la matrice de cooccurrence pour les quatre directions (0° , 45° , 90° et 135°) et de faire leurs moyennes. Nous avons choisi la direction 0° , comme le choisit notre système par défaut.

3.4.8. La création des images de texture

L'organigramme de la figure 4 donne le cheminement suivi pour la création des images de texture dans cette étude. Les figures 5, 6 et 7 présentent respectivement une partie des images de texture pour les paramètres homogénéité, entropie et GLDV Second Moment Angulaire.

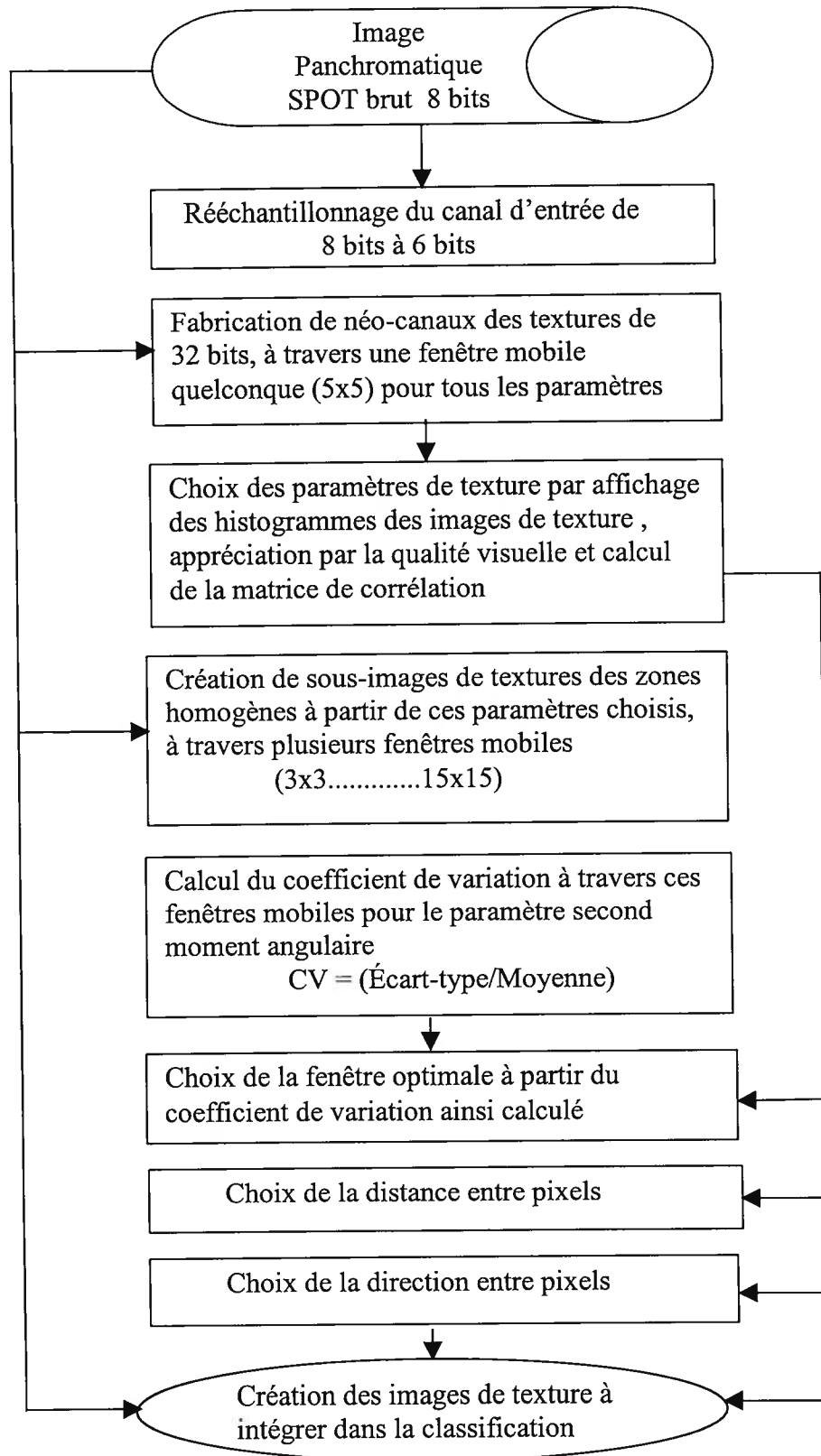
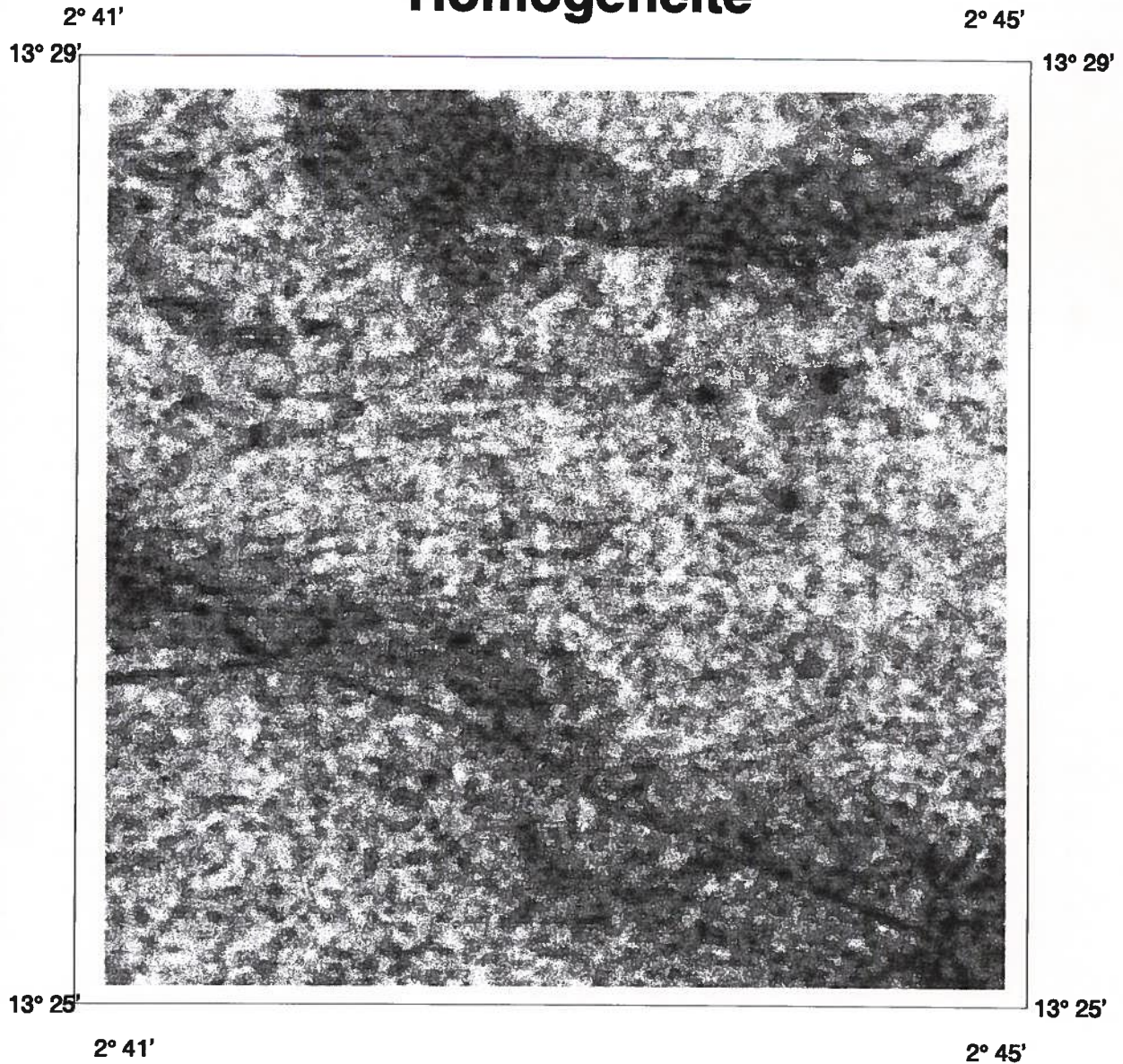


Figure 4 - Schéma de l'analyse de texture

Source : H. Soumana

RÉGION DE NIAMEY

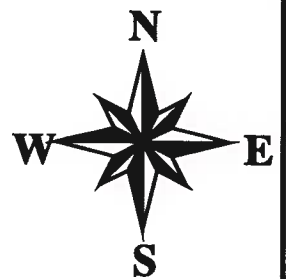
Image de texture pour le paramètre Homogénéité



Échelle : 1 : 200 000

0.002 0 0.002 Kilometers

Projection UTM Zone 31



Auteur : H. Soumana

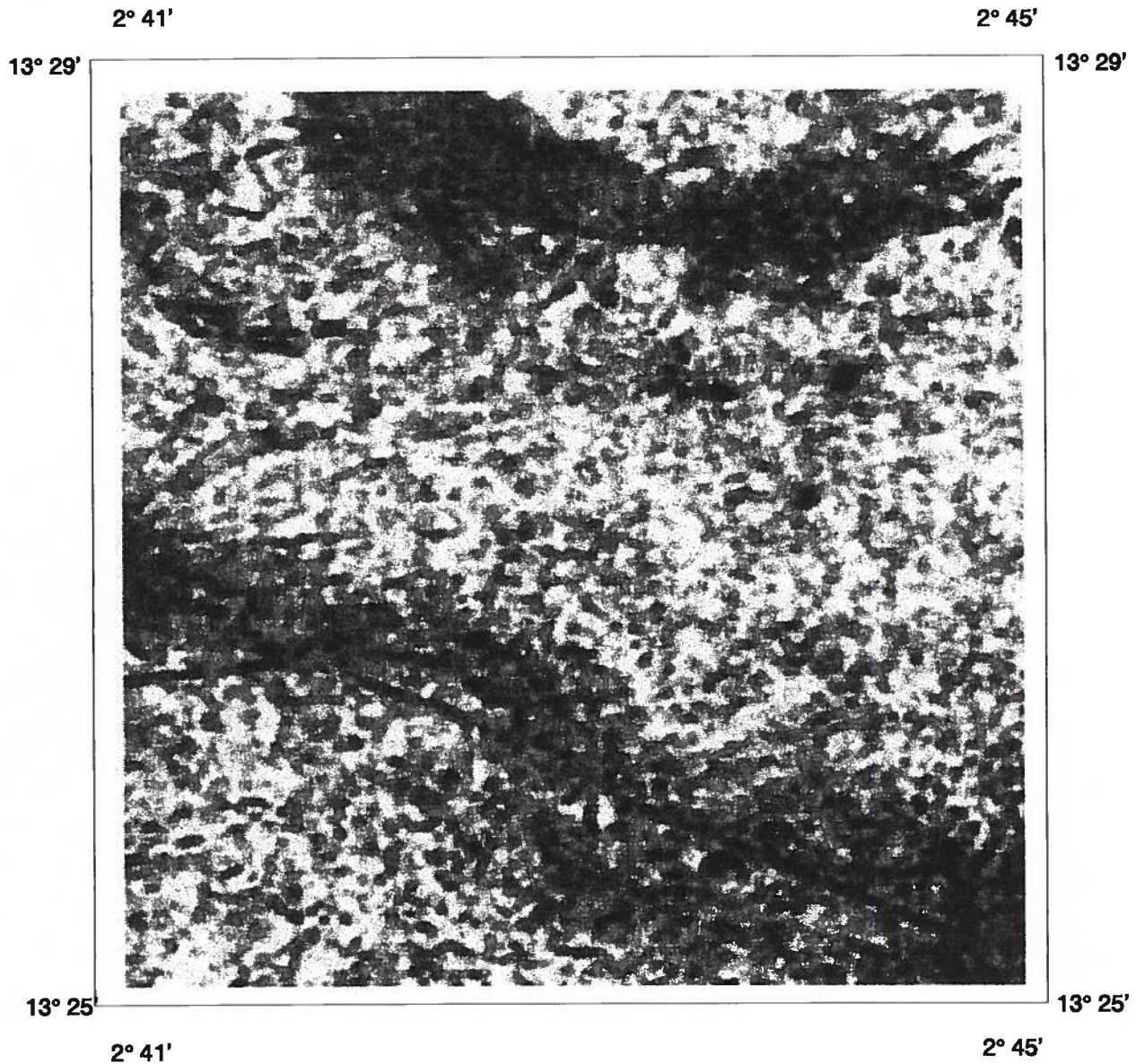
Université de Sherbrooke

Février 1999

Figure 5 - Région de Niamey : Image de texture pour le paramètre homogénéité

RÉGION DE NIAMEY

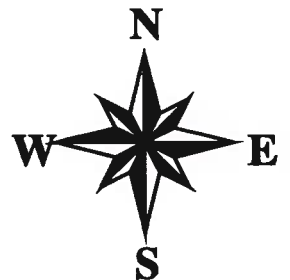
Image de texture pour le paramètre entropie



Échelle : 1 : 200 000

0.002 0 0.002 Kilometers

Projection UTM Zone 31



Source : H. Soumana

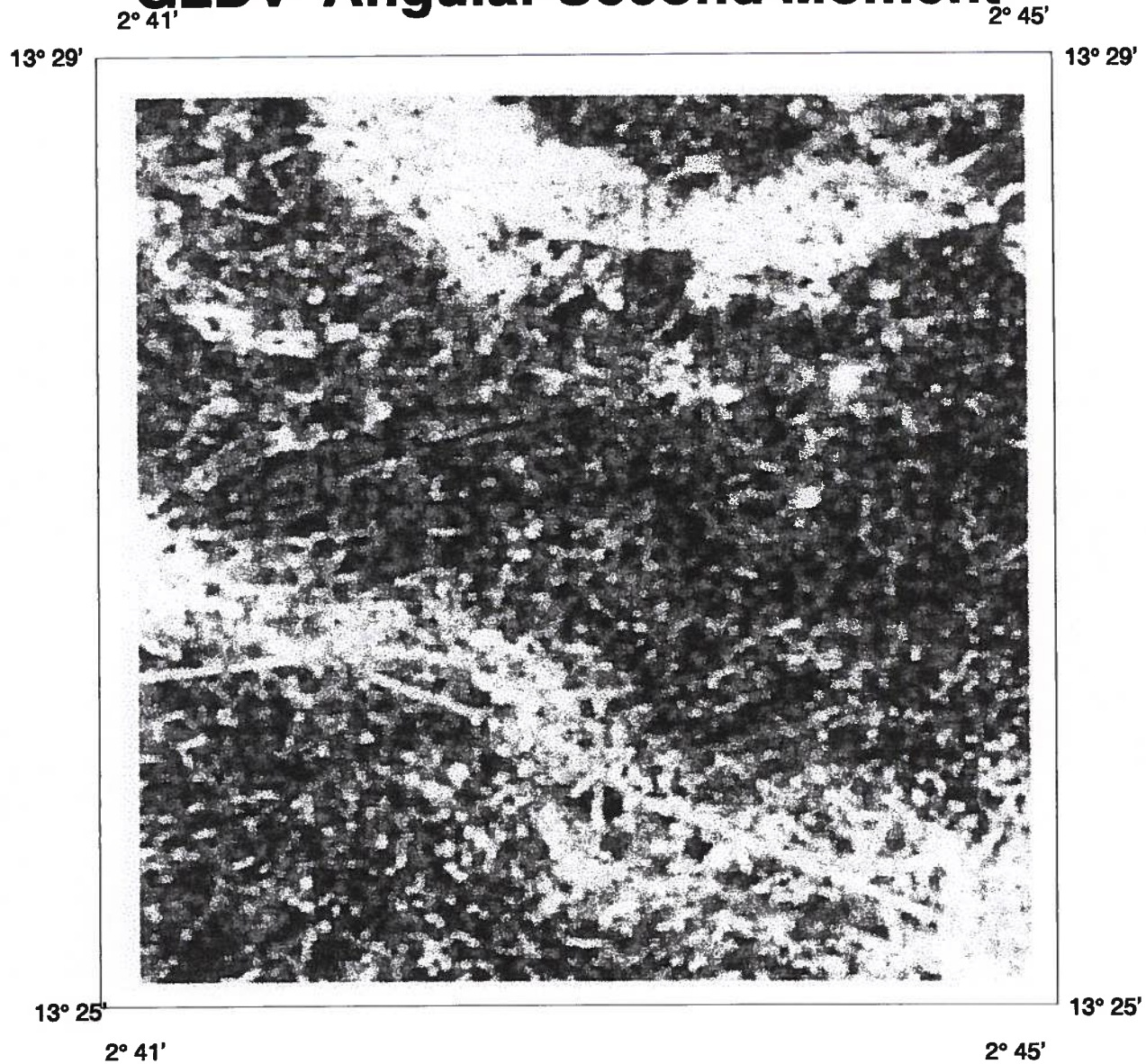
Université de Sherbrooke

Février 1999

Figure 6 - Région de Niamey : Image de texture pour le paramètre entropie

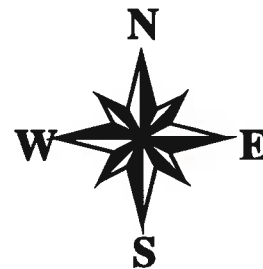
RÉGION DE NIAMEY

Image de texture pour le paramètre GLDV Angular Second Moment



Échelle : 1 : 200 000
0.002 0 0.002 Kilometers

Projection UTM Zone 31



Auteur : H.Soumana

Université de Sherbrooke

Février 1999

Figure 7 - Région de Niamey : Image de texture pour le paramètre GLDV Angular Second Moment

3.5. La classification

3.5.1. Les méthodes de classification utilisées en télédétection

La classification est une technique qui sert à regrouper les données (pixels, régions) en un certain nombre de classes qui correspondent, avec une fidélité plus ou moins grande, à des entités ou objets significatifs de l'image (culture, forêt, route, etc.), (Anys et *al.*, 1994b, p. 231). On distingue deux grandes catégories de classification, selon leur façon de caractériser chaque pixel de l'image. La première catégorie de classification consiste à regrouper les pixels sans connaissance à priori des signatures des objets au sol. C'est le programme qui établit les classes suivant l'algorithme de décision désiré. Le programme fonctionne à partir de statistiques des données retenues pour effectuer la classification selon le nombre de classes choisies par l'utilisateur. Cette tâche produit des fichiers de signatures d'objets virtuels. On parle alors de classification non dirigée ou non supervisée. La seconde catégorie de classification requiert de l'utilisateur une bonne connaissance de la nature des objets dans une section de l'image (sites d'entraînement). Le logiciel utilise les signatures spectrales de ces secteurs et regroupe en un même thème tous les pixels qui se rattachent à ces sites selon un critère de décision. La classification est alors supervisée. Pour les deux types de classification, l'hypothèse de base est la même. Deux objets identiques ont la même signature spectrale. Les critères d'établissement des classes de signatures seront alors définis de manière à ce que les signatures de chaque thème soient distinctes les unes des autres. La qualité de l'image classifiée dépend grandement de l'aptitude de l'utilisateur à établir les paramètres optimaux de distinction des classes. Pour augmenter la précision de la classification, on utilise souvent plusieurs bandes spectrales; des images dérivées peuvent aussi être insérées dans la classification : rapport de bandes, indices de végétation etc., selon le but de l'analyse. Des opérations de post-classification telles que l'application de filtres peuvent aussi améliorer la précision de la classification. Parmi ces deux grandes catégories de classification, non dirigée et dirigée, nous avons utilisé la méthode dirigée par maximum de vraisemblance. Ce choix s'explique par le fait que, d'une part, la classification au maximum de vraisemblance est populaire et d'autre part, elle est disponible sur notre système de traitement d'images. Nous avons de même une bonne connaissance du site d'étude; ce qui nous assure un contrôle final. La méthode de classification par maximum de vraisemblance, est basée sur la loi de Bayes pour calculer la plus grande probabilité (ou vraisemblance) qu'un pixel appartienne à une classe donnée; elle minimise ainsi l'erreur de mauvaise classification. Cette

méthode est la plus populaire parmi les méthodes de classification dirigée appliquées aux données de télédétection.

3.5.2. L'intégration des données panchromatique brut, spectrales et texturales dans la classification dirigée par maximum de vraisemblance

Dans la littérature, les images de texture après leur création peuvent être intégrées avec les données spectrales de diverses manières. Ces méthodes d'intégration, qui se distinguent soit par le poids accordé à la texture dans la classification, soit par le type de pixels qu'elles traitent, peuvent être réparties selon les cinq groupes suivants :

- les images de texture peuvent être utilisées toutes seules dans le processus de classification ou de segmentation (Slimani, 1986, in Anys , 1995, p. 144); cependant, une telle approche donne des résultats médiocres par rapport à la classification multispectrale;
- les images de textures peuvent être utilisées en superposition à l'image originale pour aider à son interprétation par ordinateur, en d'autres termes comme une donnée auxiliaire; tel est le cas des méthodes de segmentation basées sur le contexte (Cruse et *al.*, 1984, p. 493-496);
- elles peuvent être utilisées non pas pour réduire le nombre de pixels non classifiés, mais plutôt pour améliorer la précision et l'identification des pixels déjà classifiés; ainsi, les pixels qui appartiennent à une même classe doivent avoir les mêmes paramètres de texture pour confirmer leur appartenance à cette classe. La texture est ainsi considérée comme un procédé post-classification (Lee et Philpot, 1991, p. 545-554);
- les images de texture peuvent être utilisées comme des néo-canaux combinés aux canaux multispectraux dans les procédés de classification. Ceci revient donc à considérer l'information spatiale équivalente et de même nature que l'information spectrale (Salvaggio et *al.*, 1990; Coulombe et *al.*, 1991, p. 46-55; Marceau et *al.*, 1990, p. 513-519; Desachy, 1980);
- certains auteurs considèrent la texture comme une information secondaire, qui devra appuyer, au moment jugé opportun, les données spectrales dans la prise de décision de classification (Anys, 1995, p. 144). Cette nouvelle approche consiste à intégrer les données texturales aux

données spectrales d'une façon flexible et moins coûteuse en temps de calcul et sans grande perte en résolution spatiale. C'est la méthode spectro-texturale.

Cependant, même si cette nouvelle méthode spectro-texturale présente des atouts considérables, en temps de calcul et en précision sur l'information spatiale, il n'en demeure pas moins que l'approche la plus répandue dans la littérature est celle où les images de texture sont considérées comme des néo-canaux combinés aux canaux multispectraux. Toutefois, on peut dire, qu'il existe une relation entre ces deux méthodes, lorsque les données spectrales et texturales sont utilisées en même temps dans la nouvelle approche; d'où le qualificatif spectro-textural employé par les auteurs dans ces conditions.

Nous emploierons le même qualificatif spectro-textural dans le cas de notre étude, sans toutefois considérer la texture comme une information secondaire, mais plutôt équivalente et de même nature que l'information spectrale. Les canaux à intégrer dans notre processus de classification sont les suivants :

- 1 canal panchromatique de l'image brut,
- 3 canaux spectraux de l'image multispectrale ré-échantillonnée à 10 m,
- 3 canaux de texture.

La mise en oeuvre de cette classification se résume dans l'organigramme de la figure 8.

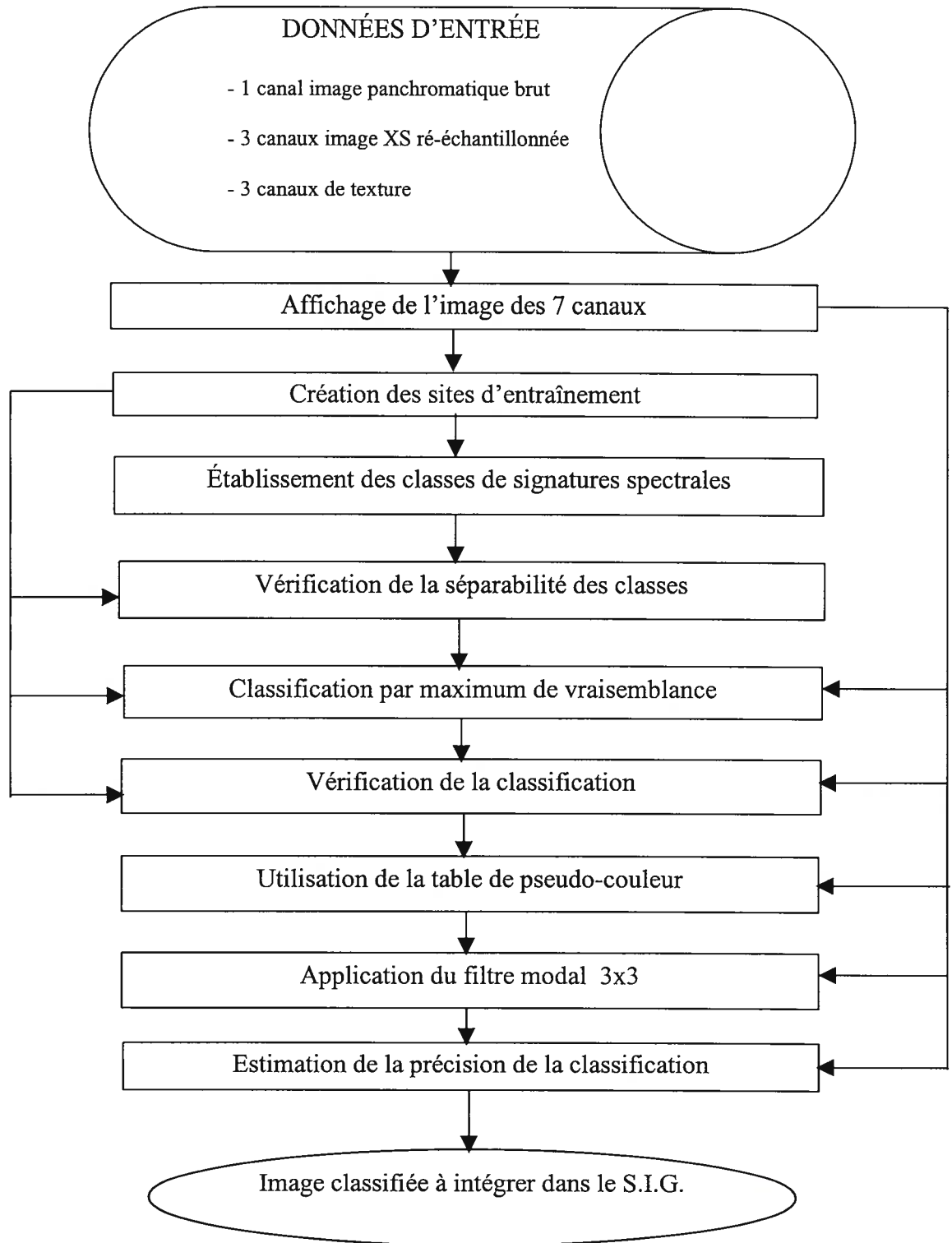


Figure 8 : Schéma d'intégration des données dans la classification dirigée par maximum de vraisemblance.

Source : H. Soumana

3.5.3. La création des sites d'entraînement

Comme nous l'avons mentionné plus haut, la classification dirigée requiert une bonne connaissance de la nature des objets dans une section de l'image, à partir des cartes ou des images de vérité terrain. Les sites d'entraînement correspondent à un échantillonnage de pixels représentatifs des différents types de classes d'utilisation du sol. La carte de données de terrain a servi à la sélection des sites d'échantillonnage et à des fins de comparaison. Cinq grandes classes ont été déterminées dans le cadre de cette étude, soit :

- la savane boisée ou arbustive
- les cultures avec arbres
- les cultures sans arbres
- la steppe
- les fonds de kori et sol nu.

Une sixième classe «la brousse tigrée », composée de trois classes préalablement définies (savane boisée, la steppe et le sol nu) a été confirmée après la classification.

3.5.4. L'établissement des classes des signatures spectrales

La seconde étape de la classification consiste à générer les signatures spectrales à partir des pixels couverts par les différents sites d'entraînement. L'établissement des classes de signatures se fait par segmentation ou découpage de l'espace spectral. L'espace spectral correspond à la répartition des valeurs des pixels dans l'espace défini par toutes les bandes utilisées. C'est la répartition des nuages de points dans l'espace spectral qui permet de distinguer différentes unités d'utilisation du sol. L'information sur les classes est générée de façon à ce que l'on puisse appliquer les règles de décision concernant la segmentation de l'espace spectral. Cette information se retrouve dans les fichiers de signatures. Le fichier de signatures renferme les informations suivantes (annexe 2):

- nombre de pixels contenus dans l'échantillon
- moyenne et écart-type de la classe pour chaque canal
- matrice de covariance
- matrice de corrélation
- valeur de seuil (threshold value) : maximum de vraisemblance

- probabilité à priori pour la classification par maximum de vraisemblance
- paramètre de classification par parallélépipède : nombre d'écart-type de chaque côté de la moyenne pour chaque bande.

C'est à partir de ce fichier de statistiques sur les classes que l'on produit les fichiers thématiques.

3.5.5. La vérification de la séparabilité des classes

La troisième étape de la classification consiste à vérifier la séparabilité des classes dans le canal où se trouvent les segments des signatures des sites d'entraînement générées précédemment. Une matrice de valeurs est produite au fin de contrôle. Une bonne séparabilité entre les classes implique que les valeurs de la matrice se situent entre 1.9 et 2.0 (exprimées en distances de Bhattacharyya) (tableau 1).

3.5.6. La classification par maximum de vraisemblance

Le programme de classification par maximum de vraisemblance calcule la plus grande probabilité (ou vraisemblance) qu'un pixel appartienne à une classe donnée. Il se sert de la valeur de coupure Gaussienne, ou valeur de seuil (threshold value THRS : maximum de vraisemblance) du fichier de signature. Cette valeur représente le rayon (en unité d'écart-type) de l'ellipsoïde entourant la moyenne de la classe en question dans l'espace spectral. Les pixels qui s'associent à une des ellipsoïdes prennent la valeur de la classe tandis que les pixels situés à l'extérieur des ellipsoïdes prennent la valeur zéro. Il est préférable de spécifier une valeur de coupure qui procure un bon recouvrement entre les ellipsoïdes de sorte que les pixels qui chevauchent quelques ellipsoïdes soient classifiés selon le maximum de vraisemblance. La valeur de la probabilité à priori (BIAS) du fichier de signatures est alors déterminante pour résoudre les secteurs de recouvrement. Dans le cas de notre étude, nous avons choisi respectivement comme valeur THRS égale à 3.5 et BIAS égale 1.0 (annexe 2).

3.5.7. La vérification de la classification

La vérification de la classification s'effectue à l'aide de sites de vérification, en créant de nouveaux sites sur l'image pour chaque classe à des endroits de l'image où des sites

d'entraînement n'étaient pas faits. Nous avons utilisé 39 489 pixels pour les sites de vérification; ce qui représente 1,6 % de l'image entière (tableau 2).

3.5.8. L'utilisation de la table de pseudo-couleur

Cette étape constitue la représentation de l'image classifiée selon une palette de couleur. Le résultat de la classification est un nouveau canal thématique enregistré dans la base de données selon la valeur du canal de sortie que nous avons spécifiée. Une image thématique est formée d'une série de pixels dont les niveaux de gris ne peuvent prendre que les valeurs des classes. Les niveaux de gris associés à chaque classe sont préalablement incorporés au fichier de signatures par la variable de niveau de gris. Par la suite nous avons représenté la classification selon la table de pseudo-couleur.

3.5.9. Le filtrage de l'image classifiée

Pour adoucir l'image classifiée, nous avons utilisé le filtre modal comme filtre post-classification. La taille du filtre 3 x 3 pixels que nous avons appliquée, a permis d'augmenter de façon significative la classification. Ainsi les zones de chevauchement entre les sites d'entraînement qui n'étaient pas classifiées pour un taux de 2% avant l'application du filtre modal, ont été assignées à leurs classes respectives.

3.5.10. L'estimation de la précision de la classification

La phase finale de la classification est l'évaluation de la précision des résultats obtenus. Une fois l'espace spectral découpé en différentes régions associées à des classes d'objets, on assigne à chacun des pixels des sites de vérification les étiquettes de classes qui les représentent dans l'espace spectral découpé. Le résultat global de la classification est présenté dans une matrice appelée matrice de confusion. À l'aide de cette matrice, des indices de précision de la classification sont calculés; soit :

- la précision du système qui représente le nombre de pixels correctement classifiés, pour une classe particulière, divisé par le nombre total de pixels de vérification pour cette même classe. C'est une mesure de l'erreur d'omission (Story et Congalton, 1986, p.398);
- la précision de l'utilisateur qui est une mesure de précision pour une catégorie individuelle; c'est le nombre total de pixels qui ont été mis dans cette classe divisé par le nombre de pixels correctement classifiés dans cette même classe. C'est une mesure de l'erreur de commission (Fung et Ledrew, 1988, p. 1450);
- la précision globale qui est égale au nombre total de pixels correctement classifiés (diagonale de la matrice de confusion) divisé par le nombre total de pixels de vérification; elle mesure la précision de l'image toute entière sans aucune indication sur la précision des classes individuelles (Singh, 1986, p. 250);
- la précision moyenne, qui équivaut à la moyenne des précisions de chacune des classes; la précision de chacune des classes peut être une précision du système ou de l'utilisateur, et la précision moyenne peut être calculée selon les deux cas sans contrainte (Fung and Ledrew, 1988, p. 1450);
- la précision combinée, est la moyenne de la précision globale et de la précision moyenne; elle peut être calculée soit avec une précision du système ou une précision de l'utilisateur (Nelson, 1983, p. 1312);
- le coefficient de concordance Kappa (K) développé par Cohen (1960, p. 37-46); c'est une mesure de la concordance actuelle indiquée par les éléments diagonaux de la matrice de confusion moins la possibilité de concordance indiquée par le produit des lignes et colonnes marginales; ce coefficient utilise toutes les cellules de la matrice de confusion et prend ainsi compte à la fois des erreurs d'omission et de commission (Rosenfield et Fitzpatrick-Lins, 1986, p. 224 et 225).

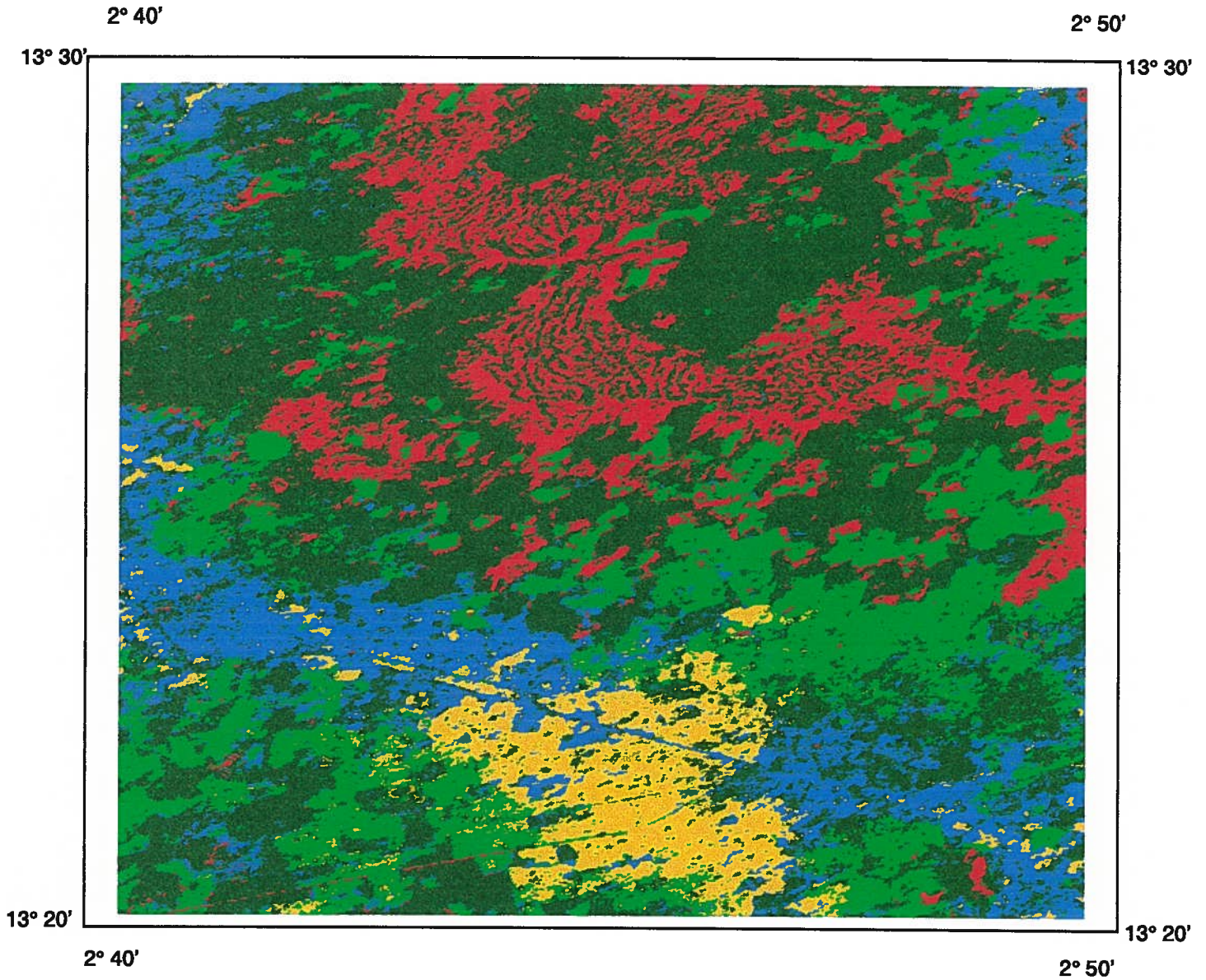
Cependant, après une étude comparative de l'ensemble de ces méthodes d'évaluation de la précision des classifications, Fung et Ledrew, (1988, p. 1453) ont conclu, que le coefficient Kappa était le plus approprié pour une description exacte de la précision de la classification,

puisqu'il tient compte de tous les éléments de la matrice de confusion. Nous avons adopté les méthodes de la précision globale, la précision moyenne, et la précision combinée.

La figure 9 présente l'image classifiée intégrée dans le SIG.






RÉGION DE NIAMEY

Image classifiée

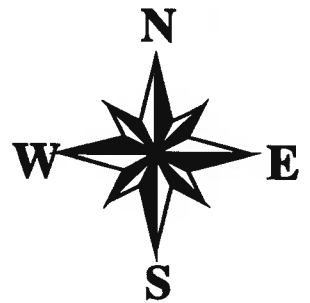


Échelle : 1 : 50 000

3 0 3 Kilometers

Legende	
	Savane boisée
	Culture avec arbre
	Culture sans arbre
	Steppe
	Fond de kori

Projection UTM Zone 31



Auteur : H. Soumana

Université de Sherbrooke

Février 1999

Figure 9 - Région de Niamey : Image classifiée

3.6. La numérisation de la carte topographique

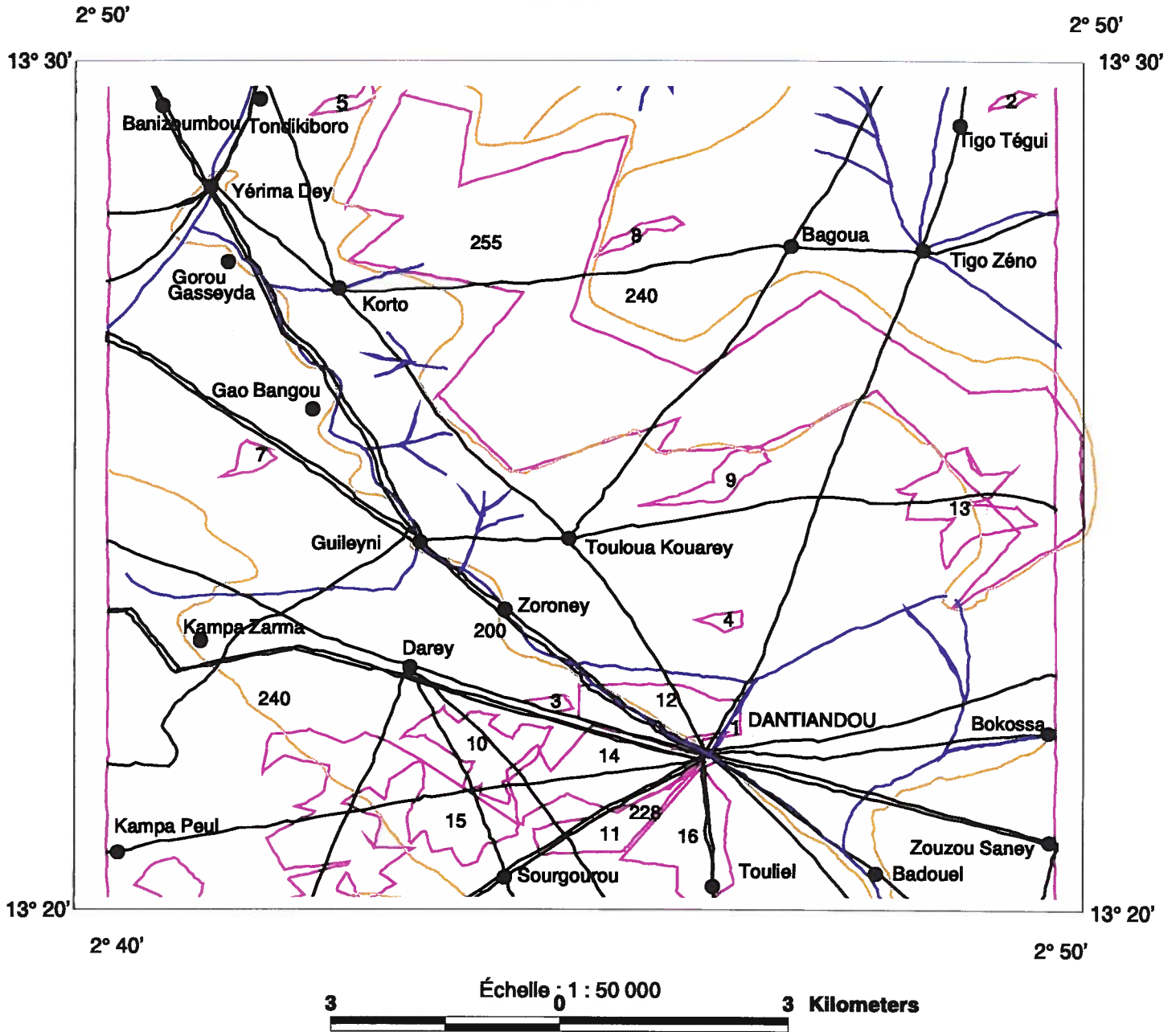
Une carte est un graphique représentant certains éléments de la surface terrestre. Elle contient des informations sur la position de chacun de ces éléments, la forme de ces éléments et la manière dont sont inter-reliés spatialement ces éléments. Elle contient aussi des informations concernant les caractéristiques ou attributs de chaque élément. Les éléments de la carte sont par exemple : courbes de niveau, pistes, routes, villages, cours d'eau etc. Les attributs sont par exemple : équidistance de la courbe, type de routes (routes bitumées ou en terre), nature des villages (chef-lieu de canton, hameaux), nature du cours d'eau (cours d'eau permanent ou cours d'eau temporaire) etc. En bref, la numérisation avec le logiciel ATLAS* GIS a été utilisée pour la gestion de bases de données géographiques. Elle nous a permis de retrouver, emmagasiner, manipuler, analyser, afficher, sortir la position et l'attribut des éléments de la carte topographique. Les informations de position pour chaque élément de la carte sont enregistrés dans un fichier géographique; les éléments de la carte sont organisés en couches.

De la carte topographique nous avons numérisé les couches suivantes (figure 10):

- la couche des courbes de niveaux,
- la couche du réseau routier,
- la couche du réseau hydrographique,
- la couche de points ou villages,
- la couche des contours des champs reportés à l'aide des coordonnées mesurées au GPS

RÉGION DE NIAMEY

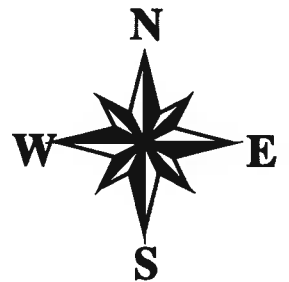
Carte numérisée



Legende

- Courbes de niveau
- Cours d'eau temporaires
- Parcelles et champs
- Routes et pistes
- Numéro de parcelles et champs
- Hameaux
- Canton
- 200 Cote de courbe de niveau

Projection UTM Zone 31



Auteur : H. Soumana Université de Sherbrooke

Février 1999

Figure 10 - Région de Niamey: Carte numérisée

3.7. L'intégration des données dans le S.I.G

L'intégration des différentes données issues de la classification des images satellitaires et de la numérisation des cartes topographique et de vérité terrain, a été réalisée dans ARCVIEW. Cette opération consiste en la superposition des données vectorielles aux données matricielles et à leur mise à une échelle unique fixée par nos objectifs.

3.7.1. L'analyse cartographique

Le document final doit présenter des informations complémentaires permettant la localisation, la définition et l'interprétation de la carte. Ces renseignements sont présentés par des surcharges sur l'image et un habillage cartographique marginal; c'est la rédaction du document final qui peut être variée selon le type de produit désiré. Cependant, l'application des normes est indispensable : découpage en feuillets correspondant au standard de la cartographie du pays concerné, normalisation de l'habillage etc. En fait, le problème principal de la réalisation de la carte de base ou spatiocarte thématique est l'intégration d'une vue réaliste du paysage et d'une représentation symbolique des composants traditionnels de la carte. Les surcharges correspondent aux données topographiques, soit :

- les informations altimétriques (courbes de niveau, points cotés);
- la toponymie;
- les limites administratives;
- les réseaux routier et hydrographique;
- l'occupation du sol.

L'image de télédétection est, dans ce cadre, à la fois support et source d'informations. La disponibilité d'informations topographiques sous forme numérique, gérées par le S.I.G, est évidemment un atout majeur quant à l'acquisition et la sélection des surcharges; par conséquent, une attention toute particulière devra être accordée à la qualité de la superposition des différentes informations. Cela nécessite donc des données cohérentes au niveau géométrique.

Un certain nombre d'indications périphériques à l'image, ou habillage, doivent figurer, comme dans tout document cartographique. Dans le cas de spatiocartes, l'information périphérique peut être scindée en deux entités :

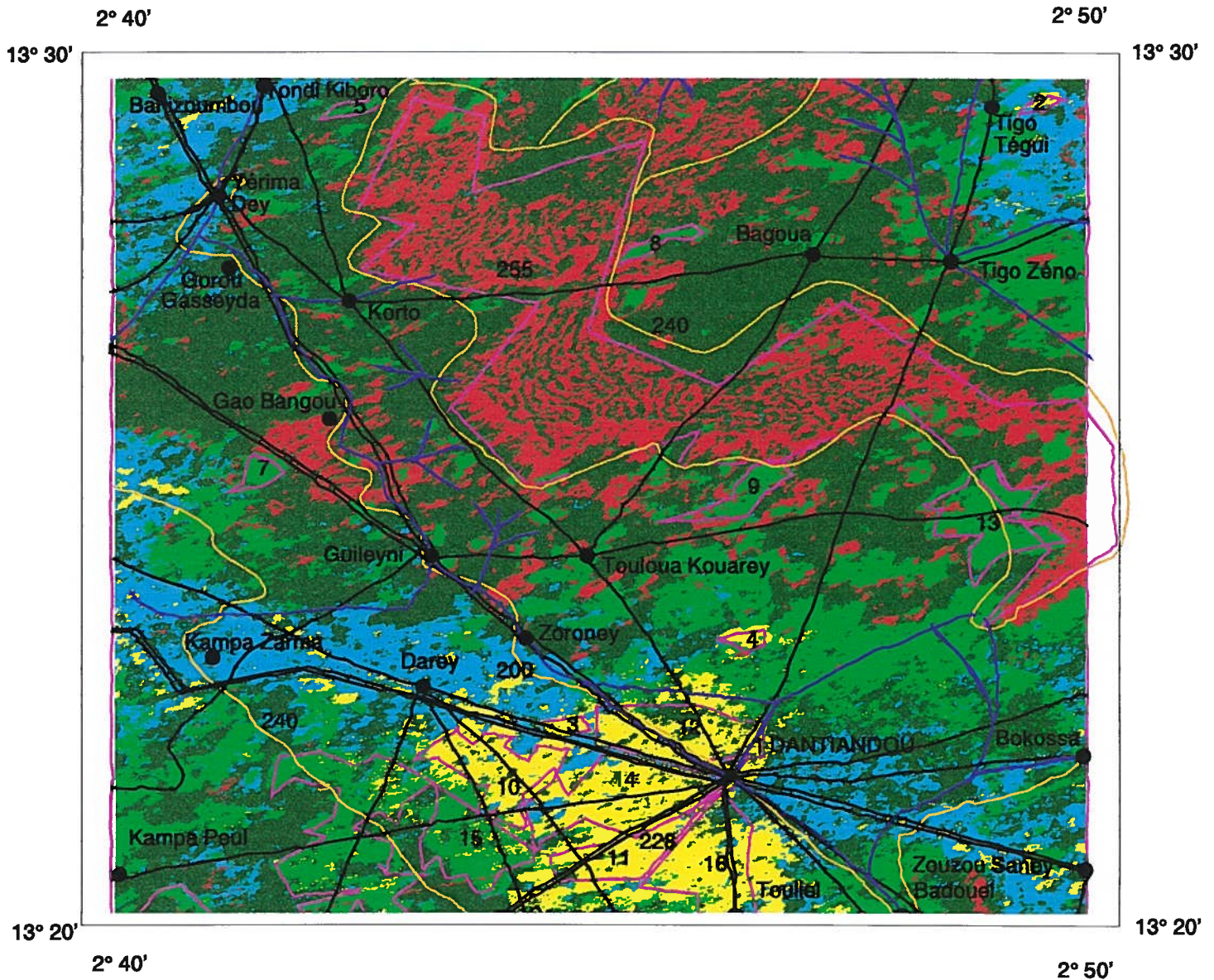
les éléments relevant de la cartographie traditionnelle (titre de la feuille, référence de la feuille, amorces et croisillons géographiques et ou cartographiques, déclinaison magnétique, échelle alphanumérique et graphique, tableau d'assemblage général du pays, type de projection et ellipsoïde utilisé, légende complète des signes et figurés ajoutés, copyrights image et carte);

les éléments spécifiques à la spatiocarte : tableau d'assemblage des scènes utilisées, avec pour chaque scène : le capteur, couverture géographique de la scène (KJ, pour SPOT), date de prise de vue, canaux utilisées, mode de prise de vue, niveau de pré-traitement, traitements réalisés, origine de fiabilité des données topographiques, légende thématique.

Néanmoins, dans le cadre de notre étude, nous présenterons des informations permettant le repérage et la localisation géographique et ou cartographique sur l'image; en particulier une ébauche de carroyage (échelle graphique). La figure 11 présente la carte de base au 1 : 50000 de la région de Niamey (Niger).

RÉGION DE NIAMEY

Carte de base



Legende

-  Courbes de niveau
-  Cours d'eau temporaires
-  Parcelles et champs
-  Routes et pistes
-  Numero de parcelles et champs
-  Hameaux
-  Canton
-  Cote de courbes de niveau
-  Savane boisée
-  Cultures avec arbres
-  Cultures sans arbres
-  Steppe
-  Fond de kori

Échelle : 1 : 50 000

3 0 3 Kilometers

Projection UTM Zone 31

Auteur : H. Soumana Université de Sherbrooke

Février 1999

Figure 11 - Région de Niamey : Carte de base

3.8. La validation et la vérification de la carte de base

Cette étape constitue l'évaluation de la qualité de la spatiocarte et sa validation à l'aide des données de référence : carte de vérité terrain, données auxiliaires, photographies aériennes etc. sept critères sont retenus pour évaluer la qualité cartographique de la spatiocarte qui peuvent être regroupés en deux rubriques :

Qualités métrique et spectrale

- exactitude et précision du traitement géométrique et de la classification de l'image servant de fond, en vue de sa comparaison avec la vérité terrain,
- calcul des superficies des échantillons de champs à partir des coordonnées levées au G.P.S et comparaison avec les mêmes entités sur la spatiocarte (fond-image) aux tolérances cartographiques admises selon l'échelle et l'instrument utilisé,
- cohérence du système de représentation cartographique.

Qualités cartographiques

- richesse et fiabilité de l'information image et surcharges,
- mise en place de l'information, rigueur des données et des processus cartographiques,
- esthétique cartographique de l'ensemble du document,
- qualité de l'édition.

Les contrôles de qualité doivent intervenir à chaque étape du processus d'élaboration de la carte, de la donnée image brute à l'ensemble de la phase de rédaction et d'édition cartographique. Il est également nécessaire d'évaluer des processus techniques utilisés pour rajouter les surcharges : fiabilité de leur position géométrique selon les normes reconnues (ou des spécifications particulières). En définitive, si la précision d'une spatiocarte est directement liée à la précision du fond-image, il n'en reste pas moins que les surcharges doivent être correctement positionnées et se rapprocher le plus possible de l'objet correspondant, tout en restant bien visibles.

3.8.1. Les relations entre des mesures faites sur une carte et les valeurs correspondantes sur le terrain, en fonction de l'échelle

L'objectif principal de notre étude étant, la représentation globale de la zone d'étude à une échelle moyenne et le suivi de son occupation du sol. Nous avons calculé les superficies des échantillons de champs levés sur le terrain au GPS et procédé à leur comparaison par rapport aux superficies mesurées sur l'image classifiée selon l'échelle et la précision de l'instrument utilisé. L'échelle est le rapport d'homothétie entre les éléments du terrain et leur représentation sur la carte. Différentes précisions peuvent être atteintes en fonction de l'échelle choisie. Celle-ci doit tenir compte de:

- la complexité de la région en rapport avec la nature des phénomènes à représenter;
- la précision des levés.

Dans tous les cas l'erreur graphique doit être inférieure à la précision souhaitée pour nos travaux (les tolérances admises en cartographie traditionnelle); (Durand, 1993, p. 34).

4. L'interprétation et l'analyse des résultats

4.1. Les résultats du traitement des images

Les tableaux 1 et 2 présentent respectivement la matrice de séparabilité des classes de signatures des sites d'entraînement et l'estimation de la précision de la classification dirigée par maximum de vraisemblance.

Tableau 1 – Matrice de séparabilité des classes de signatures des sites d'entraînement

Nom de la classe	Nombre de pixels dans la classe	Pourcentage de la classe dans l'image	Numéro de la classe	Numéro de la classe			
				2	3	4	5
Savane boisée	64416	2.6	1				
Cultures avec arbres	32200	1.2	2	1.7			
Cultures sans arbres	10681	0.4	3	1.4	2.0		
Steppe	5581	0.2	4	1.5	2.0	2.0	
Fond de kori	19165	0.8	5	1.6	2.0	2.0	2.0
Total	132043	5.2					

Source : Soumana

De cette matrice nous tirons les valeurs suivantes :

La séparabilité moyenne : 1.8

La séparabilité minimale : 1.4

La séparabilité maximale : 2.0

Le minimum de séparabilité a été constaté sur les segments (7, 9). Les résultats de cette classification sont présentés dans le tableau 2.

Tableau 2 – Résultats de la classification dirigée par maximum de vraisemblance après vérification

Nom de la classe	Sites de vérification		Matrice de confusion				
	Nombre de pixels dans la classe		1	2	3	4	5
	Pixels	%					
Savane boisée	18466	0.74	90	4	0	0.7	5
Cultures avec arbre	5843	0.23	9	86	0.9	4	0.2
Cultures sans arbres	2518	0.10	6	11	81	0	1
Steppe	5550	0.22	13	5	0	82	0.4
Fond de kori	7112	0.29	7	1	8	0	84
Total	39489	1.6					

Source : Soumana

Selon les résultats obtenus par nos traitements, on remarque que la précision à laquelle nous sommes parvenue, est fonction de la rigueur de nos travaux sur le terrain. Une correction géométrique basée sur des points d'appui levé avec précision sur le terrain au G.P.S, une délimitation des sites d'entraînement sur le terrain dans les mêmes conditions de mesure, une bonne connaissance du terrain et enfin une méthode de segmentation d'image par coopération spectrale-texturale qui a déjà fait ses preuves dans le processus d'extraction de l'information des données de télédétection aérospatiale. Les statistiques de précision de la classification sont entre 81 % à 90 % pour les classes prises en considération dans cette étude; ce qui justifie une précision globale de 87 %, une précision moyenne de 85 % et une précision combinée de 86 %. Ceci se justifie par des erreurs d'omission variant entre 10 % et 19 %, des erreurs de commission se situant entre 6 et 13 % et un coefficient kappa identique pour toutes les classes égale à 0.81. Le maximum de précision est obtenu au niveau de la savane boisée (90 %); ceci est dû au fait que cette classe représente presque la moitié de l'image (42 %). La précision minimale (81 %) est atteinte au niveau des cultures sans arbres représentant 6 % de l'image.

4.2. L'analyse des résultats du processus d'intégration des données dans le S.IG.

Après superposition sur l'image de fond, des différentes couches (réseau routier, courbes de niveau, réseau hydrographique), dérivées de la numérisation de la carte topographique, on remarque un décalage dû certainement à l'âge et à la précision de cette carte, qui en fonction de son échelle (1 : 200 000), n'a pas été réalisée avec la même rigueur. Ce qui nous a conduit, à opter pour une méthode de levé plus précise pour le canevas d'ensemble et les points d'appui qui ont servi à la correction géométrique des images. Par contre, la couche des contours de champs affleure d'une manière plus exacte l'image de fond, nonobstant certaines configurations de formes circulaires sur l'image, qui sont représentées sur le plan parcellaire par leurs coordonnées sous forme polygonale. Cette discordance va se vérifier dans l'évaluation entre les superficies mesurées sur l'image de fond (carte thématique au 1 : 50 000) et les superficies mesurées sur le terrain (tableau 3).

4.3. L'analyse des résultats d'évaluation des superficies

Pour le calcul des superficies, nous avons regroupé les échantillons de parcelles en sept catégories, soit les champs de superficies comprises entre :

- 0 hectare à 10 hectares,
- 10 hectares à 20 hectares,
- 20 hectares à 50 hectares,
- 50 hectares à 100 hectares,
- 100 hectares à 150 hectares,
- 150 hectares à 200 hectares,
- 200 hectares à 250 hectares.

Le tableau 3 présente les résultats du calcul des superficies par les coordonnées et celles évaluées sur la carte thématique au 1 : 50000.

Tableau 3 – Résultats des calculs de superficies par les coordonnées mesurées sur le terrain au GPS et sur la carte-image

Numéro parcelle	Superficie mesurée sur le fond image au 1 : 50 000		Superficie mesurée sur le terrain au GPS Hectares	Différence de superficie Hectares	% d'exactitude
	Pixels	Hectares			
1	430	4,3	3,7	0,6	86,5
2	450	4,5	3,8	0,7	84,6
3	998	9,9	9,2	0,7	92,6
4	974	9,7	10,3	0,6	94,2
5	1097	10,9	10,4	0,5	95,2
6	1374	13,7	13,1	0,6	95,7
7	1560	15,6	14,9	0,6	96,9
8	1594	15,9	15,7	0,2	98,8
9	3889	38,9	36,3	2,5	93,4
10	5340	53,4	52,8	0,5	98,9
11	6541	65,4	64,3	1	98,3
12	8085	80,8	74,2	6,7	91,7
13	10998	109,9	110,7	0,7	99,3
14	13019	130,2	130,9	0,8	99,4
15	22394	223,9	221,7	2,2	99
Moyenne				1,6	95

Source : H. Soumana

Suivant le tableau (3), nous remarquons une statistique de concordance entre les superficies mesurées sur l'image et celles mesurées sur le terrain se situant entre 85 % et 99 %. Ces résultats sont fonction de la dimension et de la forme des parcelles. Les statistiques les plus faibles sont obtenues sur les parcelles de petites dimensions situées entre 3 hectares et 20 hectares. On retrouve les plus grandes précisions sur les parcelles se situant entre 20 hectares et 230 hectares hormis les champs de formes circulaires. Ceci se justifie par la résolution des données de base qui sont plus adaptées aux grandes surfaces. Nous obtenons de ce fait une précision moyenne de 95% et une différence de superficie moyenne de 1,3 hectares pour l'ensemble des échantillons de champs.

En nous situant dans le contexte de notre étude qui a comme objectif principal, la représentation globale de la zone d'étude à une échelle moyenne (entre 1 : 50 000 et 1 : 25 000) et d'après le tableau de tolérances admises en cartographie conventionnelle (Durand, 1993, p. 34), qui donne les relations entre les mesures faites sur une carte et les valeurs correspondantes sur le terrain, en fonction de l'échelle pour une précision graphique de $\pm 0,2$ mm, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

- à l'échelle 1 :25 000, en considérant les mesures individuelles la précision souhaitée qui est de $\pm 1,6$ hectares est atteinte dans 80 % des échantillons de champs;
- à l'échelle 1 : 50 000, la précision souhaitée qui est de $\pm 6,3$ hectares est atteinte dans 93 % des échantillons de champs.

5. Discussion

L'imagerie HRV de SPOT est bien adaptée pour l'établissement des cartes de base à moyennes échelles. Leur haute résolution spatiale, procure l'information nécessaire lors de la segmentation spectrale-texturale.

Nous avons pu établir une carte de base représentant d'une façon globale la zone d'étude aux échelles que nous nous sommes fixées au départ dans les tolérances admises en cartographie traditionnelle. Cette carte thématique répondra aux besoins de la commune quant à l'état actuel de l'occupation du sol et de son suivi permanent par des techniques de mise à jour disponibles.

La qualité métrique obtenue dans l'élaboration de cette carte de base, favorisera son utilisation polyvalente quant à certains contrôles de conformité de déclarations sur l'occupation et la nature des parcelles cultivées. Toutefois nous restons prudents quant à la mission juridique de ce document dans l'identification précise des limites physiques des parcelles cadastrales rurales, en l'occurrence celles de petites dimensions inférieures ou égale à 3 hectares. Sur ce dernier point, un retour sur le terrain pour complètement s'avère nécessaire.

Il a été démontré dans cette étude, qu'il est possible, en utilisant une approche géomatique, de reconstituer à moyennes échelles une carte de base d'une zone rurale, en l'occurrence la région de Niamey-Niger et d'en suivre son occupation du sol, à partir d'images satellites HRV de SPOT.

En d'autres termes, le document peut remplacer valablement aux échelles moyennes une carte de base réalisée à l'aide de photographies aériennes, pour la mise en place d'un cadastre polyvalent.

6. Conclusion

La télédétection et les systèmes d'information géographique sont de plus en plus appréciés en cartographie. Grâce à des méthodes modernes, on redécouvre progressivement l'intérêt offert par la géomatique pour représenter le paysage. La conduite de cette procédure menée dans le cadre de cette étude, a permis de dégager certains enseignements :

- dans le domaine du cadastre, il faut être prudent quant à la validation de sa mission juridique, qui constitue la définition exacte des limites des parcelles et sa vocation, qui est la création de plans parcellaires à grande échelle se rattachant d'une manière plus ou moins précise à la propriété;
- toutefois, à moyenne échelle, dans le processus de représentation globale du territoire, pour les besoins du cadastre à buts multiples, il est intéressant d'analyser, tant d'un point de vue technique qu'économique, comment l'imagerie HRV de SPOT peut contribuer à évaluer l'efficacité des mesures de gestion du territoire;
- il est pertinent de chercher à déterminer et localiser un thème cultural au sein de parcelles cadastrales, en exploitant des images satellitaires dans une région où le parcellaire cadastral et cultural est de taille moyenne (supérieure ou égale à 3 ha).

Cependant, il conviendra d'attendre, avant d'apprécier définitivement la précision du classement réalisé, les résultats des opérations de contrôle et des phases de validation de terrain.

Une démarche plus prospective pourrait à l'avenir :

- améliorer les résultats de la procédure en exploitant des images de limites de résolution plus fines, à mesure que la résolution spatiale des images des futurs satellites civils le permet;
- orienter les contrôles en utilisant d'autres algorithmes de classification dirigée et non dirigée pour avoir une évaluation fiable de la méthode.

Dans cet ordre d'idées, cette étude ne constitue qu'une première étape conduisant à ce qui doit être considéré comme la véritable finalité du projet, à savoir l'élaboration d'une carte de base à moyenne échelle(entre 1 : 50 000 et 1 : 25 000), pour la mise en place d'un cadastre général et polyvalent par imagerie satellitaire.

7. Références

Andrew, C. K. et Marshall, D. A. (1978) Evaluation of remote sensing imagery for cadastral mapping. Proceedings of the American Congress on Surveying and Mapping 38th Annual Meeting. Feb 26-Mar 4 1978, 1978 Washington, DC, USA AM Congr on Surv and Mapp Falls Church, Va, p. 41-59. Paper : 78-114 publication Year.

Anys, H. (1995) Approche multipolarisation et texturale pour la reconnaissance des cultures à l'aide de données radar aéroporté, Thèse de doctorat, Université de Sherbrooke (Québec) Canada, 241 p.

Anys, H. et He, D.C. (1995) Approche multipolarisation et texturale pour la reconnaissance des cultures à l'aide de données radar aéroporté, Journal Canadien de télédétection, vol. 21, n° 2, p. 138-157.

Anys, H., Bannari, A., He, D.C. et Morin, D. (1994b) Texture analysis for the mapping of urban areas using airborne MEIS-II images, Proceedings of the first international airborne remote sensing conference and exhibition, Strasbourg, France, 11-15 september, vol. III, p. III-231-III245.

Arancibia, G. S. et Clark, B. J. (1993) Processus de mise en oeuvre d'une base de données à référence spatiale au Manitoba à l'aide d'un système cadastral conçu sur les mesures. Canadian Conférence on GIS, Proceedings, OTTAWA, Canada, 23-25, mars, 1993, p. 219-230.

Bonn, F. et Rochon, G. (1992) Précis de télédétection, principes et méthodes. Presses de l'Université du Québec. AUPELF-UREF. Vol. 1, 485 p.

Bernard, J.L. et Essevez-Roulet, M. (1995) Mise en oeuvre d'un système d'information géographique. Dossier d'experts. Voiron : La lettre du cadre territorial; FRA; ISBN 2-84130-061-7; DA. 1995; 145 p.

Campbell, G. et Egesborg, P. (1990) Développement d'un système d'information géographique de propriété pour les terres du Canada. CISM Journal ACSGC, vol. 44, n° 3, automne 1990, p. 251-255.

Campbell, G. et Hastie, R. (1993) Gestion des terres indiennes à l'aide de la technologie des SIG. Canadian Conférence on GIS, Proceedings, OTTAWA, Canada, 23-25, mars, 1993, p. 141-153.

Cannon, É. M. (1990) Contribution du GPS à la société de l'information. CISM Journal ACSGC, vol. 44, n° 3, automne 1990, p. 225-231.

Cavayas, F., Baudouin, Y., et Marois, C. (1995) Vers une nouvelle méthode d'inventaire et de mise à jour de l'occupation/utilisation du sol en milieu urbain, Journal Canadien de télédétection, vol. 21, n° 1, p. 28-42.

Clos-Arceuduc, A. (1956) Étude sur photographies aériennes d'une formation végétale sahélienne : la brousse tigrée. Bull. de l'I.F.A.N., T. XVIII, série A.

Cohen, J. (1960) A coefficient of agreement for nominal scales. Educational and psychological measurements, vol. 20, n° 1, p. 37-46.

Coulas, T., Carkner, L., Egesborg, P. (1993) Conversion de données pour un SIG cadastral polyvalent fondé sur les mesures. Canadian Conférence on GIS, Proceedings, OTTAWA, Canada, 23-25, mars, 1993, p. 231-242.

Coulombe, A., Charbonneau, L., Brochu, R. et Morin, D. (1991) L'apport de l'analyse texturale dans la définition de l'utilisation du sol en milieu urbain. Journal Canadien de Télédétection, vol.17, n°1, p. 46-55.

Cruse, D., Oddy, C.J., and Wright, A. (1984) A segmented image data base (SID) for image analysis, 7th International conference on pattern recognition, IEEE, p. 493-496.

Desachy, J. (1980) Contribution à l'étude de la texture en télédétection. Thèse de 3^e cycle, Université Paul Sabatier, Toulouse, 325 p.

Dugas, A. et Morin, D-R. (1993) Évaluation de quelques sources d'erreur dans un inventaire semi-automatisé de l'utilisation agricole du sol : étude de cas de Sainte-Foy (Québec). Cahiers de géographie du Québec, vol. 37, n° 100, Avril 1993 p. 35-48.

Durand, D. (1993) Les spatiocartes, méthodes et exemples de réalisation. Les cahiers pédagogiques du GDTA. 111 p.

Duvernoy, I., Albaladejo, C. et Perucca, C. (1993) Méthode de cartographie des systèmes de culture en région de petites exploitations du nord-est de l'Argentine, télédétection et cartographie. Éd. AUPELF-UREF. Les presses de l'Université du Québec. 1993. p. 211-226.

École nationale du cadastre Toulouse. (1993) Présentation générale du cadastre et sa documentation. DGI, Formation professionnelle. Toulouse, 138 p.

École nationale du cadastre Toulouse. (1989) Cours d'initiation sur les régimes fonciers et les cadastres comparés. DGI, Formation professionnelle. Toulouse, 159 p.

Fung, T. and Ledrew, E. (1988) The determination of optimal threshold levels for change detection using various accuracy indices. Photogrammetric engineering and remote sensing, vol. 54, n° 10, p. 1449-1454.

Gong, P. (1990) Improving accuracies in land use classification with highspatial resolution satellite data : a cotextual classification approach, Ph.D. thesis, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada, 181 p.

Grépin, G., Badji, J., Tourand, J. F., Camara, S., Nosmas, J. F., (1989-1990) Gestion de l'espace et utilisation du foncier en milieu villageois dans la vallée du fleuve Sénégal : association de l'image aérienne basse altitude petit format et de l'image satellite. Projet de recherche partagée, Réseau Télédétection, Équipe 89.03. AUPELF-UREF.

Haese-Coat, V., Ronsin, J., Wang, D. (1994) La texture et ses différentes approches. Photo-interprétation n° 1993/4-1994/1-2. p. 17-27.

Haralick, R. M. (1979) Statistical and structural approaches to texture, Proceedings of the IEEE, vol. 67, n° 5 p. 786-804.

Haralick, R. M., Shanmugam, K. and Dinstein, I. (1973) Textural features for image classification, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics society, vol SMC-3, n°6, p. 610-621.

Kaiser, H. (1995) A quantification of texture on aerial photographs, Boston Univ. Res. Lab, tech. Note 121, AD69484.

Kilpelä, E. and Heikilä, J. (1990) Comparison of some texture classifiers, Proceedings of the symposium on global and environmental monitoring techniques and impact, sept. 17-21, Victoria, British Columbia, Canada, vol. 28, part 7.2, p. 333-339.

Lake, L. A. (1991) Analyse de méthodes texturales appliquées au traitement d'images. Essai. Univ. de Sherbrooke, Départ. de Géo. Et Télédétection, 1991, fig . 38 p.

Lambin, E. (1986) Stratification d'une image Landsat en termes de systèmes agraires (sud-ouest du Burkina Faso). Photo-interprétation, 86-6, 2, 11-20.

Lambin, E. (1987a) Application de la télédétection à la gestion de l'agriculture en Afrique occidentale. Actes de la journée d'études en télédétection. 27 mars 1987, faculté des sciences agronomiques de l'Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, 10 p.

Lambin, E. (1987b) Impact écologique des migrants en zone soudanienne. Bulletin n° 5 du RISED (septembre 1987), Bureau européen de l'environnement, 2 p.

Lambin, E. (1987c) Problèmes liés aux migrations rurales et apport de la télédétection pour la gestion des terroirs villageois au Burkina Faso. Actes du Séminaire International de la fondation pour la coopération culturelle ACP/CEE. 30 nov-2 déc 1987, CTA, Amsterdam, 17 p.

- Lambin, E. (1988a) L'apport de la télédétection dans l'étude des systèmes agraires d'Afrique. *Revue Africa*. Vol. 58, n° 3, p. 337-352.
- Lambin, E. (1988b) Discrimination des groupes de culture sur SPOT et difficulté d'extrapolation dans l'espace des valeurs de signature spectrale (Burkina Faso). *Africa pixel 2-88*. Revue du Centre régional de télédétection de Ouagadougou.
- Lambin, E. (1988c) Apport de la télédétection pour l'étude d'un bassin versant sahélien et pour l'identification de la dégradation de l'environnement. *Studiedag van de belgische Bodemkundige Vereniging*. *Revue de la société belge de pédologie*, 3 : p. 307-318.
- Lambin, E. et Lamy, H. (1986) Agricultural inventory and agrarian systems survey by remote sensing, Some empirical observations from Burkina Faso. *Proceedings of the 20th International Symposium on Remote Sensing of Environment*, 4-10 décembre 1986, Nairobi. p. 687-699.
- Laur, H. (1989) Analyse d'images radar en télédétection : discriminateurs radiométriques et texturaux. Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier, n° 403, Toulouse, 244 p.
- Lee, J. H. and Philpot, D. W. (1991) Spectral texture pattern matching : a classifier for digital imagery, *I.E.E.E. Transactions on Geoscience and remote sensing*, vol. 29, n° 4, p. 545-554.
- Lieberman, L., and Bajcsy, R. (1976) Texture gradient as a dept CUE, *C.G. and I.P.* vol.5
- Marceau, D., Howarth, P. J., Dubois, J. .M., and Gratton, D..J. (1990) Evaluation of the greylevel cooccurrence method for land cover classification using SPOT imagery, *I.E.E.E. Transactions on geoscience and remote sensing*, vol. 28, n° 4, p. 513-519.
- Nkambwe, M. et Arnberg, W. (1995) Utilisation d'un SIG pour l'amélioration de l'acquisition des données pour des habitats de population de forte croissance dans une tribut Africaine : Étude de cas de Botswana. *ITC Journal* vol.2, 1995-2. p. 225-231.

Nelson, R. F. (1983) Detecting forest canopy changes due to insect activity using Landsat MSS, photogrammetric engineering and remote sensing, vol. 49, n° 9, p. 1303-1314.

Pageau, J., Dubée, J., Bédard, Y. (1991) Un exemple de système d'information à référence spatiale à usages multiples : le projet EPSILOG. Canadian Conference on GIS, Proceedings, OTTAWA, Canada, 18-22, mars, 1991, p. 53-64.

Poujade, V., et Laureore, L. (1990) Méthode de segmentation thématique par coopération spectrale-texturale sur les images de SPOT. Photo-interprétation n° 1990/3-4. p. 41-46.

Pultz, T.J., and Brown, R. J. (1987) SAR image classification of agricultural targets using first and second order statistics, Journal Canadien de Télédétection, vol. 13, p. 85-91.

Rosenfield, G. H. and Fitzpatrick-Lins, K. (1986) A coefficient of agreement as a measure of thematic classification accuracy, photogrammetric engineering and remote sensing, vol. 52, n° 2, p. 223-227.

Rouet, P. (1991) Les données dans les systèmes d'information géographique. Paris : Éditions Hermès; Traité des nouvelles technologies. Série géographie assistée par ordinateur; FRA; ISBN 2-86601-295-X; DA. 1991; 278 p.

Saley, H. (1995) Contribution des données satellitaires haute résolution à l'évaluation des potentialités de la végétation contractée (Brousse tigrée) des plateaux de l'Ouest Nigérien. Mémoire de DESS. 41 p.

Salvaggio, C., Robert, D. J. and Schott, J. R. (1990) Generation of textural features from monochromatic imagery for land cover classification, Rochester Institute of technology, RIT/DIRS Report # 89/90-63-130.

Scott, A. (1996) Le positionnement GPS en temps réel et la géomatique municipale : expérience vécue à Drummondville. Arpenteur-Géomètre, vol.23, n° 1, mai 1996, p. 26-28.

Singh, A. (1986) Change detection in the tropical forest environment of northeastern India using Landsat. Remote sensing and tropical land management, (M.J. Eden and J.T. Parry, eds), John Wiley and sons Ltd, Chichester, p. 237-254.

Slimani, M. (1986) Analyse de texture en télédétection : Application à la segmentation d'images satellites à haute résolution type SPOT, Thèse de doctorat, Université de Rennes I, 82 p.

Story, M., and Congalton, R.G. (1986) Accuracy Assessment : A user's Perspective, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol 52 n° 3, p. 397-399.

Vincent, M. (1993) La R-D associée à la numérisation du morcellement foncier au Québec. Canadian Conférence on GIS, Proceedings, OTTAWA, Canada, 23-25, mars, 1993, p. 208-218.

Weszka, J. S., Dyer, C. R., Rosenfeld, A. (1976) A comparative study of texture measures for terrain classification, I.E.E.E. Transactions on Systems, Man and Cybernetics, vol. SMC-6, n° 4, p. 269-285.

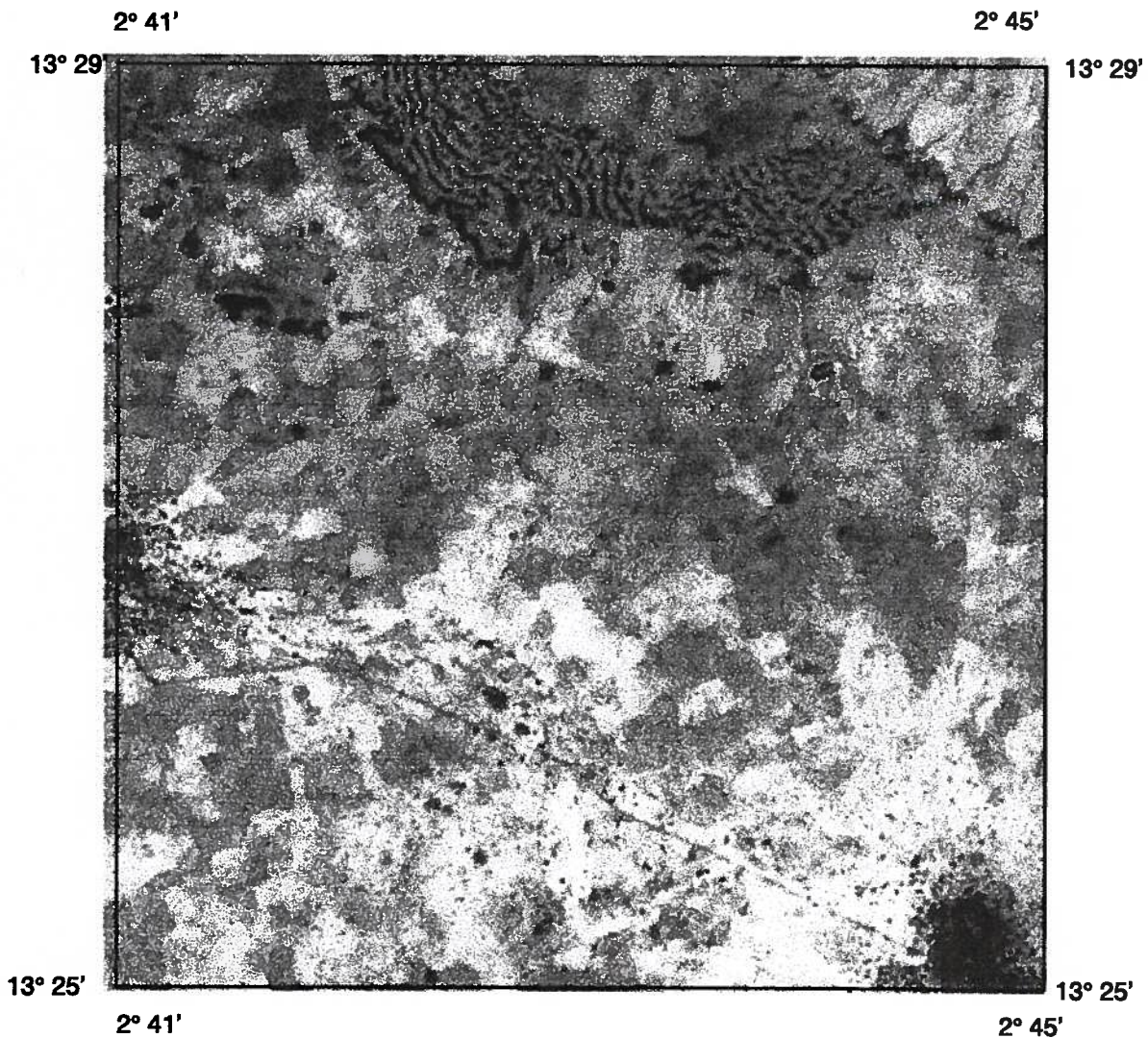
Wilmet, J. (1989) Contribution des institutions universitaires belges de langue française aux recherches en télédétection : Recherches en milieu rural africain. Actualité scientifique, Édition AUPELF-UREF. 1989, p. 35-45.

Yaglon, A.M. (1962) An introduction to the theory of stationary random functions, Englewood Cliffs, N.J, Prentice Hall, Inc. 235 p.

Annexe1 : Images brutes panchromatique et multispectrale

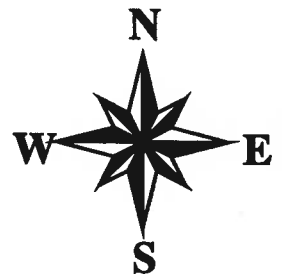
RÉGION DE NIAMEY

Image panchromatique



Échelle : 1 : 200 000
0.002 0 0.002 Kilometers

Projection UTM Zone 31



Auteur : H. Soumana

Université de Sherbrooke

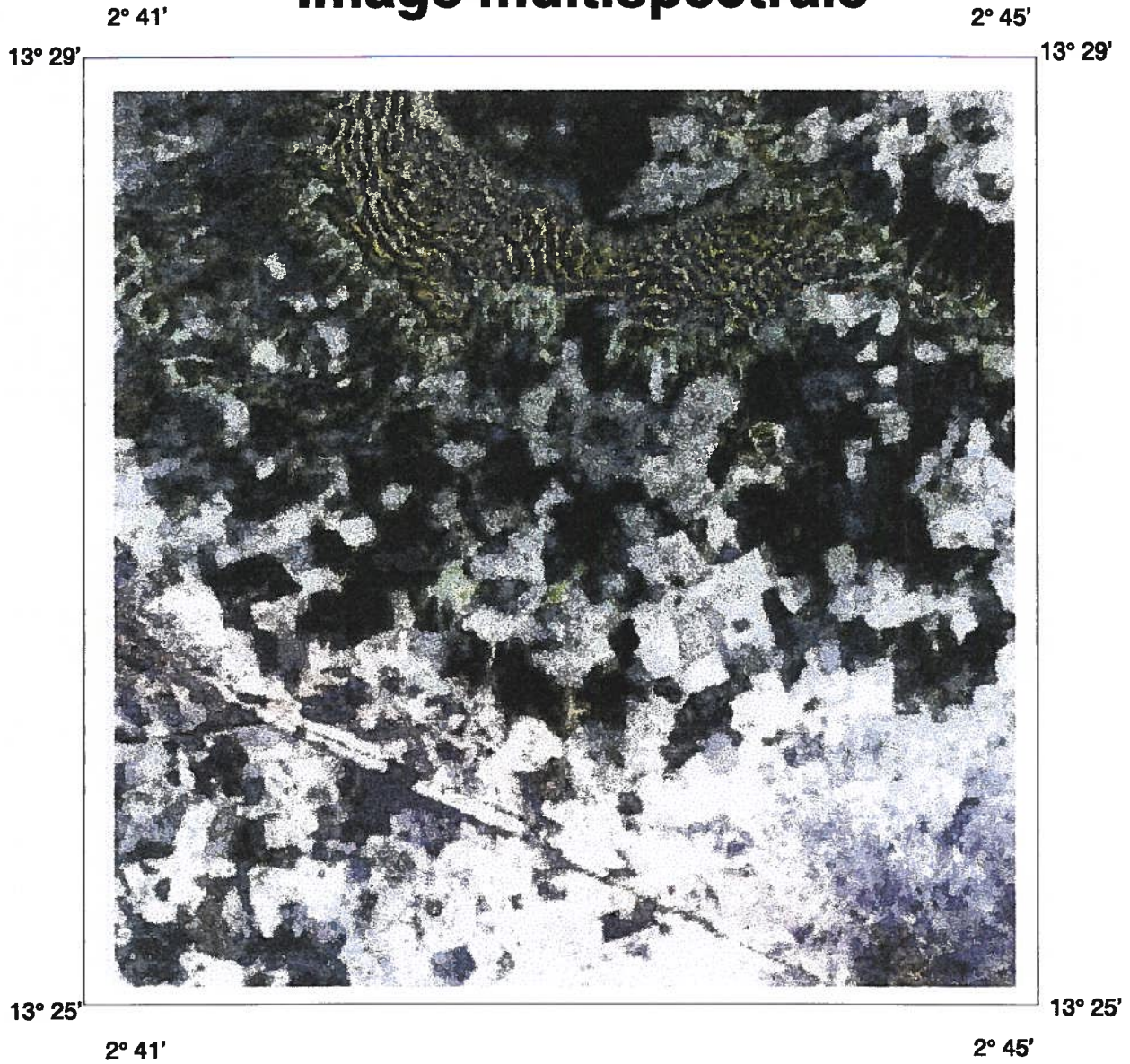
Février 1999

Figure 12 - Région de Niamey : Image panchromatique

Source : SPOT Image

RÉGION DE NIAMEY

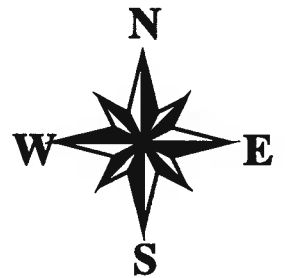
Image multispectrale



Échelle : 1 : 200 000



Projection UTM Zone 31



Auteur : H. Soumana

Université de Sherbrooke

Février 1999

Figure 13 - Région de Niamey : Image multispectrale

Source : SPOT Image

Annexe 2 : Paramètres statistiques des images

1
GCPREP Ground Control Point Segment Report V6.1 EASI/PACE 17:56 16-Mar-99

lad06.pix [S 4BIC 2825P 4097L] 26-May-98

2:UNSPECIF Type:214 [Ground Control Points] Last Update: 16:17 03-Jun-98

Contents:

Set 2 Units:UTM 31 E000 Set 1 Units:PIXEL Number GCPs: 12

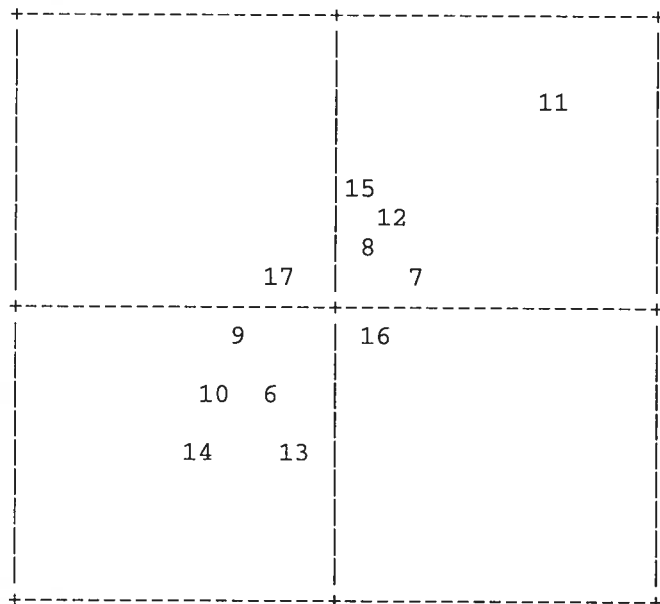
Model Parameters		FX	FY
1	CONS	-.387926E+05	.985975E+05
2	X	.938187E+04	-.143376E+04
3	Y	.179390E+04	-.766197E+04
4	X * Y	-.875859E+02	.363620E+02
5	X**2	-.412066E+02	-.486520E+02
6	Y**2	-.211895E+02	.397098E+02

GCP's are ordered from worst to best residuals.

GCP No.	Set 2 GCP's (UTM 31 E000)	Set 1 GCP's (PIXEL)	Residual (PIXEL)	Distance
11	(2.5, 13.2)	(1470.5, 1993.5)	(.77, .76)	1.09
14	(2.5, 13.1)	(1696.5, 2616.5)	(-.45, -.57)	.73
13	(2.4, 13.2)	(770.5, 1649.5)	(-.12, -.51)	.52
10	(2.5, 13.2)	(1144.5, 1466.5)	(-.37, -.36)	.52
15	(2.5, 13.1)	(1387.5, 2588.5)	(.11, .41)	.43
12	(2.4, 13.2)	(379.5, 1911.5)	(.23, .35)	.42
9	(2.4, 13.3)	(736.5, 1074.5)	(-.36, -.11)	.38
6	(2.3, 13.2)	(163.5, 1812.5)	(-.21, -.29)	.35
7	(2.3, 13.4)	(443.5, 693.5)	(.26, .12)	.29
16	(2.4, 13.1)	(927.5, 2522.5)	(.19, -.13)	.23
8	(2.3, 13.3)	(264.5, 1106.5)	(.10, .20)	.22
17	(2.4, 13.1)	(722.5, 2221.5)	(-.17, .12)	.21

Residual Plot (PIXEL):

RMS=(.47, .54) .72



1
HIS Histogramming Database Image V6.1 EASI/PACE 12:15 21-Jan-99

ad1.pix [S 29BIC 1281P 1946L] 20-Aug-98
5 [8U] SCALE Scaling Function: LIN DBIC: 15 28-Aug-98

Number of pixels sampled: 2492826 Number of pixels plotted: 2492826

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	322	70	103	117	106	142	156	164
8	175	229	240	269	296	330	344	397
16	420	467	482	514	579	650	676	696
24	808	847	876	968	1015	1129	1139	1236
32	1313	1308	1504	1504	1632	1781	1737	1806
40	1922	2056	2181	2371	2390	2506	2615	2682
48	2907	2871	2982	3227	3382	3343	3429	3629
56	3762	3899	4002	4181	4251	4386	4517	4712
64	4828	5070	5183	5280	5490	5619	5701	5976
72	6074	6336	6527	6752	7034	7143	7301	7582
80	7622	7932	8161	8341	8278	8930	8927	8784
88	9507	9971	9736	9937	10771	10676	10870	11489
96	11696	11442	12410	12724	12399	13152	13368	13279
104	14555	14617	15017	14443	14810	16304	15835	16018
112	17412	16881	16594	18273	17537	18735	18965	18643
120	19571	20602	19162	20499	23424	18421	21506	25115
128	19281	22333	26465	20285	22500	27707	23735	20332
136	29450	24409	20659	30260	24684	21768	30985	24630
144	31440	22389	24549	32181	22907	23864	32926	22609
152	23645	33135	22398	23304	32860	21517	22576	32836
160	20686	22157	33119	19032	21036	32282	18464	19970
168	31163	17556	18654	29965	18148	15684	28343	16488
176	14626	26190	15311	13443	24005	14002	22620	11995
184	12379	20850	10626	11051	18085	9663	9257	16648
192	8217	8439	14162	7588	6705	12525	6142	6431
200	10438	5116	4799	8831	4707	4319	7468	3286
208	3620	5848	3395	2467	5256	1849	2638	3883
216	2304	1117	3659	1299	2564	1483	1361	2232
224	458	1037	1529	1032	268	1538	321	745
232	595	674	163	608	279	591	469	30
240	164	460	215	17	409	22	120	50
248	244	14	94	11	158	44	2	213

Mean: 138.664 Median: 142 Standard Dev: 39.172 Min: 0 Max: 255

1

HIS Histogramming Database Image

V6.1 EASI/PACE 12:16 21-Jan-99

adl.pix [S 29BIC 1281P 1946L] 20-Aug-98
6 [8U] SCALE Scaling Function: LIN DBIC: 16 28-Aug-98

Number of pixels sampled: 2492826 Number of pixels plotted: 2492826

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	127	64	115	150	241	496	482	614
8	745	854	1675	1424	1554	1805	1985	3550
16	2571	2837	3045	3281	5441	3921	4371	4594
24	4796	5141	8096	5647	5950	6405	6483	10363
32	6828	7564	7564	7836	12111	8870	9169	9116
40	9542	15013	10725	10273	11240	11198	11419	17832
48	12304	12980	13068	13734	20920	15208	14089	15162
56	16572	22843	16075	16429	18096	16704	26973	18257
64	19288	18394	18988	29474	22229	21120	19281	22566
72	23206	33180	19860	26200	20962	24146	35474	29213
80	21584	25387	22753	36709	28483	18978	31282	20215
88	47762	19734	29176	25366	30170	18257	36909	36536
96	16393	29946	20211	50571	18148	29758	26856	18704
104	40077	25007	23012	16909	28380	33064	27381	18808
112	28180	29750	18331	14859	23895	25602	9783	34389
120	20299	27505	6755	22010	8834	29061	12813	19240
128	24204	3442	26158	2375	22345	10841	21000	15698
136	9516	13000	2182	8248	4837	33442	4077	13453
144	2220	7786	10101	338	8846	9690	17131	1529
152	8311	1704	5928	814	7243	5052	5440	1802
160	10944	1206	4622	357	792	3622	5596	2041
168	2301	376	2792	4292	604	2493	249	162
176	1914	3372	0	417	23	259	2990	40
184	104	1084	18	290	1075	9	1034	344
192	3	119	577	703	40	25	742	102
200	77	161	0	968	0	1	5	459
208	26	23	79	45	514	0	206	0
216	0	255	0	1	10	345	4	29
224	45	102	0	0	133	0	0	0
232	244	2	5	21	19	16	42	0
240	103	0	0	163	0	0	0	0
248	1	2	11	11	0	41	0	221

Mean: 91.582 Median: 92 Standard Dev: 34.222 Min: 0 Max: 255

1
HIS Histogramming Database Image V6.1 EASI/PACE 12:14 21-Jan-99

cad1.pix [S 29BIC 1281P 1946L] 20-Aug-98
7 [8U] imagewo Scaling Function: LIN DBIC: 17 31-Aug-98

Number of pixels sampled: 2492826 Number of pixels plotted: 2492826

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	192	0	15	1	163	0	5	3
8	285	0	3	0	344	110	0	415
16	4	175	589	17	679	271	959	0
24	998	502	1441	1393	2255	4274	1264	56
32	19	1860	222	1802	105	3469	2857	4641
40	4033	11105	217	3097	1494	3510	7036	6293
48	9155	11582	6210	166	10802	8650	12073	18655
56	6873	11304	9128	17783	25097	8875	11877	16790
64	24326	16570	19145	31941	15901	18085	28242	27289
72	13344	22819	23796	41413	13736	24044	21260	41305
80	15063	17677	33673	26235	31222	30054	26919	27283
88	39483	31580	18791	34175	17761	36779	36079	31545
96	28351	29865	29472	26165	35143	24755	31155	23565
104	31676	27519	22766	33298	19656	26120	24759	28078
112	21621	23376	22163	23101	23025	23037	20269	18467
120	23897	20993	20993	18497	18804	19860	18108	18317
128	18121	16417	16999	14913	16600	15135	16453	13378
136	14808	13561	12931	14567	12394	12170	12862	13155
144	12507	10603	11897	11391	11867	9248	9934	10047
152	9757	10216	9388	8664	8441	9379	8126	7640
160	7810	8126	7647	6907	7073	6810	6907	6548
168	6216	6005	6059	6307	5564	5238	5327	5292
176	5048	4374	4863	4772	4344	4169	4112	4127
184	4242	4104	3675	3744	3676	3665	3126	3001
192	3263	3221	2814	2661	2760	2590	2540	2302
200	2214	2267	2208	1996	1819	1806	1779	1766
208	1511	1447	1535	1479	1224	1199	1192	1192
216	1060	1001	939	919	858	801	697	753
224	693	620	491	486	512	453	388	358
232	344	289	258	245	212	190	159	153
240	98	138	118	95	83	74	67	54
248	40	37	41	38	20	33	23	157

Mean: 105.917 Median: 101 Standard Dev: 37.000 Min: 0 Max: 255

1
MLC Maximum Likelihood Classifier V6.1 EASI/PACE 10:04 15-Mar-99

cad1.pix [S 29BIC 1281P 1946L] 20-Aug-98

The following 5 SIGNatures are used in a FULL MAXIMUM-LIKELIHOOD Classification

- 7:savanarb Type:121 [Signatures] Last Update: 11:55 25-Sep-98
Contents: Graphic Plane 2
- 8:cultavar Type:121 [Signatures] Last Update: 11:55 25-Sep-98
Contents: Graphic Plane 1
- 9:cultsana Type:121 [Signatures] Last Update: 11:56 25-Sep-98
Contents: Graphic Plane 3
- 10:steppe Type:121 [Signatures] Last Update: 11:56 25-Sep-98
Contents: Graphic Plane 4
- 11:fonkorso Type:121 [Signatures] Last Update: 11:56 25-Sep-98
Contents: Graphic Plane 5

1
MLC Maximum Likelihood Classifier V6.1 EASI/PACE 10:04 15-Mar-99

this

Mon Mar 15 10:04:51 1999

2

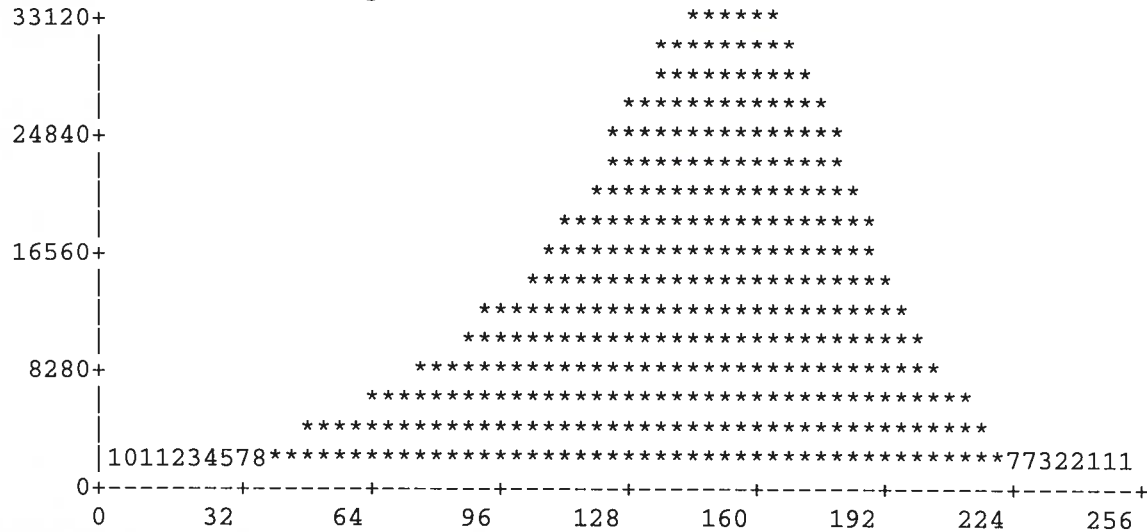
cad1.pix

[S 29BIC 1281P 1946L] 20-Aug-98

Seg Name	Code	Pixels	%Image	Thres	Bias
7 savanarb	1	1045750	41.95	3.50	1.00
8 cultavar	2	655688	26.30	3.50	1.00
9 cultsana	3	157650	6.32	3.50	1.00
10 steppe	4	247858	9.94	3.50	1.00
11 fonkorso	5	385880	15.48	3.50	1.00
NULL	0	0	.00		
OVERLAP	255	0	.00		
Total		2492826	100.00		

1
HIS Histogramming Database Image V6.1 EASI/PACE 15:38 08-Jan-99

Jad1.pix [S 29BIC 1281P 1946L] 20-Aug-98
5 [8U] SCALE Scaling Function: LIN DBIC: 15 28-Aug-98



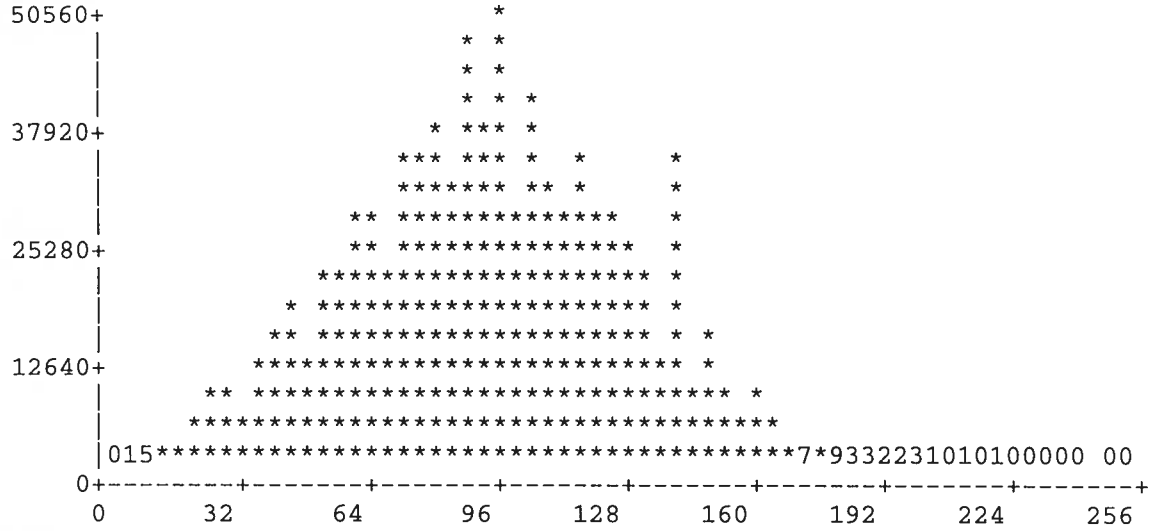
Number of pixels plotted: 2492826 Cell width: 4
Mean: 138.664 Median: 142 Standard Dev: 39.172 Min: 0 Max: 255

1

HIS Histogramming Database Image

V6.1 EASI/PACE 12:07 21-Jan-99

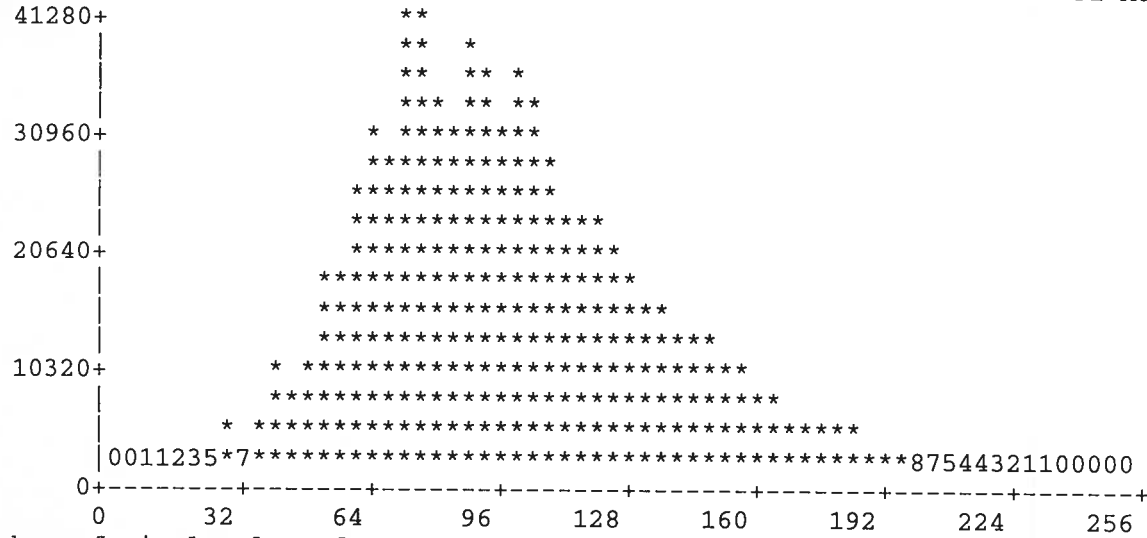
ad1.pix [S 29BIC 1281P 1946L] 20-Aug-98
6 [8U] SCALE Scaling Function: LIN DBIC: 16 28-Aug-98



Number of pixels plotted: 2492826 Cell width: 4
Mean: 91.582 Median: 92 Standard Dev: 34.222 Min: 0 Max: 255

1
HIS Histogramming Database Image V6.1 EASI/PACE 12:08 21-Jan-99

_ad1.pix [S 29BIC 1281P 1946L] 20-Aug-98
7 [8U] imagewo Scaling Function: LIN DBIC: 17 31-Aug-98



Number of pixels plotted: 2492826 Cell width: 4
Mean: 105.917 Median: 101 Standard Dev: 37.000 Min: 0 Max: 255

1
MLC Maximum Likelihood Classifier V6.1 EASI/PACE 10:08 15-Mar-99
.adl.pix [S 29BIC 1281P 1946L] 20-Aug-98

The following 5 SIGNatures are used in a FULL MAXIMUM-LIKELIHOOD Classification

- 7:savanarb Type:121 [Signatures] Last Update: 11:55 25-Sep-98
Contents: Graphic Plane 2
- 8:cultavar Type:121 [Signatures] Last Update: 11:55 25-Sep-98
Contents: Graphic Plane 1
- 9:cultsana Type:121 [Signatures] Last Update: 11:56 25-Sep-98
Contents: Graphic Plane 3
- 10:steppe Type:121 [Signatures] Last Update: 11:56 25-Sep-98
Contents: Graphic Plane 4
- 11:fonkorso Type:121 [Signatures] Last Update: 11:56 25-Sep-98
Contents: Graphic Plane 5

1
MLC Maximum Likelihood Classifier V6.1 EASI/PACE 10:08 15-Mar-99
cadl.pix [S 29BIC 1281P 1946L] 20-Aug-98

Seg Name	Code	Pixels	%Image	Thres	Bias
7 savanarb	1	1045750	41.95	3.50	1.00
8 cultavar	2	655688	26.30	3.50	1.00
9 cultsana	3	157650	6.32	3.50	1.00
10 steppe	4	247858	9.94	3.50	1.00
11 fonkorso	5	385880	15.48	3.50	1.00
NULL	0	0	.00		
OVERLAP	255	0	.00		
Total		2492826	100.00		

1
MLR Maximum Likelihood Report V6.1 EASI/PACE 11:21 16-Mar-99

Subarea Reports using theme channel 15 and subarea channel 27:

15 [8U] MLC F sav cul cul ste fon 15-Mar-99
27 [8U] MAP Encoded bitmap: 27, 28, 29, 30, 31 16-Mar-99

Totalization Report for Subarea code: 0

Seg Name	Code	Pixels	Hectares	%Subarea	%Image
7 savanarb	1	982204	.00	41.61	39.40
8 cultavar	2	623710	.00	26.42	25.02
9 cultsana	3	147166	.00	6.23	5.90
10 steppe	4	241629	.00	10.24	9.69
11 fonkorso	5	366074	.00	15.51	14.69
Subarea totals		2360783	.00	100.00	94.70

Totalization Report for Subarea code: 1

Seg Name	Code	Pixels	Hectares	%Subarea	%Image
7 savanarb	1	58030	.00	90.09	2.33
8 cultavar	2	2450	.00	3.80	.10
9 cultsana	3	9	.00	.01	.00
10 steppe	4	471	.00	.73	.02
11 fonkorso	5	3456	.00	5.37	.14
Subarea totals		64416	.00	100.00	2.58

Totalization Report for Subarea code: 2

Seg Name	Code	Pixels	Hectares	%Subarea	%Image
7 savanarb	1	2854	.00	8.86	.11
8 cultavar	2	27813	.00	86.38	1.12
9 cultsana	3	280	.00	.87	.01
10 steppe	4	1188	.00	3.69	.05
11 fonkorso	5	65	.00	.20	.00
Subarea totals		32200	.00	100.00	1.29

1
MLR Maximum Likelihood Report V6.1 EASI/PACE 11:21 16-Mar-99

Subarea Reports using theme channel 15 and subarea channel 27:

15 [8U] MLC F sav cul cul ste fon 15-Mar-99
27 [8U] MAP Encoded bitmap: 27, 28, 29, 30, 31 16-Mar-99

Totalization Report for Subarea code: 3

Seg Name	Code	Pixels	Hectares	%Subarea	%Image
7 savanarb	1	628	.00	5.88	.03
8 cultavar	2	1218	.00	11.40	.05
9 cultsana	3	8705	.00	81.50	.35
10 steppe	4	0	.00	.00	.00
11 fonkorso	5	130	.00	1.22	.01

Subarea totals 10681 .00 100.00 .43

Totalization Report for Subarea code: 4

Seg Name	Code	Pixels	Hectares	%Subarea	%Image
7 savanarb	1	726	.00	13.01	.03
8 cultavar	2	270	.00	4.84	.01
9 cultsana	3	0	.00	.00	.00
10 steppe	4	4562	.00	81.74	.18
11 fonkorso	5	23	.00	.41	.00
Subarea totals		5581	.00	100.00	.22

Totalization Report for Subarea code: 5

Seg Name	Code	Pixels	Hectares	%Subarea	%Image
7 savanarb	1	1308	.00	6.82	.05
8 cultavar	2	227	.00	1.18	.01
9 cultsana	3	1490	.00	7.77	.06
10 steppe	4	8	.00	.04	.00
11 fonkorso	5	16132	.00	84.17	.65
Subarea totals		19165	.00	100.00	.77

1

MLR Maximum Likelihood Report V6.1 EASI/PACE 11:21 16-Mar-99

15 [8U] MLC F sav cul cul ste fon 15-Mar-99

Totalization Report for theme channel: 15

Seg Name	Code	Pixels	Hectares	%Image
7 savanarb	1	1045750	.00	41.95
8 cultavar	2	655688	.00	26.30
9 cultsana	3	157650	.00	6.32
10 steppe	4	247858	.00	9.94
11 fonkorso	5	385880	.00	15.48
Image total		2492826	.00	100.00

1

MLR Maximum Likelihood Report V6.1 EASI/PACE 11:21 16-Mar-99

Areas		Percent Pixels Classified by Code					
Code	Name	Pixels	1	2	3	4	5
1	savanarb	64416	90.1	3.8	.0	.7	5.4
2	cultavar	32200	8.9	86.4	.9	3.7	.2
3	cultsana	10681	5.9	11.4	81.5	.0	1.2
4	steppe	5581	13.0	4.8	.0	81.7	.4
5	fonkorso	19165	6.8	1.2	7.8	.0	84.2

Average accuracy = 84.78%
Overall accuracy = 87.28%

Kappa Coefficient = .81177 Standard Deviation = .00135
Confidence Level :
99% .81177 +/- .00348

sou

Tue Mar 16 11:21:46 1999

3

95% .81177 +/- .00264

90% .81177 +/- .00222