



National Library
of Canada

Bibliothèque nationale
du Canada

Canadian Theses Service

Service des thèses canadiennes

Ottawa, Canada
K1A 0N4

NOTICE

The quality of this microform is heavily dependent upon the quality of the original thesis submitted for microfilming. Every effort has been made to ensure the highest quality of reproduction possible.

If pages are missing, contact the university which granted the degree.

Some pages may have indistinct print especially if the original pages were typed with a poor typewriter ribbon or if the university sent us an inferior photocopy.

Reproduction in full or in part of this microform is governed by the Canadian Copyright Act, R.S.C. 1970, c. C-30, and subsequent amendments.

AVIS

La qualité de cette microforme dépend grandement de la qualité de la thèse soumise au microfilmage. Nous avons tout fait pour assurer une qualité supérieure de reproduction.

S'il manque des pages, veuillez communiquer avec l'université qui a conféré le grade.

La qualité d'impression de certaines pages peut laisser à désirer, surtout si les pages originales ont été dactylographiées à l'aide d'un ruban usé ou si l'université nous a fait parvenir une photocopie de qualité inférieure.

La reproduction, même partielle, de cette microforme est soumise à la Loi canadienne sur le droit d'auteur, SRC 1970, c. C-30, et ses amendements subséquents.

**LA TÉLÉDÉTECTION ET LES RESSOURCES EN EAU
ANALYSE DU TRANSFERT DE TECHNOLOGIE**

PAR

SYLVIE SCANTLAND

**THÈSE DÉPOSÉE À
L'ÉCOLE DES ÉTUDES SUPÉRIEURES ET DE LA RECHERCHE
EN VUE DE L'OBTENTION DE LA MAÎTRISE ÈS ARTS EN GÉOGRAPHIE**

UNIVERSITÉ D'OTTAWA



National Library
of Canada

Bibliothèque nationale
du Canada

Canadian Theses Service Service des thèses canadiennes

Ottawa, Canada
K1A 0N4

The author has granted an irrevocable non-exclusive licence allowing the National Library of Canada to reproduce, loan, distribute or sell copies of his/her thesis by any means and in any form or format, making this thesis available to interested persons.

The author retains ownership of the copyright in his/her thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without his/her permission.

L'auteur a accordé une licence irrévocable et non exclusive permettant à la Bibliothèque nationale du Canada de reproduire, prêter, distribuer ou vendre des copies de sa thèse de quelque manière et sous quelque forme que ce soit pour mettre des exemplaires de cette thèse à la disposition des personnes intéressées.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur qui protège sa thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

ISBN 0-315-70503-5

Canada



UNIVERSITÉ D'OTTAWA
UNIVERSITY OF OTTAWA

REMERCIEMENTS

Je désire exprimer ma gratitude au Centre Canadien de Télédétection (C.C.T.) qui a eu la gentillesse de me prêter les images satellites disponibles, suite à un projet exécuté à Burkina Fâso. En plus d'avoir fourni le matériel requis à mes recherches, le C.C.T. m'a donné accès à la technologie nécessaire pour poursuivre mes travaux tout en me prêtant son aide et son assistance.

Je tiens à remercier spécifiquement monsieur Bill Bruce, directeur de ma thèse et responsable de la section de transfert de technologie, qui m'a beaucoup encouragée à poursuivre ce travail, tout en apportant son expertise. Mes remerciements vont aussi à monsieur Jean-Claude Henein, directeur de la division des applications du C.C.T., qui a permis ces recherches et les a grandement facilitées.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	i
TABLE DES MATIERES	ii
LISTE DES FIGURES	iv
LISTE DES CARTES	vi
RESUME - ABSTRACT	vii
INTRODUCTION	1
 CHAPITRE 1	
VUE SYNOPTIQUE DE LA TELEDETECTION	5
 CHAPITRE 2	
CARACTÉRISTIQUES GÉOGRAPHIQUES	13
2.1 Secteur d'étude	13
2.2 Le climat	13
2.3 La géomorphologie	15
2.4 La géologie	16
2.5 Les sols	17
2.6 La végétation	18
2.7 L'hydrologie	19
2.8 La population	19
2.9 Situation économique et sociale	20
 CHAPITRE 3	
REVUE DE LA DOCUMENTATION	21
3.1 Problèmes en pays sous-développés	21
3.2 Le potentiel de la télédétection vis-à-vis les ressources hydrologiques.	23
3.3 Le transfert de la technologie - processus délicat.	27
 CHAPITRE 4	
METHODOLOGIE DE TRAVAIL	31
4.1 Analyse de la situation	31
4.2 Procédure de travail	31
4.3 Les conditions d'enquête	38

CHAPITRE 5

INTERPRETATION ET DISCUSSION DES RESULTATS . . .	40
Scène 1	41
LANDSAT MSS:	41
LANDSAT TM:	44
Scène 2	67
LANDSAT MSS:	67
LANDSAT TM:	68
Scène 3	79
LANDSAT MSS:	79
LANDSAT TM:	80
Sommaire d'évaluation	93
CONCLUSION	95
BIBLIOGRAPHIE	99
REFERENCE BIBLIOGRAPHIE	101
APPENDICE	105

LISTE DES FIGURES

Figure No.

1.	Trajectoire orbitale journalière du satellite LANDSAT	6
2.	Fenêtre du spectre électromagnétique	7
3.	Sommaire de la procédure à partir du recueil des données . .	12
4.	Carte de localisation	14
5.	Principe de rehaussement de contraste linéaire	35
6.	Scène 1 - MSS, rapport de bande 7/5 rehaussé	51
7.	Scène 1 - MSS, rapport de bande 7-5/7+5	51
8.	Scène 1 - MSS, composé coloré des bandes 4, 5, et 7 rehaussées	52
9.	Scène 1 - MSS, carte de végétation à partir de tranchement d'histogramme	52
10.	Scène 1 - MSS, classification non supervisée	53
11.	Scène 1 - TM, bande 1 (.45 - .52 micron)	54
12.	Scène 1 - TM, bande 2 (.52 - .57 micron)	54
13.	Scène 1 - TM, bande 3 (.63 - .69 micron)	55
14.	Scène 1 - TM, bande 4 (.76 - .90 micron)	55
15.	Scène 1 - TM, bande 5 (1.55 - 1.75 micron)	56
16.	Scène 1 - TM, bande 6 (10.4 - 12.5 micron)	56
17.	Scène 1 - TM, bande 7 (2.08 - 2.35 micron)	57
18.	Scène 1 - TM, rapport de bande 4/3 rehaussé	57
19.	Scène 1 - TM, rapport de bande 4-3/4+3	58
20.	Scène 1 - TM, rapport de bande 7-4/7+4 rehaussé	58
21.	Scène 1 - TM, rapport de bande 7/4 rehaussé	59
22.	Scène 1 - TM, rapport de bande 7/5 rehaussé	59
23.	Scène 1 - TM, rapport de bande 7-5/5+5 rhaussé	60
24.	Scène 1 - TM, composé coloré des bandes 1, 2, et 3 rehaussées	60
25.	Scène 1 - TM, composé coloré des bandes 2, 3, et 4 rehaussées	61
26.	Scène 1 - TM, composé coloré des bandes 3, 4, et 5 rehaussées	61
27.	Scène 1 - TM, composé coloré des bandes 4, 5, et 7 rehaussées	62
28.	Scène 1 - TM, composé coloré des bandes 1, 5, et 7 rehaussées	62
29.	Scène 1 - TM, classification non supervisée	63
30.	Scène 1 - TM, composante principale (bandes 3, 4, 5, et 7) .	64
31.	Scène 1 - TM, composante principale (bandes 1, 2, 3, et 4) .	65

32.	Scène 1 - TM, carte de végétation à partir d'un tranchement d'histogramme	66
33.	Scène 2 - MSS, composé coloré des bandes 4, 5, et 7 rehaussées	72
34.	Scène 2 - MSS, classification non supervisée	72
35.	Scène 2 - TM, bande 7 rehaussée	73
36.	Scène 2 - TM, rapport de bande 4/3 rehaussé	73
37.	Scène 2 - TM, rapport de bande 7-4/7+4 rehaussé	74
38.	Scène 2 - TM, rapport de bande 7/5 rehaussé	74
39.	Scène 2 - TM, composé coloré des bandes 2, 3, et 4 rehaussées	75
40.	Scène 2 - TM, composé coloré des bandes 3, 4, et 5 rehaussées	75
41.	Scène 2 - TM, composé coloré des bandes 4, 5, et 7 rehaussées	76
42.	Scène 2 - TM, composé coloré des bandes 1, 5, et 7 rehaussées	76
43.	Scène 2 - TM, composante principale (bandes 3, 4, 5, et 7)	77
44.	Scène 2 - TM, classification non supervisée des bandes 3, 4, 5, et 7	77
45.	Scène 2 - TM, carte de végétation à partir d'un tranchement d'histogramme	78
46.	Scène 3 - MSS, bande 7 rehaussée	84
47.	Scène 3 - MSS, rapport de bande 7-5/7+5 rehaussé	84
48.	Scène 3 - MSS, composé coloré des bandes 4, 5, et 7 rehaussées	85
49.	Scène 3 - MSS, carte de végétation à partir d'un tranchement d'histogramme	85
50.	Scène 3 - MSS, classification supervisée	86
51.	Scène 3 - TM, bande 3 rehaussée	87
52.	Scène 3 - TM, bande 4 rehaussée	87
53.	Scène 3 - TM, bande 7 rehaussée	88
54.	Scène 3 - TM, rapport de bande 4/3 rehaussé	88
55.	Scène 3 - TM, composé coloré des bandes 1, 2, et 3 rehaussées	89
56.	Scène 3 - TM, composé coloré des bandes 2, 3, et 4 rehaussées	89
57.	Scène 3 - TM, composé coloré des bandes 3, 4, et 5 rehaussées	90
58.	Scène 3 - TM, classification non supervisée	90
59.	Scène 3 - TM, carte de végétation à partir d'un tranchement d'histogramme	91
60.	Scène 3 - TM, composante principale (bandes 2, 3, 4, et 7)	92
61.	Sommaire des résultats d'interprétation à partir des méthodes utilisées	94
61.	Modèle conceptuel flexible pour le transfert de la technologie	98

LISTE DES CARTES

Carte No.

1.	Carte topographique de l'Afrique de l'ouest	
2.	Carte géologique de la République de Haute Volta	
3.	Ressources en sols	
4.	Carte du drainage	MSS scène 1
5.	Carte géologique	MSS scène 1
6.	Carte des sols	MSS scène 1
7.	Carte du drainage	TM scène 1
8.	Carte géologique	TM scène 1
9.	Carte des sols	TM scène 1
10.	Carte du drainage	MSS scène 2
11.	Carte géologique	MSS scène 2
12.	Carte des sols	MSS scène 2
13.	Carte du drainage	TM scène 2
14.	Carte géologique	TM scène 2
15.	Carte des sols	TM scène 2
16.	Carte du drainage	MSS scène 3
17.	Carte des sols	MSS scène 3
18.	Carte du drainage	TM scène 3
19.	Carte des sols	TM scène 3

RESUME

La sécheresse au Sahel sévit depuis plusieurs années et affecte sévèrement l'espèce humaine et animale. L'Afrique de l'Ouest est plus particulièrement affectée par cette sécheresse. Des problèmes de migrations massives des populations rurales, de surpâturage, de déboisement excessif et de perte de récoltes engendrent des problèmes socio-économiques. Avec une demande croissante pour des ressources de plus en plus limitées, une gestion efficace s'impose d'urgence.

Pour y parvenir, ces pays doivent posséder l'information fondamentale nécessaire sur leurs ressources. Ne possédant que très peu de sources d'information adéquate, cette carence constitue un problème de base à résoudre. Nous allons démontrer dans cette recherche que l'utilisation opérationnelle de la télédétection permet de colliger l'information adéquate tout en utilisant des outils pratiques de travail. De plus, nous allons démontrer que les données de la télédétection peuvent être utilisées efficacement dans le contexte de contraintes opérationnelles éprouvées par les gestionnaires de ressources dans ces pays. Le succès du transfert de cette technologie et les avantages qui en découlent dépendent de l'utilisation pratique qu'ils peuvent en faire selon leur contexte géographique, social et politique.

Nous avons utilisé des images LANDSAT MSS et TM de Burkina Faso, en Afrique de l'Ouest, tout en ayant recours à l'équipement numérique et optique/mécanique pour faciliter l'interprétation visuelle et la compilation de l'information des ressources en eau dans cette région. En présentant deux niveaux de technologie, un gestionnaire de ressources peut choisir un outil de travail approprié à ces besoins, selon son contexte géographique, social et politique.

Nous pouvons conclure de cette recherche qu'un transfert et une utilisation efficaces de la télédétection constituent un espoir réaliste qui puisse répondre aux besoins d'information nécessaire à la gestion des ressources en pays du tiers monde. Les données et la technologie de la télédétection peuvent être utilisées pour obtenir cette information de façon appropriée, efficace, rapide et économique.

Cette recherche démontre que le transfert de cette technologie est possible, qu'une approche problématique en vue de son évaluation est réaliste et que l'information colligée peut contribuer à l'amélioration de la gestion opérationnelle des ressources naturelles. Finalement, ce travail souligne l'importance du transfert de technologie appropriée qui puisse répondre aux besoins et qui est indispensable pour permettre l'amélioration des conditions économiques, sociales et politiques dans ces pays.

ABSTRACT

Much of the developing world is being devastated by problems of desertification, accompanying deforestation, failing harvests, overgrazing and mass displacement of rural populations. The situation is particularly severe in the Sahel region of West Africa. As demands on already strained resources increase, the need for effective management becomes more urgent. If effective resource management is the major development challenge, then the general lack of adequate resource information is the underlying problem which must be addressed. The demonstration of effective information gathering and resource management tools made possible through the operational use of remote sensing technology is the problem investigated in this research.

The context of the investigation is technology transfer. Remote sensing offers a practical source of continuous spatial information which exists in developing nations and which can be applied to address the problem of lack of adequate resource information. The key to successful use of remote sensing is its operational transfer to resource managers and agencies in developing nations themselves.

The methods which are employed in this research are used to demonstrate that remote sensing data can be applied under operational constraints common to managers in developing nations. The demonstrations have been carried out using LANDSAT MSS and TM imagery of Burkina Faso in West Africa and applying both digital and optical/mechanical equipment to aid visual interpretation and compilation of information relevant to water resource concerns in the region. The methodology is intended to assist the resource manager to choose the level of remote sensing technology which is appropriate to the needs, the geographical conditions and the socio-cultural and political realities.

The contribution which this thesis makes to this new area of operations-oriented research is demonstration of the potential for operational use of remote sensing in the treatment of resource management problems of developing nations by the responsible agencies in those nations.

The research concludes that effective transfer and use of remote sensing presents a realistic hope to respond to the critical need for natural resource information for operational management purposes in developing nations. Remote sensing technology and data can be used to obtain basic information in an efficient, timely, economical and appropriate manner. Transfer of remote sensing capabilities can permit developing nations to begin to build the resource management information archives which have never been established on a consistent basis in the past. This research demonstrates that remote sensing technology is transferrable, that a problem-driven approach to technology assessment is realistic and that derived information can contribute to improved operational management of natural resources. Finally, this work indicates that greater focus on questions of technology transfer in assessing technologies such as remote sensing can support some justifiable optimism regarding improvement of the economic, social and human qualities of life for developing nations of West Africa and elsewhere.

INTRODUCTION

Le défi des années '90 pour les pays du tiers monde est de trouver des méthodes appropriées de planification et de gestion pour assurer un niveau stable et adéquat des ressources nécessaires à la survie.

Même si un immense volume d'eau occupe le globe terrestre, 97% de cette eau forme les océans, donc trop saline pour les besoins de consommation, a moins d'appliquer des traitements coûteux et une technologie inaccessible pour les pays les plus pauvres.

L'approvisionnement mondial en eau est donc limité, surtout dans les pays surpeuplés où la demande en eau s'accroît. Par exemple, plus de la moitié des gens dans les pays du Tiers Monde sont privés d'eau. C'est le problème critique des régions arides et semi-arides, où la population a un besoin immédiat d'eau potable pour subvenir à ses besoins.

Si la gestion des ressources en eau est le problème, le défi universel est de fournir l'information nécessaire sur les ressources pour une gestion efficace. La mesure du succès dépendra jusqu'à quel point il sera possible pour les pays du Tiers Monde de poursuivre le processus de gestion eux-mêmes. C'est évident que la gestion des ressources en eau de ces nations est un problème majeur, mais le défi est encore plus important, soit celui de la gestion des ressources naturelles en général. Les connaissances et les fonds disponibles sont limités et l'information n'est pas toujours accessible, parfois même inexistante dans ces

pays. Parmi ces contraintes, le problème le plus important est celui de l'inaccessibilité à l'information, soit pour raison politique ou tout simplement un manque d'information dû au contexte géographique. Il faut surmonter ce manque d'information pour ainsi améliorer les capacités actuelles de gestion des ressources. Une bonne gestion des ressources en eau contribue à l'utilisation optimale des ressources dans un pays. Tel que le souligne Marshall¹, elle "permet à une société de répartir l'eau en se fondant sur une évaluation équilibrée de l'offre, de la demande et des diverses solutions que peut adopter le pays pour distribuer cette ressource."

L'objectif de ce travail est de considérer comment on peut évaluer et démontrer la contribution que peut apporter la télédétection vis-à-vis une approche pratique pour une meilleure gestion des ressources en eau dans le Tiers Monde. Nous utiliserons l'exemple des ressources en eau puisque c'est le problème le plus critique. Comme nous le savons, plus de vingt années d'expériences ont été acquises en télédétection lors d'études scientifiques orientées vers l'aménagement des ressources naturelles en pays du Tiers Monde. La majorité de ces études ont été faites à travers la recherche, et visent surtout les possibilités techniques, mais ne répondent pas au défi de développer des outils pratiques et acceptables en pays du Tiers Monde. Il existe peu de cas concrets d'application et d'utilisation de la télédétection par les gens des nations en voie de développement.

Ceci se traduit en un besoin de regarder la technologie en termes très stricts: soit un minimum nécessaire de technologie pratique qui peut rencontrer les besoins d'information, soit une technologie simple et acceptable où l'utilisateur

¹Walter Marshall, "La gestion de l'eau: répartir une ressource limitée", Développement, (Automne 1985), 7.

peut facilement comprendre le potentiel et appliquer cette technologie avec aisance.

C'est pourquoi la présente étude s'orientera vers l'évaluation de la contribution que peut apporter la télédétection aux peuples du Tiers Monde et tentera d'exposer des méthodes pratiques pour extraire l'information nécessaire des ressources naturelles. Ces dernières présenteront aux nations du Tiers Monde des options de transfert de technologie appropriées qui pourraient être adaptées selon leurs besoins et leur contexte géographique, social, et politique.

En premier lieu, nous allons décrire l'analyse des images satellites LANDSAT MSS et TM que nous avons faite à partir d'un système d'analyse d'image. Plusieurs méthodes déjà existantes et jugées les plus appropriées pour une analyse des ressources en pays arides où semi-arides ont été utilisées d'un point de vue pratique pour fins de comparaison.

En deuxième lieu, une analyse détaillée des produits issus du système d'analyse sera faite à partir d'un système de projection Procom. Ce système est un mécanisme optique qui permet de disposer des transparents sur une fenêtre et projeter les données à l'échelle désirée. Des cartes du drainage, des sols et de la géologie seront tracées à partir de cette façon, en utilisant les méthodes les plus appropriées issues de l'analyse numérique pour l'interprétation des images satellite.

Le but des méthodes analytiques et de l'interprétation visuelle est de mettre en évidence l'utilité et la disponibilité de l'information des ressources à partir d'images satellites pour les besoins de gestion des ressources. Ceci avec emphase sur la simplicité et la disponibilité d'une technologie qui pourrait être acceptable en pays du Tiers Monde.

Ces deux méthodologies présenteront diverses options pour le transfert

d'une technologie appropriée en pays du Tiers Monde. Nous sommes conscients que la télédétection est un atout pour une meilleure gestion des ressources, mais il faut avant tout démontrer son potentiel vis-à-vis la disponibilité sur leurs lieux de travail.

CHAPITRE 1

VUE SYNOPTIQUE DE LA TELEDETECTION

La télédétection par satellite peut être un moyen pratique et efficace pour améliorer la situation actuelle des problèmes de gestion des ressources qui défient le monde entier, et surtout dans les pays du Tiers Monde où l'information sur les ressources naturelles est limitée par différents facteurs économiques, géographiques, sociaux et politiques. Elle devrait être l'une des solutions à ces problèmes étant donné la grandeur des surfaces à couvrir, l'accès limité à certains endroits et même parfois l'absence presque complète de documentation géographique détaillée. La télédétection permet d'observer à distance la terre et ses ressources de façon régulière, répétitive et continue dans l'espace. Elle est la seule source pratique qui nous permet d'obtenir des données spatiales continues. La figure 1 présente la trajectoire orbitale journalière du satellite LANDSAT.

La distance entre chaque orbite à l'équateur est de 2,870 km. Le satellite qui ne balaie qu'une fenêtre de 185 km ne peut couvrir toute la surface terrestre en une journée. Pour se faire, après chaque orbite, le satellite se déplace vers l'ouest pour couvrir une autre surface de 185 km de large. Il s'écoule 16 jours avant que le satellite puisse couvrir la surface complète entre chaque orbite. Le 17^e jour l'orbite du satellite coïncide avec l'orbite du 1^{er} jour et ainsi recommence son trajet à nouveau.

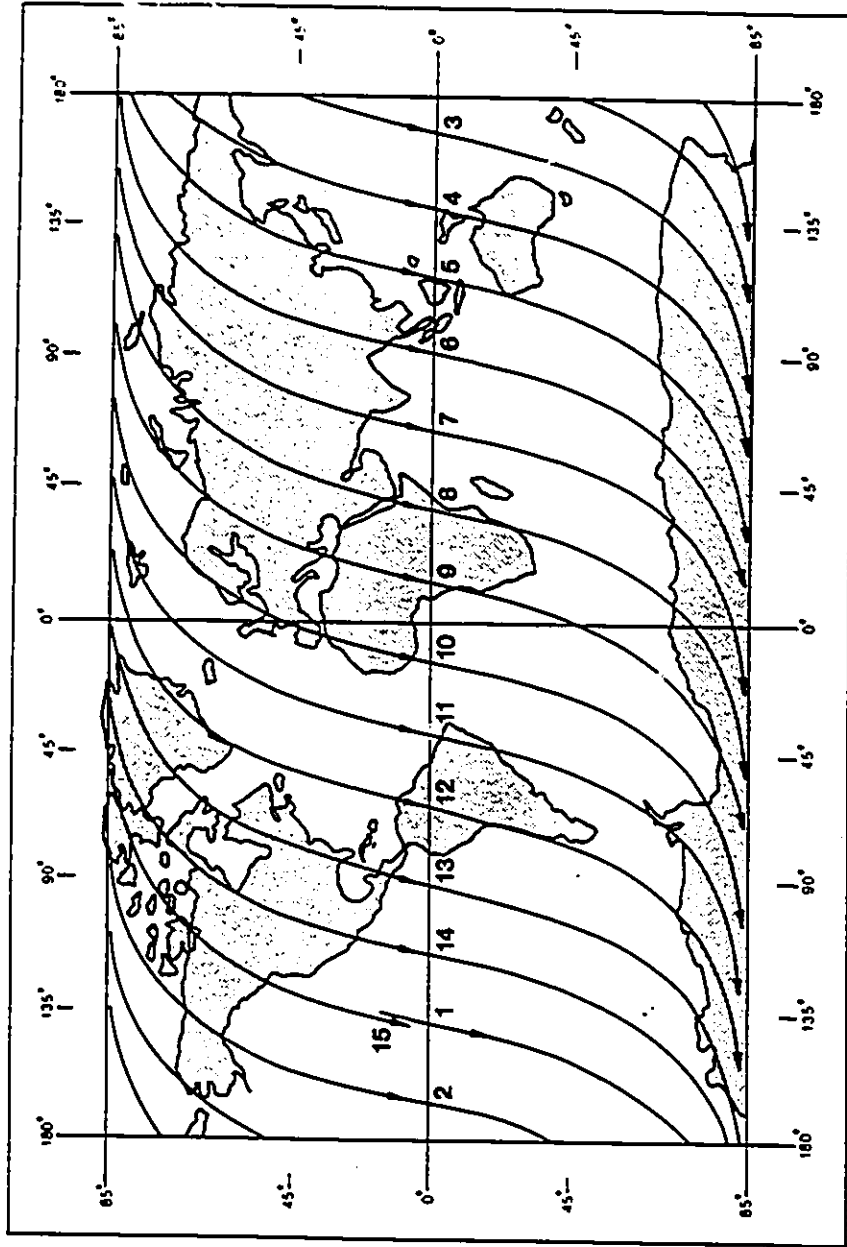


Fig. 1. Trajectoire orbitale journalière du satellite LANDSAT

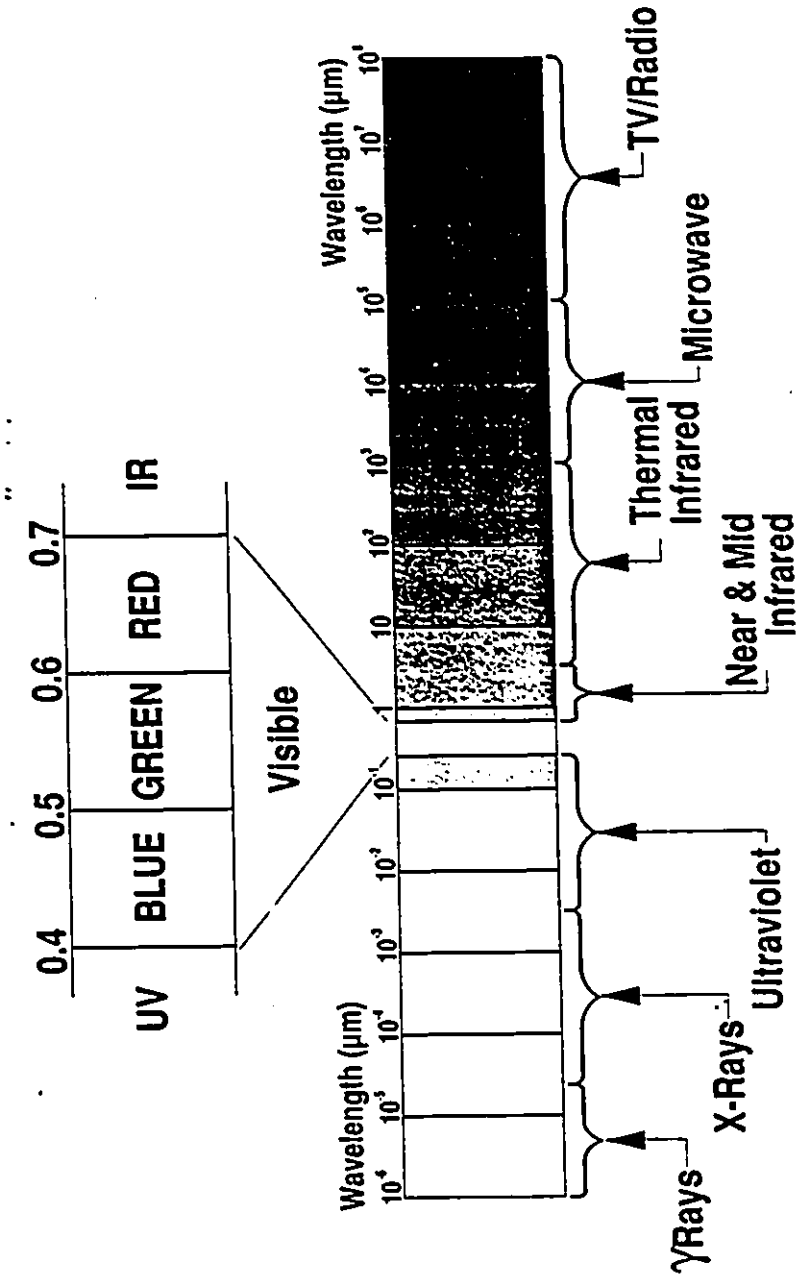


Fig. 2. Fenêtres du spectre électromagnétique

Des satellites d'observation ou plates-formes spatiales de collecte de données permettent d'observer et d'enregistrer des conditions environnementales à des échelles différentes. L'information que l'on peut extraire sur l'environnement dépend d'une analyse des variations spectrales, spatiales et diachroniques du rayonnement électromagnétique réfléchi ou émis par les corps, amalgamée avec une analyse numérique. La figure 2 présente les fenêtres du spectre électromagnétique. Grâce à des capteurs manoeuvrant dans les domaines du spectre invisible, tels les pellicules photographiques sensibles à l'infrarouge proche, les détecteurs à infrarouge qui enregistrent la température d'un objet à distance, et les radars, nous pouvons observer les domaines du spectre dont les longueurs d'onde sont plus longues que celles du visible.

Il existe plusieurs types de satellites en cette ère technologique et chacun d'eux ont des intérêts particuliers. Les satellites LANDSAT sont ceux qui retiendront notre attention pour cette étude puisque des images sont disponibles partout au monde, une archive des données est disponible depuis l'an de 1972 pour fins de comparaison d'images pour le suivi des ressources, et finalement, LANDSAT offre une des meilleures combinaisons de résolution spatiale et spectrale présentement disponibles par les satellites. Le premier de série LANDSAT a été lancé en juillet 1972 et les satellites ont tous été munis d'un balayeur multispectral qui détecte le rayonnement électromagnétique de la surface de la terre. Les deux plus récents que nous utiliserons, LANDSAT 4 et 5, fonctionnent à partir d'une orbite héliosynchrone, à 705 km d'altitude, orbite plus basse que celle de LANDSAT 1, 2 et 3 qui était à 913 km d'altitude. Leur orbite a un cycle répétitif de 16 jours et couvre une région de 185 km sur 185 km, soit 34,000 km² par le balayeur multispectral.

LANDSAT 4 est équipé du MSS (Multispectral Scanner), et a été lancé le

16 juillet 1982. Le MSS possède une résolution spatiale de 79 mètres. Le balayeur multispectral détecte le rayonnement électromagnétique de la surface de la terre dans quatre portions du spectre, soit la bande 4 (0,5-0,6 micron), la bande 5 (0,6-0,7 micron), la bande 6 (0,7-0,8 micron) et la bande 7 (0,8-1,1 micron). Après le lancement de LANDSAT 4, les bandes 4, 5, 6 et 7 ont été renommées comme bandes 1, 2, 3 et 4, mais nous retiendrons tout au long de cette étude, la distribution originale des bandes pour ne pas confondre le lecteur.

LANDSAT 5, lancé le 1 mars 1984, est muni en plus du balayeur multispectral (MSS), d'un capteur thématique. Ce dernier a été surnommé TM pour "Thematic Mapper". Il a pour sa part, 7 bandes utilisables dont six d'entre elles ont une résolution de 30 mètres. Chaque bande est décrite comme suit selon le Centre Canadien de Télédétection:

- "Bande 1: 0,45-0,52 micron. Cette bande est choisie pour sa bonne pénétration dans l'eau, ce qui la rend utile pour la cartographie des eaux côtières. Elle est également utile pour différencier le sol de la végétation, ainsi que les conifères des arbres à feuilles caduques.
- Bande 2: 0,52-0,60 micron. Cette bande sert à mesurer les maxima de réflectance dans le vert pour évaluer la vigueur de la végétation.
- Bande 3: 0,63-0,69 micron. Bande d'absorption de la chlorophylle, importante pour différencier les divers types de végétation.
- Bande 4: 0,76-0,90 micron. Utile pour effectuer l'estimation de la biomasse totale et délimiter les nappes d'eau.
- Bande 5: 1,55-1,75 micron. Cette bande indique le contenu en eau de la végétation et l'humidité des sols. Elle sert aussi à différencier les nuages de la neige.
- Bande 6: 10,4-12,5 microns. Bande infrarouge thermique permettant l'analyse du stress végétal, l'étude de l'humidité des sols et la cartographie thermique.
- Bande 7: 2,08-2,35 microns. Cette bande offre la possibilité de différencier les divers types de roches."

Pour une description des bandes 4, 5 et 7 de MSS, il s'agit de vérifier la description ci-haut mentionnée des bandes 2, 3 et 4 de TM, qui correspondent aux bandes 4, 5 et 7 de MSS.

On peut dire que le TM est un complément de MSS puisqu'il permet de visualiser l'environnement à partir d'une plus haute résolution, donc de façon plus détaillée.

En télédétection, le terme image consiste en un record continu ou discret d'une vue à deux dimensions. Une photographie aérienne en noir et blanc est un exemple d'un record continu. Elle est un modèle analogue d'une scène où les valeurs d'intensités sont modelées en différentes teintes de gris visuels dans la photo.

LANDSAT MSS et TM sont, pour leur part, des exemples d'images discrètes où les détails sont contenus dans des unités numériques discrètes qui peuvent être préparées pour l'interprétation visuelle suite à des manipulations quantitatives.

Un interprète habile et expérimenté peut extraire une gamme d'information à partir d'une scène analogue, mais il est limité dans son travail. L'image discrète ou numérique, pour sa part, a moins de limites. Elle se prête bien à l'objectif de méthodes mathématiques standardisées. Toutes images télédétectées sont des représentations du monde réel. Le processus du traitement numérique des images discrètes peut être vu comme une façon de maximiser les valeurs des images particulières à des applications particulières. L'information extraite est alors présentée sous une forme utilisable pour l'interprète expérimenté.

A partir des données recueillies par les satellites, qui sont des données digitales emmagasinées sur rubans magnétiques, il faut procéder par des méthodes d'analyse numérique faite par ordinateur, complétées par une interprétation visuelle des images. Les méthodes d'analyse numérique consistent à retraiter les données pour extraire les intérêts particuliers de l'utilisateur. Pour ce faire, on emploie des méthodes telles que des rehaussements de contrastes, des rapports de bandes, des composés colorés, des composantes principales et des classifications.

Par les rehaussements de contrastes et les rapports de bandes, il est

possible d'améliorer l'interprétation visuelle des images par une augmentation de contraste entre les caractéristiques d'une scène; par exemple entre l'eau, le sol nu et la végétation. Les composés colorés, qui sont créés à partir d'une combinaison de trois bandes, servent également à augmenter les contrastes en mettant en évidence une bande spectrale particulière.

Les composantes principales ont pour but de condenser les données en un groupement de variables, les axes, qui n'ont pas de corrélation entre eux. Celles-ci nous permettent de recréer de nouvelles répartitions des valeurs de pixels pour représenter l'image avec une répartition de classes définies. Les méthodes de classification sont aussi un atout pour l'interprète. Elles permettent de diviser un grand nombre de pixels en un certain nombre de classes générales représentatives de groupements naturels dans une image. Cette classification peut être supervisée en sélectionnant des catégories représentatives d'une scène, ou non supervisée si l'ordinateur même procède à la division des pixels tout en leur assignant une classe naturelle selon l'analyse de regroupement (cluster analysis). La figure 3 présente un sommaire de la procédure que nous avons suivie à partir du recueil des données.

La télédétection offre un grand potentiel aux nations en voie de développement. Elle assure la disponibilité des données spatiales continues, elle est la source la plus économique pour la région qu'elle recouvre, elle permet d'avoir des données répétitives d'un secteur pour fins de comparaison, ses données sont facilement manipulables par l'analyse quantitative et présentent des images qui facilitent l'interprétation visuelle. Ce potentiel est particulièrement intéressant pour les nations en voie de développement où les contraintes géographiques, sociales et politiques ne permettaient pas traditionnellement d'avoir accès à l'information nécessaire pour une gestion efficace des ressources.

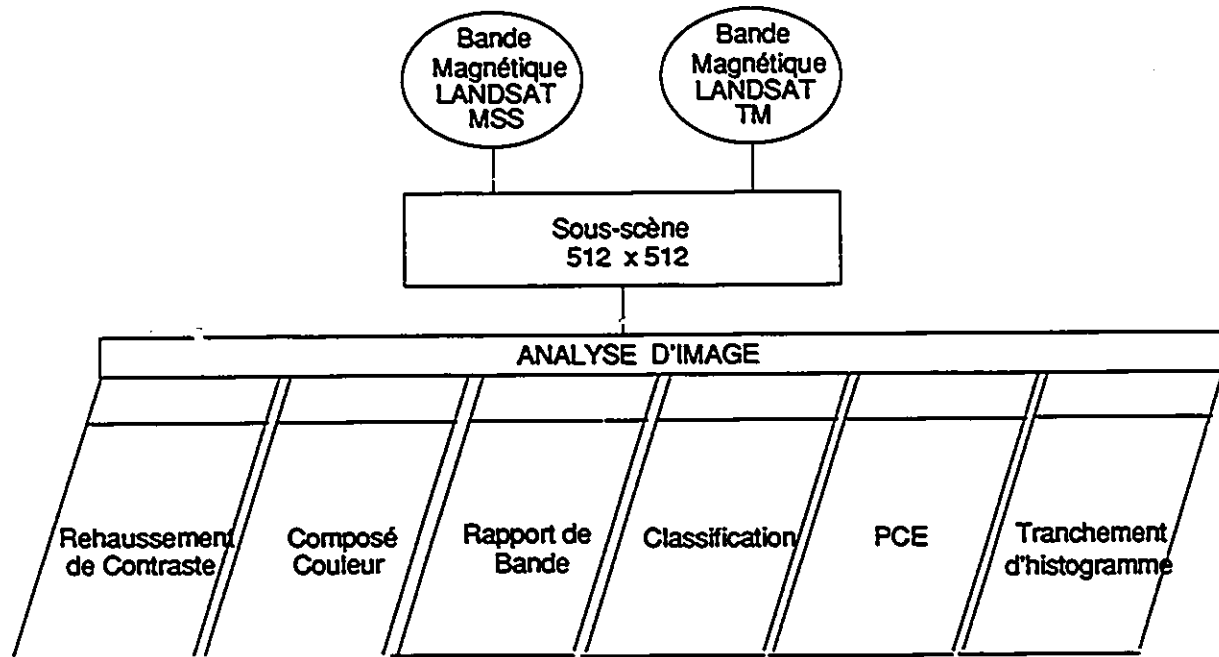


Fig. 3 Sommaire de la procédure à partir du recueil des données

CHAPITRE 2

CARACTÉRISTIQUES GÉOGRAPHIQUES

2.1 Secteur d'étude

La zone d'intérêt se situe en Afrique de l'Ouest, plus spécifiquement au nord-ouest de Burkina Fâso s'étendant un peu sur le territoire du Mali, entre 12°30' à 12°45' nord et 3°50' à 4°40' ouest. Cet environnement est typique où l'information et la technologie disponible est restreinte.

En plus de quelques cartes disponibles que nous avons réussi à rassembler, nous avons obtenu la permission du Centre Canadien de Télédétection d'utiliser leurs images LANDSAT MSS et TM qui recouvraient simultanément la zone d'étude en date du 10 novembre 1984. La figure 4 situe la zone d'étude en Afrique.

2.2 Le climat

Étant dans le domaine soudanien, les précipitations moyennes annuelles dépassent 600 mm, sauf pendant les périodes de sécheresses, mais sont inférieures à 1000 mm. La saison des pluies débute vers la mi-juin et se prolonge jusqu'à la mi-septembre, avec un maximum de précipitations en août. La saison sèche est, en général, de la mi-novembre à la mi-avril.

On y retrouve deux périodes de fortes chaleurs, l'une précédant et l'autre suivant immédiatement la saison pluvieuse. Les températures moyennes maximales varient entre 34° à 38°C selon la région. Avec des chaleurs intenses

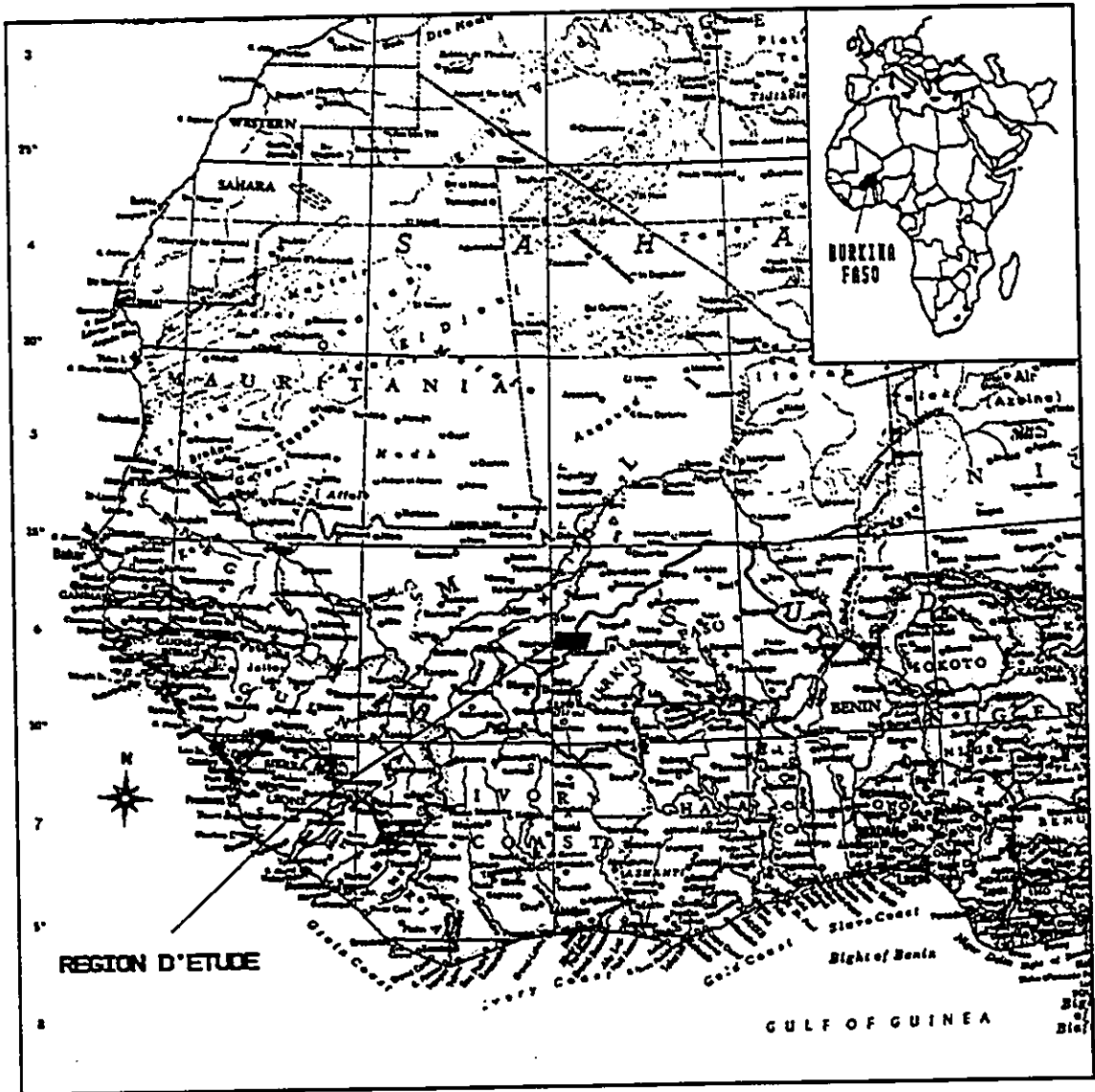


Fig. 4. Carte de localisation

et peu d'humidité, le taux d'évaporation est très élevé au Sahel. Il est supérieur aux précipitations pendant 11 mois de l'année (Prévost²). Avec une température et une évaporation aussi élevées, l'assèchement des ruisseaux et petits réservoirs se fait assez vite en saison sèche.

En plus, les précipitations annuelle sont irrégulières et souvent inférieures à la moyenne depuis plusieurs années. Par exemple, la moyenne pluviométrique de 1971-1976 est de 20% plus faible que celle des années antérieures. L'impact de la sécheresse actuelle est plus apparente car la population est plus nombreuse qu'auparavant à cause de nouvelles techniques implantées, soit la vaccination, l'aide étrangère, etc. Il est donc très important de mettre l'emphase sur le développement d'une meilleure gestion des ressources en eau pour subvenir aux besoins.

2.3 La géomorphologie

La région étudiée se situe à une altitude de 260m à 440m au-dessus du niveau de la mer. Le point le plus élevé se trouve au centre du secteur d'étude et constitue la limite de partage des eaux entre la Voun-Hou, affluent de la Volta Noire, et le Gokiré qui se déverse dans le Banifing, affluent du Niger. Ce point culminant qui a l'allure d'un plateau sub-horizontale, consiste en des cuirasses latéritiques de différents niveaux qui sont bien délimitées à partir d'images satellites. A l'est de ce point, vers Nouna, la plaine du Gondo domine le secteur. Une zone inondable se trouve à l'ouest du point culminant. Un extrait de la carte topographique de notre région d'étude est annexé en appendice (carte no.1).

²Christian Prévost, "Intégration des Données LANDSAT dans l'Estimation des Volumes d'Eau Retenus et Utilisés" (C.R.T.O., 1981), pp. 20.

2.4 La Géologie

Les dépôts de Burkina Fâso sont essentiellement d'âge précambrien A, antérieurs à la glaciation eocambrienne. Des dépôts superficiels de l'âge du quaternaire se présentent surtout comme des dunes actives ou stabilisées, des alluvions de terrasses, des dépôts de terrasses éparpillés, et des cuirasses latéritiques. Ces cuirasses qui recouvrent presque 80% de Burkina Fâso, forment des croûtes ferrugineuses d'une épaisseur de 1 à 10 mètres. Elles sont d'un brun-rouge et donnent une couleur très sombre lorsqu'elles sont à la surface.

Dans la section analysée, on y trouve quatre sortes de socles du Précambrien A dont les Grès Roses, les Schistes de Toun, les Grès de Koutiala et les Grès de Bandiagara. Le Continental Terminale (Néogène) est également présent. Les Grès Roses sont composés de niveaux homogènes de grès fins, compacts, essentiellement quartzitiques et rarement micacés. Les Schistes de Toun qui succèdent les Grès Roses, consistent en des grès schisteux, des grès ferrugineux très fins et des schistes argileux prédominants; ils sont très altérables et affleurent difficilement entre les Grès Roses à l'est et les Grès de Koutiala à l'ouest. Comme les Grès Roses, les Grès de Koutiala sont homogènes et fins avec un niveau inférieur de grès roses pâles, et un niveau supérieur de grès kaolineux, friables et tachés d'oxydes de fer. Les Grès de Bandiagara, dernière phase du Précambrien A, sont des grès à ciment siliceux ou kaolineux, formés de grains moyen à gros, hétérogènes et grossiers. Le Continental Terminal est composé de grès grossiers, à galets et grains de quartz anguleux à subanguleux avec ciment argilo-ferrugineux. A plusieurs endroits, il se présente en petites buttes cuirassées puisque les grès sont fortement latérisés en surface. La carte géologique de la section étudiée est annexée à l'appendice (carte no. 2).

2.5 Les sols

Comme nous le savons, la documentation sur la région en question est très limitée et difficile à obtenir. On a utilisé la carte des ressources en sols de l'O.R.S.T.O.M. (1976), carte à 1:500,000 des unités agronomiques déduites de la carte pédologique. Un extrait de cette carte avec sa note explicative est annexé à l'appendice (carte no. 3).

On retrouve trois type de sols dans la région étudiée. Premièrement, au sud de Nouna, autour de la Voun-Hou, se sont des sols hydromorphes. Ces sols sont associés à des sols bruns eutrophes, donc bien oxygénés et riches en éléments minéraux ou végétaux, et surtout à des sols ferrugineux longeant les marigots. La plantation de sorgho et de riz est traditionnelle dans ces régions à excès d'eau temporaire.

Un deuxième type de sol consiste en des sols ferrugineux tropicaux qui se développent sur des matériaux riches en argile kaolinique. Ils sont riches en oxydes et hydroxydes de fer et de manganèse, ce qui leur donne une couleur rouge ou ocre. L'horizon de surface est gris clair, pauvre en matière organique et est souvent sableux. L'horizon secondaire est plus pâle et sableux, les argiles et les solubles sont entraînés dans cette horizon. Il est suivi d'un horizon plus argileux et rouge où le fer s'accumule en taches ou en nodules. Ces sols sont lessivés par des pluies abondantes. Ils ont une profondeur moyenne de deux mètres, par conséquent la capacité de rétention en eau est de bonne à moyenne. Des techniques appropriées pourraient mettre en valeur ces terres par la culture de mils, sorghos et arachides.

Le dernier type de sol qu'on retrouve à l'extrême ouest de Burkina Fâso est le lithosol sur roches diverses et cuirasses. Ce sol est constitué d'affleurement de cuirasses ferrugineuses dans la section en question. Elle a une

valeur agronomique presque nulle.

Nous n'avons aucune documentation sur les sols et la géologie pour la section d'étude à l'ouest de la frontière. Cette dernière s'allonge sur le territoire du Mali. Il faudra interpréter cette scène d'après nos connaissances acquises suite à l'étude des deux premières scènes.

2.6 La végétation

Le gradient de la précipitation, de plus en plus faible vers le nord, est accompagné par un changement progressif de la végétation. Dans notre région d'étude qui est sous l'influence d'un climat soudano-sahélien, la végétation est caractérisée par une savane boisée et arborée. Elle se distingue du climat sahélien par les espèces telles que le Karité, le Mère, le Cailcedrat, et différentes autres espèces qui prennent plus d'importance en allant vers le sud. Sa végétation apparaît plus dense que celle du domaine sahélien. Elle est hétérogène (forêts claires; savanes boisées, arborées ou arbustives; et prairies).

La forêt claire consiste en des arbres de taille petite ou moyenne. Elle comprend les Isobertinia doka et les Detarium microcarpum. Les savanes qui sont une dégradation de la forêt claire, peuvent être boisées, arborées ou arbustives selon le degré de dégradation. On y trouve des Acacia, Ziziphus mauritiana, Sterculia setigera, Kapokier rouge, Prosopis africana, Boswellia dalzielli, Lannea microcarpa, Lannea acida, Cassia sieberiana et Scierocarya birea. Dans les savanes arbustives les Combretum, Guiera sénégalaises, Piliostigma reticulata et Piliostigma tonningui dominant. En plus, diverses formations sont liées à la nature du sol telles les fourrés à Combretum micranthum sur les collines cuirassés, l'Acacia seyal sur les vertisols, les prairies à Loudetia togoensis sur les surfaces à cuirasse affleurante, et Mitragyna inermis, Nauclea latifolia,

Acacia campulacantha dans les zones périodiquement inondées.

2.7 L'hydrologie

Burkina Fâso a un réseau hydrographique assez important dans sa partie méridionale. On y trouve trois bassins principaux dont les bassins des Volta, de la Komoé et du Niger.

Dans la région étudiée, aucun cours d'eau n'est permanent. Sur trois des réseaux les plus importants, deux se rattachent aux bassins des Volta; soit le réseau le plus important qui se trouve au sud de Nouna, nommé la Voun-Hou, et qui se jette dans la Volta Noire, et le Kossi qui est un autre réseau temporaire qui draine l'ouest du pays vers la Voun-Hou. Le Gokiré qui draine l'extrême ouest de la région étudiée coule vers le Banifing au Mali et comprend une zone inondable avant de rejoindre le Banifing. Cette zone inondable peut jouer un rôle important dans la vie pastorale ou agricole.

2.8 La population

La répartition de la population à Burkina Fâso se fait comme suit: la forte concentration se trouve au centre même du pays dans la capitale, soit Ouagadougou, à Koudougou au centre-ouest, et à Bobo-Dioulasso au sud-ouest. Le sud-est, le sud-ouest et le nord-ouest sont des endroits peu habités pour diverses raisons; soit la sécheresse au nord-ouest, l'absence d'eau en saison sèche au sud-est et, dans les vallées de la Volta Rouge et Blanche, le risque d'attraper l'onchocercose a éloigné la population. Cette maladie qui cause la perte de vue est transmise par les mouches noires, et est commune le long des rivières puisque l'habitat riverain est essentiel pour la reproduction des mouches.

Le peuple Mossi constitue le groupe ethnique le plus important et se

concentre au centre même du pays. Ceci est en partie dû à des raisons historiques plus qu'à des conditions naturelles favorables. Les Mossi émigrent maintenant surtout vers l'ouest et à l'étranger. Dans la région étudiée, les principaux groupes ethniques sont les Bobo (Bobo Fing) et les Bwa (Bobo Oule), qui sont parmi les populations les plus anciennes installées. On y trouve également les Marka, les Peul-Rimaibe et une petite concentration de Mossi.

2.9 Situation économique et sociale

Depuis 1973 au Sahel, des périodes de sécheresses affectent énormément la population, la production agricole et l'élevage. La situation agricole est en déficit et occasionne beaucoup de migrations vers le sud à cause de la sécheresse et de l'état actuel du développement économique du pays. La Côte d'Ivoire et le Ghana qui se situent au sud de Burkina Fâso sont les bénéficiaires du surpeuplement. Burkina Fâso est également bénéficiaire d'un surpeuplement en provenance du Mali, du Niger et de la Mauritanie. Ces migrations vers le sud engendrent des problèmes sanitaires, d'aménagement, de ressources naturelles, ainsi que des problèmes d'économie. Nous discuterons plus en détail de ces problèmes socio-économiques dans la revue de la documentation au chapitre 3.

CHAPITRE 3

REVUE DE LA DOCUMENTATION

3.1 Problèmes en pays sous-développés

Dans la zone du Sahel, une sécheresse sévit dans l'ensemble depuis 1973 et a fortement affecté la population, la production agricole et l'élevage. Le nord du pays est affecté par les aléas climatiques et subit des conséquences désastreuses de la sécheresse. La situation agricole de 1983 et 1984 est en déficit et affecte près de 2,500,000 personnes. Cette situation occasionne un déplacement des populations des zones concentrées vers le centre et le sud du pays. Il y a également une forte pénétration de personnes en provenance des pays voisins, soit le Mali, le Niger et la Mauritanie.

Dès janvier 1985, seulement quatre mois après la période des pluies, la rareté de ces dernières a provoqué l'assèchement précoce des mares et le tarissement des puits. Il y a donc un problème de ravitaillement en eau tant pour l'alimentation humaine que celle du cheptel déjà sans pâturage. La population affectée est victime de malnutrition et des épidémies, surtout les groupes vulnérables qui comprennent les enfants de 0 à 5 ans, les femmes enceintes et allaitantes et les personnes âgées³.

La cause de la famine est une combinaison de désastres naturels et d'erreurs humaines. Les précipitations sont inégales (ex.: Le Mali n'a eu

³Commission Nationale de Lutte Contre les Effets de la Sécheresse, "Plan d'Action 1985-1986" (Ouagadougou, 1985), pp. 5.

seulement que quatre années de précipitations moyennes entre 1940 et 1975), et en même temps, le déboisement excessif des forêts pour le bois de construction et le chauffage provoque un assèchement des sols et moins d'humidité dans l'atmosphère. Il en résulte un déséquilibre écologique puisque le déboisement a atteint des proportions critiques. Les vents secs de l'Harmattan soufflent les sables du Sahara vers le sud à un rythme inquiétant sur les zones déboisées.

Il en résulte de graves problèmes socio-économiques à travers le Sahel étant donné que la population qui migre vers le sud à la recherche de nourriture est confrontée avec les résidents locaux qui protègent leurs maigres possessions. Avec une population qui augmente, il y a une demande croissante pour l'approvisionnement en eau, ce qui cause d'autres problèmes à la population du sud. (ex.: famine, baisse du niveau des eaux, ect.)⁴.

Ajoutée aux problèmes de la sécheresse, l'eau polluée est également la cause de plusieurs maladies. En pays du Tiers Monde, la moitié des habitants sont privés d'eau potable et plus des deux tiers n'ont même pas accès aux installations sanitaires les plus rudimentaires. Les femmes doivent consacrer jusqu'à la moitié de leur travail chaque jour pour aller chercher une eau souvent non potable la majorité du temps. L'insuffisance d'installations sanitaires est la principale cause des problèmes de santé chez les habitants. Parmi les maladies d'origine hydrique qui font le plus de victimes, on y trouve la diarrhée, le trachome, le paludisme, la schistosomiase et les affections parasitaires⁵.

Le surpâturage est également un problème majeur au Sahel. La sécheresse

⁴Lyse Doucet, "Hunger on the desert's edge," MACLEANS (Février 1984): 39.

⁵Susan Taylor, "De l'eau propre pour tous" Développement, (Automne 1985): 10-14.

a réduit les espaces et la capacité de pâturages depuis 1980 et les nomades se sont concentrés autour des points d'eau, provoquant un piétinement par le bétail des sols desséchés. Tout en les stérilisant et provoquant la disparition de plantes vivaces qui fixent les sols, les troupeaux font également la mise à sec des points d'eau⁶.

Au Sahel, les ressources étant restreintes, la maîtrise et la conservation de l'eau sont une lutte constante. La pluviométrie se fait rare et irrégulière, par conséquent les eaux de surface font face à une baisse importante de niveau, allant parfois jusqu'à l'assèchement de certains lacs. Avec une demande croissante et des ressources en eau limitées, les pays du Tiers Monde font face à des questions complexes et urgentes de gestion de l'eau.

3.2 Le potentiel de la télédétection vis-à-vis les ressources hydrologiques.

La région Sahélienne couvre une vaste surface, soit approximativement 3 millions de kilomètres carrés, où l'eau de surface est mal distribuée. Cette eau se fait rare et se présente temporairement pendant la saison des pluies. Dans plusieurs régions, très peu de données et de documentation existent en ce qui concerne les ressources en eaux, soit pour la location, la quantité ou même la qualité des eaux de surface.

Rencontrer les objectifs fondamentaux pour la gestion des ressources qui est nécessaire à la survie, tels le développement, le traitement, la mise en réserve et le transport de l'eau pour l'agriculture, l'industrie, la récréation et l'usage domestique, est essentiel et très important pour cette région. Des

⁶Michel Tétrault, "Le Sahel en lutte contre la sécheresse", Développement, (Automne 1985),: 19-21.

objectifs additionnels tels que la protection de la végétation, et le contrôle des terres susceptibles à l'érosion et à la sédimentation sont aussi importants⁷.

La télédétection a été reconnue comme une source valable d'information pour faire l'inventaire des ressources naturelles. Selon Conitz et al.⁸, les images satellites sont des sources de données de qualité qui couvrent de grandes régions et qui permettent de cartographier rapidement les conditions de surfaces. C'est un moyen rapide, efficace et peu coûteux qui permet d'obtenir une information assez précise.

La télédétection est un outil potentiel pour rencontrer les objectifs fondamentaux de la gestion des ressources en eaux. Philipson⁹ souligne que la tâche de la télédétection est de collecter, d'analyser et de convertir en information les données détectées pour trouver une solution aux problèmes de gestion des ressources. Son but est de donner une meilleure information qui peut être appliquée aux solutions des problèmes en gestions des ressources.

Lee¹⁰ applique l'analyse d'image numérique LANDSAT à l'étude de surveillance de l'environnement et des ressources en Egypte, le long du Nil. L'hypothèse de travail suppose que des changements, dûs au barrage Aswan, devraient être manifestés surtout dans les caractéristiques spectrales de la végétation qui sont une fonction du type de végétation, type de sol, conditions de végétation, conditions du sol, et la pratique de l'agriculture. Ces facteurs

⁷J.B. Bale, et al., "Remote Sensing Applications to Resource Management Problems in the Sahel," (Washington, 1974)

⁸Merrill Conitz, et al., "LANDSAT Data for Development" (Kenya), pp. 6.

⁹W.R. Philipson, "Problem-Solving with Remote Sensing," (Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1980), 1335-1338.

¹⁰N.F. Lee, "Application of Digitally Processed Landsat Images to Environmental and Resource Monitoring Studies," (London, 1980), pp. 113.

peuvent-être inter-reliés ou reliés à d'autres facteurs environnementaux, culturels et politiques. On s'attend aussi à ce que des changements sur l'hydrologie de la rivière se manifestent en relation avec la terre et l'eau. Également, des changements dans l'utilisation des terres sont prédits.

L'objectif du travail de Lee, dans un contexte de maîtrise en ingénierie, est d'illustrer l'utilité des données numériques multispectrale LANDSAT dans la solution des problèmes et de démontrer les capacités et les limitations des techniques d'analyse numérique. Les méthodes utilisées par Lee sont premièrement, la sélection de deux images LANDSAT d'années différentes recouvrant la même région à la même période. Pour chacune de ces images LANDSAT, deux scènes de 512 x 512 pixels ont été choisies. Deuxièmement, l'analyse d'image numérique qui est faite à partir de rehaussement de contraste et de rapport de bande.

Les résultats obtenus démontrent que le rapport de bande, soit 1976.7/1973.7, est utile pour cartographier la superficie des régions végétatives, et le rapport de 1976.5/1973.5 est utile pour détecter les changements d'utilisation des terres. Pour l'étude de la végétation, on utilise normalement le rapport 7/5 qui donne le meilleur contraste spectral entre la végétation et le sol, mais pour détecter des changements temporels il est nécessaire de générer un rapport de bande identique à partir de deux dates différentes tel que Lee nous l'a démontré.

Avec ces techniques de rehaussement, il a été possible de détecter les changements de la densité de végétation, de la relation entre eau et terre, et de l'utilisation des terres. Très peu de données étant disponibles pour ce travail, il n'était possible de faire que des déductions générales des résultats. Un projet de ce genre est une étape préliminaire qui permet de contribuer à une étude plus détaillée.

Une autre étude qui a été entreprise par Singhroy et Bruce¹¹ sur la cartographie des zones côtières de la Guyane, utilisant des données numériques LANDSAT, démontre que l'imagerie LANDSAT, soutenue par l'information de photographies aériennes noires et blanches à l'échelle de 1:10,000, peut fournir de façon rentable et compétente, une bonne information de base sur les produits agricoles, les différents types de couvert agricole, et les matériaux de constructions. Ce travail démontre le potentiel de la contribution de LANDSAT pour la gestion en zones côtières où les données sont rarement disponibles.

La méthode utilisée est une combinaison d'analyse numérique, d'interprétation visuelle de photographies aériennes à l'échelle de 1:10,000 en noir et blanc, et d'une image composée des bandes 4, 5 et 7, le tout intégré avec des cartes existantes de sols, topographiques et de foresteries. Des classifications supervisées et non supervisées ont également été produites.

Les résultats de cette étude démontrent que l'imagerie LANDSAT contribue considérablement aux données de base requises pour les projets de développement entrepris actuellement sur les zones côtières de la Guyane. Les conditions environnementales et le manque de données existantes sont typiques pour presque toutes les Caraïbes.

La méthodologie dépend de la disponibilité des images LANDSAT, de l'accès à de petits échantillons représentatifs de la photo aérienne, de l'accès aux facilités pour l'analyse numérique, et de la disponibilité d'interprètes expérimentés et familiers avec la région.

La méthodologie de télédétection démontrée dans cette étude est appropriée à ces régions pour les raisons suivantes; l'accès sur les lieux à un équipement

¹¹Vern Singhroy, Bill Bruce, "Coastal Zone Mapping of Guyana Using Digital LANDSAT Data", 17th I.S.R.E., Ann Arbor, Michigan, (May 1983), 659-680.

pour l'analyse numérique n'est pas requis, la cartographie qui est le produit final de cette méthodologie peut être produite rapidement et économiquement, les clefs d'interprétation développées dans la première étape du projet d'étude fournissent aux interprètes locaux la possibilité de poursuivre eux-mêmes des interprétations plus détaillées des photographies aériennes, et finalement la compétence et la technologie disponibles localement sont suffisantes pour produire la carte intégrée finale lorsque les clefs d'interprétation de photos aériennes, les cartes dérivées de LANDSAT et la légende finale de la carte ont été fournies.

Encore une fois, l'emphase est mise sur l'adaptation des méthodologies intégrées de télédétection aux conditions présentes de ces régions. Plusieurs autres travaux, sont faits sur la télédétection et les pays arides, mais très peu de ces projets s'adressent au transfert de la technologie en pays sous-développés. Une meilleure gestion des ressources est toujours un point critique pour ces régions. Il semble donc y avoir un problème sérieux. Nos connaissances ne sont pas transmises efficacement. Si nous voulons transférer une technologie qui permettrait d'améliorer la gestion actuelle des ressources, il faut savoir l'adapter aux conditions, aux besoins et aux capacités de ces nations.

3.3 Le transfert de la technologie - processus délicat.

Les méthodes utilisées dans les pays industrialisés pour stimuler l'accroissement de l'économie, sont rarement transférables comme telles dans les pays en voie de développement. Les techniques utilisées et la culture socio-économique sont bien différentes de celles des pays du Tiers Monde. Nos méthodes sont très élaborées puisqu'elles sont le résultat de plusieurs années d'expériences et elles sont délibérément divisées pour un système de travail réduit et de l'équipement en abondance. C'est tout à fait l'inverse dans les pays

où le revenu par tête est très bas. Le nombre d'équipement qu'ils peuvent ajouter par année, même avec l'aide généreuse des autres nations, est très minime vis-à-vis nos standards. De plus, une grande majorité de cette population est illettrée et sans éducation, donc il serait impossible de maintenir l'infrastructure technologique¹².

Les progrès économiques d'une société industrialisée sont la continuité d'un processus déjà commencé et qui opère parmi un cadre institutionnel adapté avec le temps aux progrès technologiques, économiques et sociaux. Pour rehausser l'économie des pays en voie de développement, ces derniers doivent appliquer pour eux-mêmes des méthodes qui vont s'adapter à leurs conditions et à leurs besoins. Par conséquent, notre contribution du transfert de technologie doit accommoder les besoins, les standards et les politiques de ces nations. Les nations ne tolèrent plus des projets étrangers qui requièrent un personnel étranger pour l'opération et la maintenance des projets. Elles donnent maintenant priorité à l'entraînement d'un personnel sur les lieux.

Le problème auquel nous faisons face est d'introduire de nouvelles technologies à une population qui n'a pas été exposée à une éducation scientifique, de façon à ce qu'elle comprenne le bon fonctionnement et qu'elle puisse l'utiliser pour des fins de meilleures gestions des ressources. Le transfert de cette technologie en ces pays est une opération très complexe¹³.

Les besoins et les capacités domestiques varient énormément entre les nations en voie de développement. Le Centre Canadien de Télédétection agit

¹²G.F. White, "The special Problems of the Underdeveloped Countries with respect to Natural Resources," (Washington, 1962), 28-33.

¹³G. Rochon, F. Bonn, B. Bruce, "An Experimental Technology-Transfer Project in Remote Sensing Between Canada and West Africa," (14th I.S.R.S.E., 1980), 1803-1813.

comme conseiller technique à des organisations tel que l'A.C.D.I. et leur fournit l'expertise et l'assistance nécessaire à des projets de développement international. Le C.C.T. a démontré qu'il est possible de transférer la technologie de façon efficace même sous des conditions variées. Le succès dépend de l'application d'un modèle conceptuel flexible qui reconnaît les capacités domestiques et les objectifs du développement. Parmi plusieurs projets entrepris par le Centre Canadien de Télédétection nous en avons choisi trois à titre d'exemple qui démontrent le succès des transferts de la télédétection en régions géographiques et contextes de développement variés.

Au Pérou, le transfert de la technologie a été basé sur le concept de responsabilité partagée par l'entremise de co-projets de gestions. Le succès de ce transfert est dû au lien continu de communication au niveau de gestion et à la participation d'experts péruviens avec l'aide des canadiens pour l'intégration de la télédétection au projet en question. Ces facteurs ont assuré la continuité de l'implication péruvienne.

En Afrique de l'ouest, l'effort du transfert a été concentré dans les domaines de coordination, d'entraînement et de développement d'application. Le Canada a assisté à l'établissement d'un centre régional à Ouagadougou, Burkina Fâso, et a embauché un employé à temps complet pour aider et assister le directeur africain du centre. Il est anticipé que les spécialistes africains seront bientôt prêts pour continuer le travail au fur et à mesure que les données deviendront disponibles.

Pour ce qui est de la Thaïlande, cette dernière étant déjà très impliquée dans la télédétection depuis longtemps, elle a récemment implanté une station de réception. Une compagnie canadienne a obtenu le contrat pour l'installation de cette station. A cet effet, le Centre Canadien de Télédétection a offert les

services de support pour de l'entraînement à long terme à six spécialistes Thaïlandais.

Le succès d'un transfert de technologie en pays sous-développé est toujours possible si l'on reconnaît les besoins de flexibilité tout en reconnaissant les contraintes parmi lesquelles ces activités doivent être accomplies¹⁴.

¹⁴Bill Bruce, Jean-Claude Henein, "C.C.R.S. International Technology Transfer Activity", Report to the United Nation Committee, 1985, pp. 4.

CHAPITRE 4

METHODOLOGIE DE TRAVAIL

4.1 Analyse de la situation

L'objectif de cette thèse a pour but de considérer comment on peut évaluer et démontrer la contribution de la télédétection vis-à-vis la gestion des ressources en pays du Tiers Monde. Ce travail n'est pas une étude approfondie des méthodes d'analyse numérique, mais bien une présentation de différentes techniques appropriées pour un transfert de technologie selon les besoins en pays du Tiers Monde. Pour se faire, il faut avant tout présenter cet outil comme étant valable, utilisable et disponible sur les lieux de travail. Nous exposerons deux genres de technologies et différentes composantes de données numériques qui pourraient servir à des fins utiles selon les besoins, le contexte géographique et politique. L'utilisateur pourra reconnaître le potentiel de la télédétection appliquée à ses besoins, et la technologie appropriée à son environnement.

4.2 Procédure de Travail

Au tout début, il a fallu compiler toute la documentation disponible pour la réalisation d'un tel projet. N'étant pas un secteur déjà étudié, la documentation sur la région est limitée. Ceci met de l'emphase sur un point déjà mentionné où l'accessibilité à la documentation n'est pas toujours facile. Souvent, en pays du Tiers Monde, si des cartes existent, on ne peut les acheter sur les lieux. Il faut les commander et plusieurs mois peuvent s'écouler avant de les obtenir.

Pour notre section d'étude, nous avons obtenu par l'entremise de diverses sources, quelques cartes qui nous aideront à interpréter les images LANDSAT MSS et TM. A plusieurs endroits, et surtout dans la scène 3 où nous n'avons aucune documentation, il faudra généraliser à partir des connaissances acquises sur l'environnement suite aux lectures et avec l'aide d'interprètes expérimentés qui sont déjà allés à Burkina Fâso.

La documentation disponible est la suivante: cartes topographiques de l'Afrique de l'ouest, Institut Géographique National, Paris, 1968, Yorosso, feuille ND-30-II, et 1971, Dédougou, feuilles ND-30-111, tous deux à l'échelle de 1:200000 (Appendice, carte no. 1); carte géologique de la république de Haute-Volta, 1976, échelle à 1:1000000 (Appendice, carte no. 2), accompagnée d'une notice explicative de la carte géologique; carte de l'O.R.S.T.O.M. des ressources en sols de la république de Haute-Volta, 1976, à l'échelle de 1:500000 des unités agronomiques déduites de la carte pédologique (Appendice, carte no. 3). Des images satellites de la région sont également disponibles, gracieuseté du Centre Canadien de Télédétection. Il s'agit d'images LANDSAT MSS et TM qui recouvrent la zone d'étude simultanément, soit en date du 10 novembre 1984.

Novembre et décembre sont à peu près les meilleurs mois pour analyser le réseau hydrologique puisque la saison des pluies se termine en septembre et l'assèchement commence rapidement à partir d'octobre. Entre novembre et décembre la végétation est assez desséchée pour qu'on puisse visualiser le réseau sans trop de difficultés et les feux de brousses n'ont pas encore atteint les fonds de vallées (Prévost¹⁵).

Après avoir compilé toute la documentation disponible, approfondi nos

¹⁵Christian Prévost, "Application de la Télédétection par Satellite à l'Inventaire des Ressources," (Québec, 1984), pp. 194.

connaissances sur les régions désertiques, sur le cycle de l'eau et ses conséquences sur ces régions, sur les pays du Tiers Monde et leurs besoins, et étudié toutes les possibilités de la télédétection vis-à-vis les ressources hydrologiques, nous avons procédé à l'analyse d'images numériques. Pour se faire, nous avons utilisé le système CIAS (CCRS Image Analysis System) au Centre Canadien de Télédétection pour générer les images LANDSAT MSS et TM avec les rehaussements et classifications désirés.

Le processus de l'analyse d'image numérique est fait à partir d'un ordinateur. Cette méthode d'analyse permet la plus grande flexibilité pour des applications générales d'analyse numérique. Une image numérique est représentée par une série de points avec intensités définies ou précises. En manipulant ces valeurs d'intensités dans l'image, l'ordinateur peut procéder à des opérations très complexes sans difficulté. C'est une méthode très efficace mais qui requiert l'expertise d'une personne spécialisée et entraînée.

Bien que le CIAS ne soit plus en opération de nos jours, il était un système d'analyse d'image assez complexe, qui nécessitait un technicien entraîné pour opérer le système, où l'utilisateur spécifiait les types de méthodes voulues. De nos jours, il existe plusieurs systèmes d'analyses plus ou moins complexes, où suite à un cours d'entraînement raisonnable, tout utilisateur peut manoeuvrer le système. Avec des systèmes de moins en moins complexes et dispendieux, il est maintenant plus facile de faire accepter cette technologie en pays du Tiers Monde.

Même si le CIAS n'est plus en opération, les méthodes que nous avons utilisées présentent les mêmes étapes d'analyse qui pourrait être faite sur tout autre système d'analyse d'images.

En premier lieu, nous avons choisi trois scènes de 512 x 512 pixels du

MSS et TM qui correspondent entre elles; soit la scène 1 de TM qui correspond à la scène 1 de MSS, et ainsi de suite. Ceci dans le but de faire une comparaison des deux satellites. Pourquoi des scènes de 512 x 512 pixels ? Lorsqu'on parle de résolution spatiale, on décrit combien de pixels l'image numérique comprend. Il est maintenant courant d'utiliser une résolution spatiale de 512 x 512 ou 1024 x 1024 pixels. C'est un nombre pair de la puissance 2, ce qui convient à l'ordinateur et au processus d'analyse numérique.

Pour chacune de ces scènes, nous avons fait plusieurs traitements tels que des rehaussements de contraste, des rapports de bandes, des composés colorés, des composantes principales, et finalement des classifications supervisées et non supervisées.

En premier lieu, nous avons fait des rehaussements de contraste linéaire. Un rehaussement de contraste est une opération où l'intensité de la valeur de chaque pixel est modifiée indépendamment. Cette étape est primordiale pour l'analyse d'une image. L'histogramme donne une représentation de la concentration des pixels versus l'intensité dans une image. A partir de ce graphique, on peut voir immédiatement si l'image est trop foncée ou trop claire et quelle sorte de contraste, soit élevé ou peu élevé. Selon ce que l'utilisateur a besoin de visualiser, on applique des rehaussements de contrastes selon les besoins. De l'histogramme on peut déterminer quelle opération est nécessaire, soit l'addition, la soustraction, la multiplication ou la division d'une valeur constante à chaque pixel de l'image. Il s'agit d'étaler le nombre des pixels sur toute la gamme des niveaux d'intensités, soit de 0 à 256. Par conséquent, on obtient une image plus contrastée que l'image originale. La figure 5 (a) démontre un exemple non rehaussé de la dispersion des pixels versus l'intensité dans une image où les données occupent seulement une partie de la gamme des

niveaux d'intensités de 0 à 256 (5 b). Par conséquent, la tonalité de l'information de l'image est comprimée dans une très étroite gamme de valeur d'intensité, réduisant les capacités d'interpréter les détails radiométriques. Lorsqu'on procède à un rehaussement de contraste linéaire, les valeurs d'intensités sont réassignées et distribuées sur toute la gamme d'intensité en augmentation de densité égale (figure 5 c).

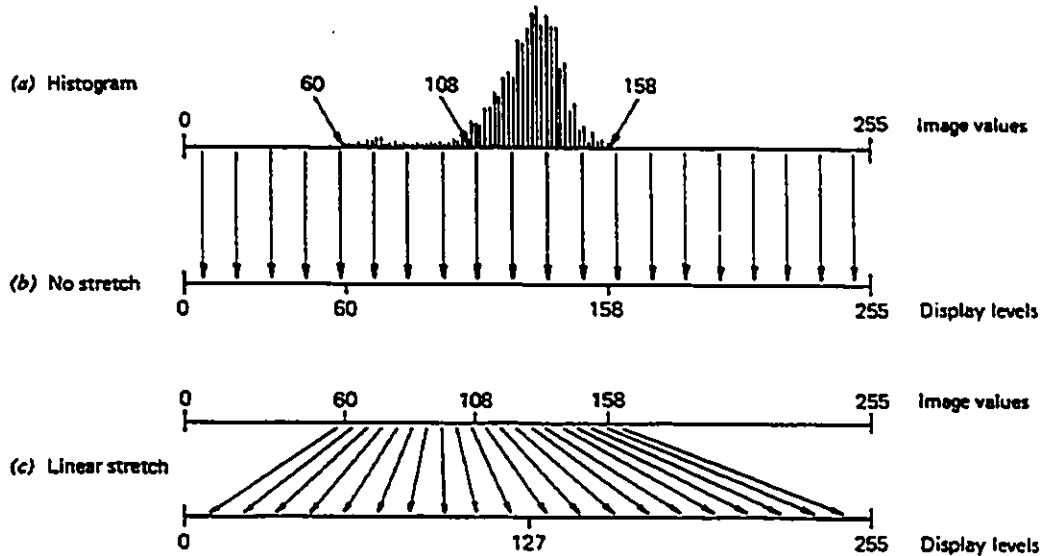


Fig. 5. Principe de rehaussement de contraste linéaire .

Nous avons procédé par la suite à des rapports de bandes. Le but principal des rapports de bandes est de rehausser certaines caractéristiques dans une scène. Par exemple, pour l'étude de la végétation, les bandes MSS 5 et 7, ainsi que les bandes TM 3 et 4 qui correspondent aux bandes MSS 5 et 7, sont

les plus utiles puisque les régions du rouge et proche infra-rouge donnent le plus grand contraste spectral de la végétation sur sol. Pour se faire il s'agit de diviser, soustraire, multiplier ou même combiner de différentes manières la radiance d'un pixel d'une bande par la radiance d'un même pixel d'une autre bande. Nous avons donc appliqué divers rapports de bandes et photographié ces derniers pour démontrer à l'utilisateur les résultats et l'utilité de chacun. Soit $7/5$, $7-5/7+5$, $4/3$, $4-3/4+3$, $7/4$, $7-4/7+4$, et ainsi de suite.

Des composés colorés ont également été créés suite aux rehaussements de contrastes. Ces composés sont formés d'une combinaison de trois bandes où chaque bande est assignée à une couleur (rouge, vert et bleu). L'oeil étant plus sensible aux couleurs qu'aux différentes teintes de gris, cette méthode apparaît une des plus prometteuses pour l'interprète. Elle sert à augmenter les contrastes en mettant en évidence une bande spectrale particulière. Par exemple, si on assigne les bandes 4-5-7 du MSS ou 2-3-4 du TM, où les bandes 4 et 2 sont assignées avec le bleu, les bandes 5 et 3 avec le vert et les bandes 7 et 4 avec le rouge, on obtient une combinaison appelée fausse couleur. La végétation qui réfléchit l'énergie dans l'infra-rouge apparaît en rouge sur l'image. Un interprète expérimenté peut alors facilement repérer la végétation. Nous démontrerons différentes combinaisons de bandes et leur utilité pour l'interprétation des ressources. Ces composés colorés qui sont très utilisés, peuvent être créés à partir des canaux originaux, des ratios et des composantes principales.

Une autre méthode de rehaussement fut celle des composantes principales (PCE - Principal Component Enhancement), où les données sont corrélées d'une bande à l'autre. Des PCE ont été faits avec les scènes du TM seulement puisque pour un PCE il est nécessaire d'avoir au moins quatre bandes, ce qui élimine le MSS car on travaillait avec un ruban de trois bandes (4, 5 et 7). Le

but d'un PCE est de condenser les données en un groupement de variables, les axes, qui n'ont pas de corrélation entre eux. Il s'agit de faire la rotation des valeurs de pixels pour chaque bande spectrale, pour ainsi créer une nouvelle répartition avec un espace à quatre dimensions. Nous verrons dans l'analyse des résultats ce que peut nous apporter une analyse en composantes principales.

Une classification supervisée ou non supervisée, dépendant de la scène, a également été utilisée. La classification est très utile si l'on veut avoir une idée générale de la distribution des classes. Elle décrit en gros les divisions qu'on peut retrouver dans une scène. La classification supervisée est certainement plus spécifique puisque c'est l'utilisateur qui détermine les classes d'après des points de repères connus. La classification non supervisée au contraire laisse à l'ordinateur le choix des classes qui sont choisies à partir de la tonalité des pixels et par la méthode du plus proche voisin. Pour utiliser la classification supervisée, on doit avoir des points d'échantillonnage suite à une étude de terrain. Etant donné que la présente étude se limite à l'évaluation de ce que la télédétection peut contribuer à un environnement où il est très difficile d'obtenir de la documentation, aucun travail de terrain n'a été fait. Ici nous avons utilisé surtout la classification non supervisée, mais nous avons fait une classification supervisée pour la scène 3, en choisissant des classes très caractéristiques pour démontrer les possibilités.

Au fur et à mesure que l'on procédait, des diapositives ont été prises de chaque étape par une caméra 35mm à partir du système CIAS et où aucune information n'est perdue de l'écran. On a également produit des imprimés couleurs pour certaines classifications et PCE. Au chapitre 5, à la fin de l'interprétation de chaque scène, nous avons inclu une copie de ces positifs et de ces imprimés pour fins de comparaison.

Après cette analyse quantitative, il a fallu passer à une interprétation visuelle des images obtenues. Pour se faire, nous avons utilisé un Procom qui est un mécanisme optique désigné spécifiquement pour observer à des échelles différentes des images transparentes ou des diapositives. En étalant sur la fenêtre du Procom les diapositives de différents rehaussements ou de classifications, nous avons pu ajuster à l'échelle voulue, soit 1:50000 pour le TM et 1:100000 pour le MSS, les scènes en question.

En superposant ces scènes aux cartes disponibles que nous avons retracées à l'échelle voulue pour travailler, soit 1:50000 pour l'analyse avec le TM et 1:100000 pour l'analyse avec MSS, nous avons procédé à l'interprétation de chacune des diapositives. En choisissant la meilleure méthode jugée appropriée des techniques d'analyse, nous avons tracé une carte du drainage, une carte de la géologie et une carte des sols pour chaque scène. Par exemple, un simple composé coloré rehaussé des bandes 4, 5 et 7 du MSS était une des meilleures façons de délimiter la végétation, par conséquent, mieux suivre le réseau hydrographique. Nous avons donc examiné chaque technique de l'analyse quantitative. A partir de cette analyse visuelle, l'utilisateur pourrait établir une clef d'interprétation à suivre afin de procéder à l'analyse des ressources pour des fins de meilleure gestion.

4.3 Les Conditions d'Enquête

Comme le but de cette thèse porte sur le transfert de la technologie en pays du Tiers Monde, l'emphase est mise sur l'adaptation des méthodes de la télédétection aux conditions présentes dans ces régions. Il est possible de réussir un transfert approprié aussi longtemps qu'on sait l'adapter aux conditions et besoins de ces nations.

Nous présentons dans ce travail, différentes options plus ou moins complexes qui peuvent être adaptées selon les besoins. Les questions qu'on doit se poser pour un transfert de technologie sont comment complexes et sophistiquées doivent être les méthodologies utilisées, comment complexes doivent être les données, et quels sont les outils acceptables pour ces lieux de travail. En présentant deux techniques, soit l'utilisation d'un ordinateur ou l'utilisation d'un système de projection analogique, nous donnons un choix assez flexible aux nations pour décider de la technique la plus appropriée à leurs besoins et à leur contexte géographique, social et politique.

:

:

CHAPITRE 5

INTERPRETATION ET DISCUSSION DES RESULTATS

Au tout début, il serait bon de souligner encore une fois que nous tentons de faciliter le transfert d'une technologie en évaluant et démontrant la contribution que peut apporter la télédétection vis-à-vis une approche pratique à la gestion des ressources en pays du Tiers Monde. Il s'agira de présenter des méthodes utilisables et efficaces pour tout utilisateur sur les lieux de travail, en se servant de l'exemple des ressources en eaux. Nous savons qu'il existe une gamme indéfinie de méthodes possibles à partir d'une analyse digitale, mais notre procédure est limitée délibérément puisque l'on tient compte des besoins et des possibilités en pays tropical où l'accès des technologies est limité. Un utilisateur expérimenté pourra au fur et à mesure s'aventurer dans des méthodes plus complexes si son budget et si les services disponibles sur les lieux de travail le lui permettent.

Dans un premier temps, il s'agira d'interpréter et de discuter de toutes les méthodes utilisées, telles que mentionnées au chapitre 4, pour la première scène étudiée. Pour les deux autres scènes nous choisirons les méthodes les plus appropriées d'après l'étude de la première scène pour démontrer le potentiel et l'utilisation de la télédétection pour une meilleure gestion des ressources en pays tropical. A partir des méthodes appropriées, des cartes du drainage, de la géologie et des sols seront produites pour des fins comparatives avec les cartes publiées. A travers l'interprétation de chaque scène, il faut souligner que ceci

n'est pas une étude approfondie des méthodes mais bien une analyse des données pour recommander comment et pour quelle fin elles peuvent être le mieux utilisées. Ces descriptions détaillées serviront d'exemples pour des applications similaires de transfert de technologie. Elles illustreront également comment une clef d'interprétation pourrait être développée pour procéder à l'analyse des ressources pour des fins de meilleures gestions. La figure 3 démontre l'infrastructure des méthodologies utilisées pour ce travail.

Scène 1

LANDSAT MSS:

A partir de la *bande 7* où la végétation reflète l'énergie, il est très difficile de délimiter la végétation avec cette scène puisque les sols qui entourent le cheminement du réseau sont sableux et reflètent également l'énergie. Il y a donc confusion entre ces sols et la végétation. Les deux types de sols sont assez bien différenciés puisqu'on y retrouve des sols secs sableux qui reflètent l'énergie (blancs) et des sols rougeâtres qui reflètent moins l'énergie que les sols blancs (gris plus foncés). Les brûlis sont très apparents puisqu'ils absorbent l'énergie (noirs).

En utilisant le rapport de *bande 7/5 rehaussé* (fig. 6) qui donne la radiance nette entre les sols nus et la végétation, il est maintenant possible de voir la végétation, donc suivre le réseau. En utilisant ce rapport, les sols apparaissent en gris foncés et nous permettent d'isoler la végétation qui reflète l'énergie (blanc). La différence entre les types de sols n'est pas bien différenciée. Les brûlis sont visibles en de petites taches noires mais il faut faire attention de ne pas les confondre avec des sols foncés tels que les cuirasses.

Le rapport de *bande 7-5/7+5 rehaussé* (fig. 7) est beaucoup plus clair que

le 7/5 rehaussé. Le réseau est encore mieux délimité par la végétation qui reflète clairement l'énergie des sols nus qui sont gris foncés. Les brûlis sont également mieux délimités (plus foncé qu'avec le 7/5), mais encore une fois, il faut faire attention de ne pas les confondre avec possiblement des cuirasses qui aussi apparaissent très foncées.

Avec un *composé coloré* qui comprend la combinaison de trois bandes dans le bleu, le vert et le rouge, nous croyons que c'est une méthode très intéressante pour identifier les ressources en général. L'oeil est plus apte à reconnaître les différences et par conséquent facilite l'interprétation de l'image. Pour le MSS, nous avons combiné des bandes 4, 5 et 7 *rehaussées* (fig. 8), où les bandes sont assignées comme telles; la bande 4 avec le bleu, la bande 5 avec le vert et la bande 7 avec le rouge. Cette combinaison est appelée fausse couleur où la végétation qui réfléchit l'énergie dans l'infra-rouge apparaît en rouge sur l'image. Cette dernière facilite la délimitation du réseau puisqu'à ce temps de l'année la végétation est presque toute disparue sauf le long des cours d'eau où le sol est encore humide. Elle est représentée en rouge même là où le réseau est asséché puisque les sols humides sont encore recouverts de végétation en novembre.

En plus, il est possible avec le *composé coloré* de ces bandes d'analyser plusieurs autres aspects. Les bas fonds qui sont des sols secs et sableux sont blancs tandis que les niveaux supérieurs (cuirasses et sols rougeâtres) sont brun rouge. Il faut faire attention par contre, à la végétation clairsemée sur les sols rougeâtres puisqu'elle est difficilement identifiable et nous avons tendance à la confondre avec les sols rougeâtres. On peut également distinguer des brûlis qui sont de teintes foncées (noirs) puisqu'ils absorbent l'énergie. Plus le brûlis est foncé, comparativement aux autres, plus il est récent. En se basant sur la carte géologique, il est possible aussi de délimiter les grandes catégories très

facilement; soit les Grès de Bandiagara à l'ouest et les Grès de Koutiala à l'est. Les cuirasses latéritiques ne sont pas visibles sur le rapport de bande ou la bande 7 simple, mais sont bien délimitées sur le composé coloré sauf aux endroits où les feux de brousse recouvrent les bordures. La carte géologique (Appendice, carte no.5), a été tracée à partir du *composé coloré* et de la *bande 7 simple*, tandis que la carte du drainage (Appendice, carte no.4), a été tracée à partir du *composé coloré* et du rapport de *bande 7-5/7+5*.

Pour tracer la carte des sols (Appendice, carte no.6), nous nous sommes également guidés à partir du *composé coloré* qui a permis d'identifier les grandes catégories en générales. Par contre à cette résolution, il était difficile à certains endroits de délimiter les frontières entre certaines classes.

Une *classification non supervisée* (fig. 10) de huit thèmes a été créée à partir de rehaussement de contraste des bandes 4, 5 et 7 composées. Cette classification donne une idée bien générale de la répartition des groupes de sols, des brûlis et du réseau qui est délimité par la végétation. En interprétant une classification, il faut faire bien attention car les résultats sont généralisés. Il faut comparer le résultat des classifications avec des bandes simples, des composés colorés et des cartes existantes s'il y a lieu, pour confirmer les grandes répartitions de classes.

La dernière méthode appliquée est celle d'une carte de végétation (fig. 9) faite à partir de tranchement d'histogramme. Il s'agit de ne faire paraître sur l'écran que la végétation et de diviser cette dernière en deux, soit dense ou clairsemée. Cette méthode est utile puisqu'on peut généraliser rapidement le suivi du réseau qui est délimité par la végétation, et on peut également différencier les sols rougeâtres de la végétation clairsemée.

LANDSAT TM:

En utilisant le TM, nous travaillons à partir d'une plus haute résolution, donc à plus grande échelle si l'on utilise une scène avec le même nombre de pixel que le MSS. Une sous-scène de TM correspond à une petite région d'une sous-scène du MSS. Il est donc nécessaire d'avoir plusieurs fenêtres de TM pour couvrir la même région qu'une sous-scène de MSS. L'analyse a le potentiel d'une meilleure précision mais il faut considérer que nous devons nous limiter à une plus petite région d'observation. Si l'on veut couvrir la même région qu'une fenêtre du MSS, le travail devient long et coûteux. Ceci va de pair pour le satellite SPOT qui a encore une meilleure résolution que le TM.

Cette première scène TM correspond à une petite région du MSS interprétée ci-haut. En observant les bandes simples au début, nous discuterons et démontrerons le potentiel de chacune. Pour commencer, si on observe la *bande 1* (.45 - .52 micron)(fig. 11), nous remarquons que les sols plus foncés reflètent moins l'énergie, donc apparaissent plus foncés que les sols pâles. La végétation qui suit le réseau apparaît très foncée sur cette bande, mais il faut faire attention à l'ombre des versants nord-ouest qui donne également une teinte foncée et qui pourrait être confondue pour de la végétation ou des sols foncés. En général, cette bande est bonne pour différencier le sol de la végétation et pour sa bonne pénétration dans l'eau.

La *bande 2* (.52 - .57 micron) (fig. 12) qui sert à mesurer le maximum de réflexion du vert pour évaluer la vigueur de la végétation, donne une plus haute réflexion de cette dernière qui apparaît moins foncée que dans la bande 1. Ceci est de même pour les sols. Nous trouvons qu'avec cette bande, il est beaucoup plus difficile de délimiter la végétation qui suit le réseau des sols blancs qui l'entourent. Le centre du brûlis est plus visible à l'oeil nu donc mieux différencié

des sols foncés comparativement à la bande 1.

La *bande 3* (.63 - .69 micron) (fig.13) qui est la bande d'absorption de la chlorophylle, nous donne une végétation très foncée. La délimitation entre sols et végétation est très bonne et le brûlis ancien et récent est encore mieux délimité qu'avec les deux premières bandes.

Dans la *bande 4* (.76 - .90 micron) (fig. 14), là où la végétation a une forte réflexion, nous constatons qu'il est impossible de faire la distinction entre celle-ci et les sols nus. La végétation comme les sols nus reflètent l'énergie et il est donc impossible de faire la distinction puisque toute l'image apparaît très claire. Seul les brûlis qui absorbent l'énergie apparaissent clairement dans cette bande. Par contre, s'il y avait une nappe d'eau il serait difficile de différencier entre le brûlis et l'eau puisque les deux apparaîtraient très foncés. Il faudrait alors comparer avec la bande 1 qui éliminerait le brûlis et ferait ressortir l'eau seulement. Donc en général, la bande 4 est très importante pour identifier les brûlis.

La *bande 5* (1.55 - 1.75 micron) (fig. 15), sert à indiquer le contenu en eau de la végétation et l'humidité des sols. Ici, la végétation est très foncée et permet de suivre le réseau assez clairement. Le brûlis est encore mieux représenté qu'avec la bande 3 et permet de distinguer entre l'ancien et le récent comparativement à la bande 4. Les cuirasses sont bien délimitées en une teinte plus foncée que les sols qui l'entourent.

La *bande 6* (10.4 - 12.5 micron) (fig. 16) qui est une bande infrarouge thermique est très intéressante pour l'étude de l'humidité des sols. Le seul inconvénient est la résolution de cette dernière (120 mètres). Elle nous présente une image embrouillée qui rend assez difficile l'interprétation de l'image. Ici, elle semble nous donner deux types de sols, soit sec qui reflète l'énergie, et humide

qui absorbe l'énergie (foncé). Cette répartition laisse à désirer puisque le réseau des bas fonds (nord-est de l'image) qui est représenté sur les autres bandes décrites ci-haut, n'est même pas présent sur la bande 6.

La *bande 7* (2.08 - 2.35 micron) (fig. 17) est très utilisée pour les applications géologiques où elle sert à différencier les divers types de roches. C'est la première bande qui permet de différencier entre les deux classes géologiques, soit les Grès de Koutiala (teinte pâle) et les Grès de Bandiagara (teinte foncé). Le brûlis récent est bien identifié mais il pourrait être confondu avec les cuirasses qui sont presque de la même teinte. La végétation délimite assez bien le réseau. En général, la bande 7 semble être la meilleure pour identifier toutes les classes, sauf pour le brûlis ancien qui est de même couleur que les sols de Bandiagara qui l'entourent.

Nous avons procédé à différents rapports de bandes pour détailler les différences et utilités de chacun d'eux. En premier lieu, nous avons utilisé un rapport de *bande 4/3* (fig. 18) qui démontre la différence entre la végétation et les sols nus. La végétation apparaît en blanc et suit le réseau encore humide, tandis que les sols apparaissent en gris. Les brûlis anciens et récents sont également distingués de la végétation et des sols par un gris plus foncé que ceux des sols. On ne peut par contre, voir la différence entre le brûlis récent et ancien.

Le rapport de bande qui aurait dû être utilisé selon Lee¹⁶, est l'index de végétation soit $4-3/4+3$ (fig. 19). Ce rapport a été essayé mais ne nous donnait pas beaucoup plus d'information que le rapport 4/3. Nous trouvons qu'il y a même un peu trop de réflexion de la végétation à certains endroits, ce qui rend

¹⁶Nee Lee, "Application of Digitally Processed LANDSAT Images to Environmental and Resource Monitoring Studies", Master of Engineering Project, (May 1980), pp. 113.

plus difficile la tâche de différencier entre sol et végétation. On doit se demander si l'index de végétation justifie le niveau de travail supplémentaire et l'utilisation plus longue de d'ordinateur.

Un autre rapport de bande utilisé fréquemment est le $7-4/7+4$ (fig. 20). Ce rapport dénote la division de la différence entre la bande 7 et la bande 4 par leur somme. Comme nous le savons, la bande 7 est bonne pour les terrains sans végétation et utile pour détecter les argiles qui absorbent les ondes, tandis que dans la bande 4, il y a une haute réflexion de la végétation. Par conséquent, la différence entre ces deux bandes va démontrer la différence entre la végétation et les sols humides. Cette différence est alors normalisée en divisant par le facteur $(7+4)$. Le résultat de ce rapport donne une végétation qui est démontrée en gris foncé et noir à certains endroits, tandis que les sols humides sont en gris plus pâle. La végétation qui délimite le réseau n'est pas mieux représentée sinon moins qu'avec la bande 7 simple.

Le rapport $7/4$ *rehaussé* (fig. 21) ne présente pas beaucoup de contrastes entre la végétation et les sols humides comparativement au rapport précédent. De même pour le rapport de *bande* $7/5$ (fig. 22) et $7-5/7+5$ (fig. 23) *rehaussé*, nous trouvons qu'il ne dénote pas beaucoup de contrastes entre les sols humides des sols nus secs. La *bande 7* est toujours la meilleure pour l'interprétation en général.

Examinons maintenant les différents composés colorés que nous avons créés à partir d'une combinaison de différentes bandes. Le *composé des bandes 1, 2 et 3* (fig. 24) présente la végétation de couleur foncée qui délimite bien les réseaux qu'elle suit. Le brûlis (ancien et récent) est visible à l'oeil, mais les différents types de sols sont plus ou moins délimités. On y trouve des sols bruns qui sont les sols les plus foncés, et des sols blancs qui sont les sols pâles

et secs.

Avec le *composé 2, 3 et 4* (fig. 25) qui représente les fausses couleurs, il est possible de bien délimiter le brûlis qui apparaît clairement puisqu'il absorbe l'énergie. Il est représenté en bleu très foncé pour le brûlis récent, et en bleu moins foncé pour le brûlis ancien. La végétation qui reflète l'énergie dans l'infrarouge apparaît rouge et démontre le suivi du réseau asséché mais encore humide. Les sols sableux reflètent l'énergie et apparaissent blanc jaune, tandis que les sols brun rougeâtre apparaissent également rougeâtres. Il semble y avoir de la végétation dispersée sur les sols rougeâtres mais ceci est à vérifier. Les cuirasses sont moins faciles à délimiter avec ce composé puisqu'elles sont de la même couleur que les sols rougeâtres et n'apparaissent pas aussi évidentes.

Le *composé des 3, 4 et 5* (fig. 26) présente la bande 4 (végétation) dans le vert. Elle est très bien délimitée le long du réseau et, en plus, il est facile de différencier, comparativement au composé 2-3-4, les sols rouges ayant une végétation clairesemée (recouvert de taches vertes), des sols rouges sans végétation (aucun vert). Le brûlis est très apparent en rouge mauve foncé où le brûlis récent est plus foncé. On peut également assez bien distinguer les différents types de sols.

Dans le *composé 4, 5 et 7* (fig. 27), la végétation apparaît en mauve. Elle est difficile à différencier des sols foncés comparativement au composé 3-4-5. Les différents types de sols sont identifiables mais pas mieux qu'avec la combinaison précédente. Le brûlis par contre, ressort très clairement sur l'image en deux tons de brun. On y retrouve même deux petites taches brunes qui représentent d'autres brûlis au bas de l'image que nous n'avions pas remarquées avant. Cette combinaison est donc très utile pour repérer les brûlis facilement.

Le *composé 1, 5 et 7* (fig. 28) différencie les sols, le brûlis et la végétation

dans les réseaux majeurs. En général, le composé 3-4-5 est meilleur que ce dernier.

Nous avons également procédé à une *classification non supervisée* en utilisant les bandes 3, 4, 5 et 7 (fig. 29). Encore une fois, cette classification donne les grandes caractéristiques majeures. Nous remarquons par contre que la végétation dense apparaît le long du réseau de la même couleur que le brûlis et l'ombrage des versants. Il faut toujours comparer une classification avec d'autres bandes ou composés pour ne pas généraliser les groupements sans vérification.

Une *composante principale* a été créée à partir des bandes 3, 4, 5 et 7 (fig. 30). Cette dernière donne également une assez bonne représentation des différents groupes. Les sols sont bien délimités, soit les sols secs (bleu), les sols autour du réseau (rose), et les sols qui entourent les niveaux supérieurs (jaune). Les niveaux supérieurs apparaissent en brun très foncé ce qui rend plus difficile à différencier certains aspects puisqu'ils sont confondus avec la végétation et le brûlis qui sont également très foncés. Un autre *PCE* a été créé à partir des bandes 1, 2, 3 et 4 (fig. 31). Ce dernier présente plus de détails dans les régions des sols rougeâtres puisqu'ils apparaissaient moins foncés qu'avec le *PCE* 2-3-4-5. Par contre, les sols sableux reflètent trop l'énergie et rendent difficile à voir la différence entre les sols qui entourent le réseau des sols totalement secs. On peut seulement voir deux teintes, soit foncée pour la végétation qui délimite le réseau et jaune pour les sols sableux et secs. Ce *PCE* permet de voir les deux grandes classes géologiques, soit les grès de Koutiala et les grès de Bandiagara, qui semblent plus évidentes qu'avec le *PCE* des bandes 3-4-5-7.

Une carte de végétation (fig. 32) a également été produite à partir du *tranchement d'histogramme*. Encore une fois, cette dernière semble donner une

bonne représentation des deux classes (dense et clairsemée). Le rose démontre la végétation clairsemée et le jaune, la végétation dense.

Pour tracer la carte du drainage (Appendice, carte no.7), nous nous sommes surtout basés sur la *bande 7 rehaussée* et le *composé 3-4-5*. La carte géologique (Appendice, carte no.8) a été tracée à partir de la *bande 7*, de *composé 3-4-5*, et du *PCE des bandes 1-2-3-4* qui représentait très bien les deux classes géologiques. Pour la carte des sols (Appendice, carte no.9), nous nous sommes servis de la *bande 7 rehaussée* et du *composé 1-5-7* qui représentait les sols secs sableux, en jaune.

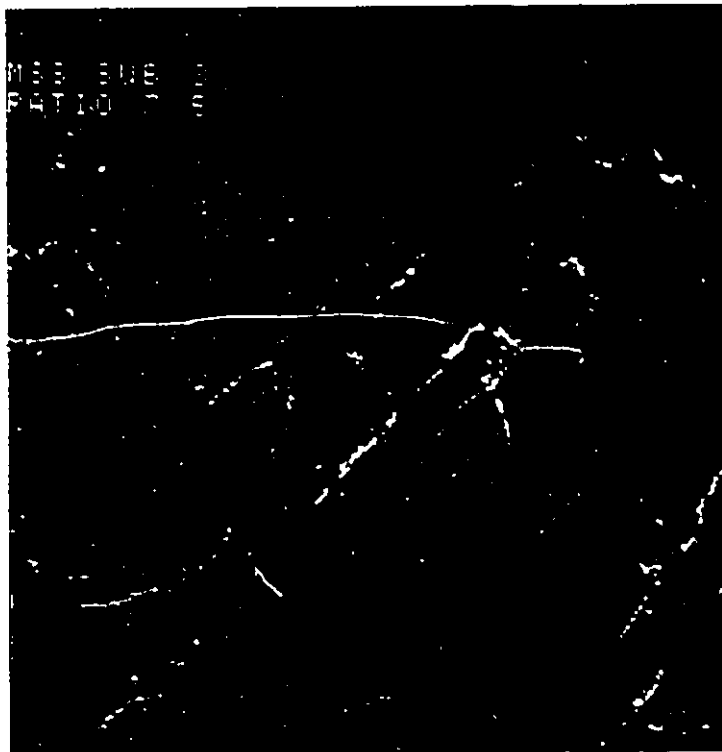


Fig. 6. Scène I - MSS, rapport de bande 7/5 rehaussé

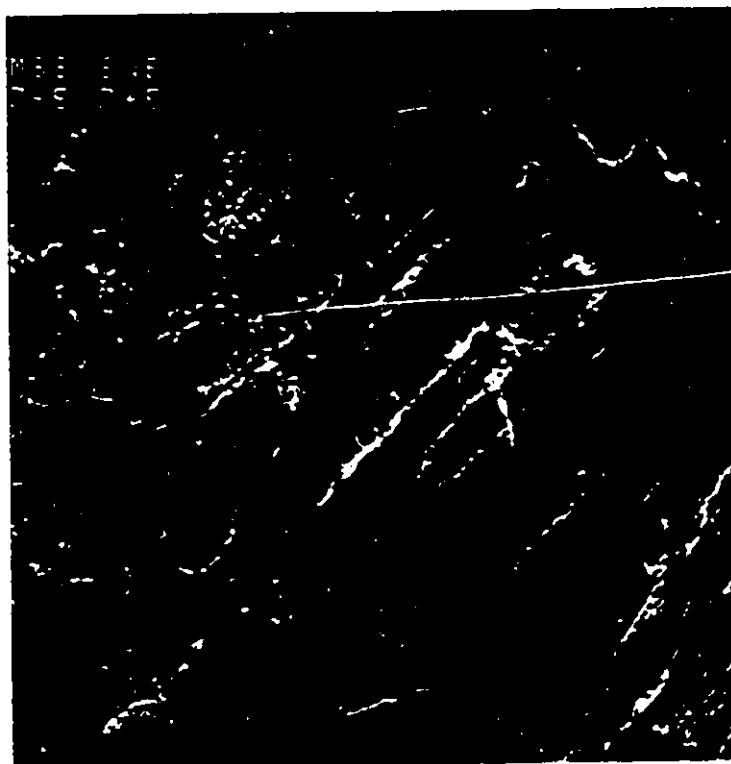


Fig. 7. Scène I - MSS, rapport de bande 7-5/7+5 rehaussé



Fig. 8. Scène I - MSS, composé coloré des bandes 4, 5, et 7 rehaussées



Fig. 9. Scène I - MSS, carte de végétation à partir de tranchement d'histogramme



Fig. 10. Scène I - MSS, classification non supervisée

MSS SUB I
UNSUPERVISED CLASSIFICATION



Fig. 11. Scène I - TM, bande 1 (.45 - .52 micron)



Fig. 12. Scène I - TM, bande 2 (.52 - .57 micron)



Fig. 13. Scène I - TM, bande 3 (.63 - .69 micron)



Fig. 14. Scène I - TM, bande 4 (.76 - .90 micron)



Fig. 15. Scène I - TM, bande 5 (1.55 - 1.75 micron)

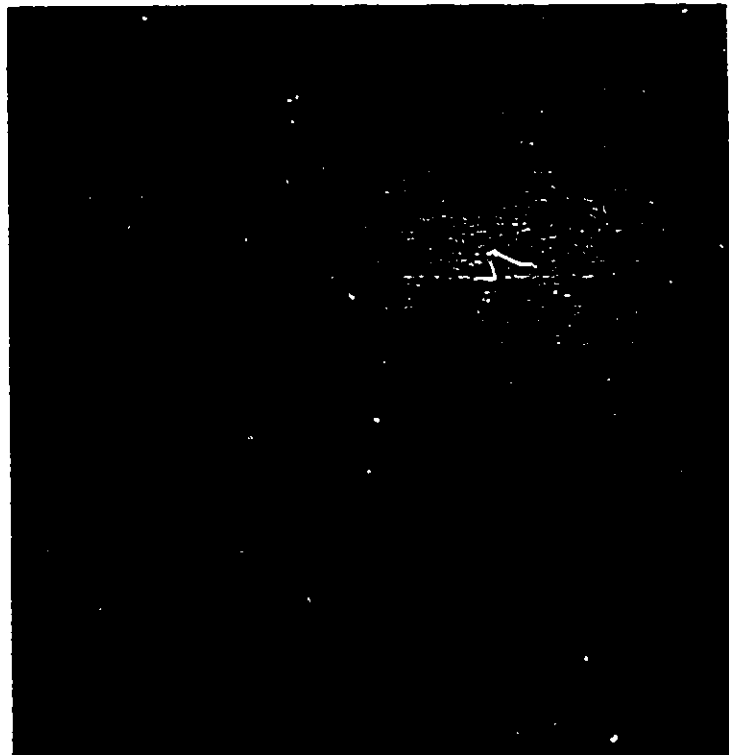


Fig. 16. Scène I - TM, bande 6 (10.4 - 12.5 micron)

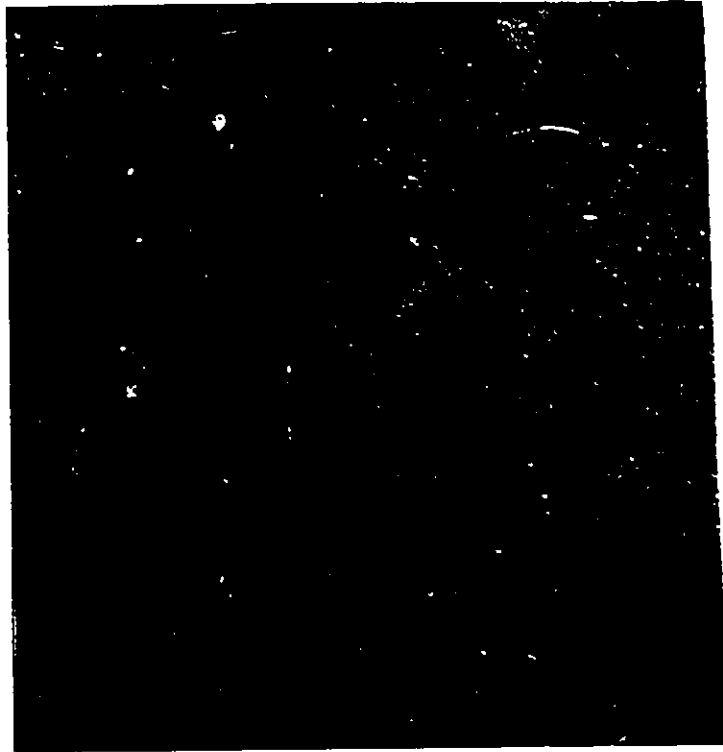


Fig. 17. Scène I - TM, bande 7 (2.08 - 2.35)



Fig. 18. Scène I - TM, rapport de bande 4/3 rehaussé

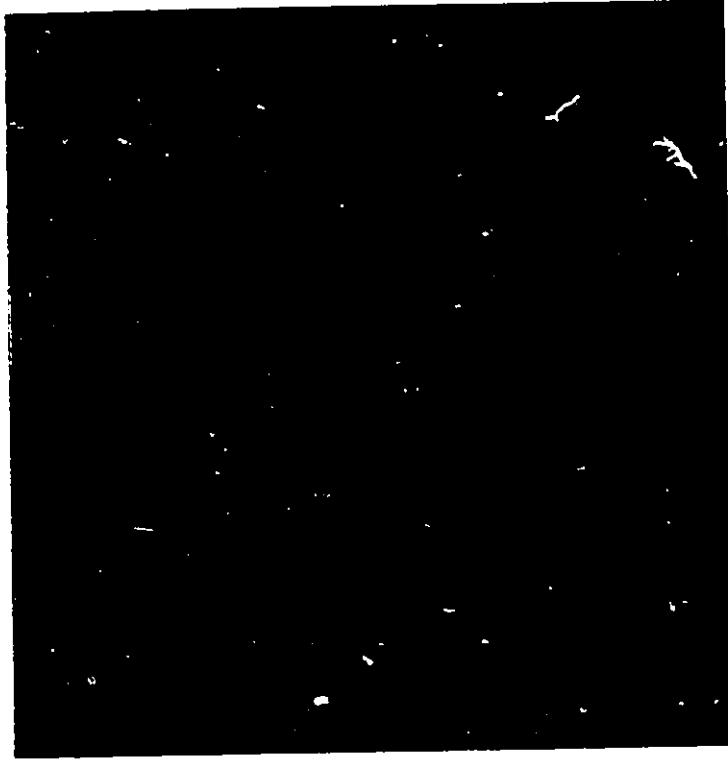


Fig. 19. Scène I - TM, rapport de bande 4-3/4+3 rehaussé

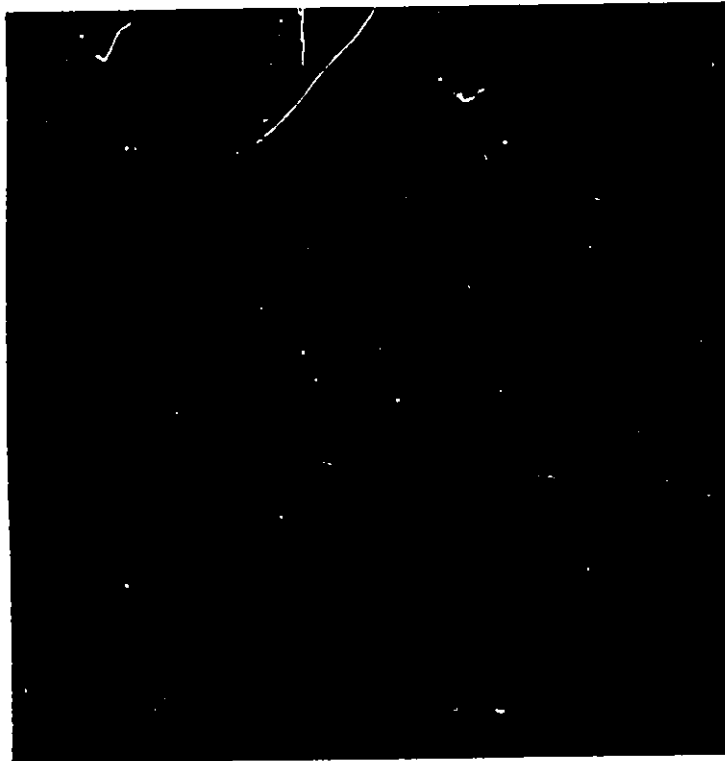


Fig. 20. Scène I - TM, rapport de bande 7-4/7+4 rehaussé

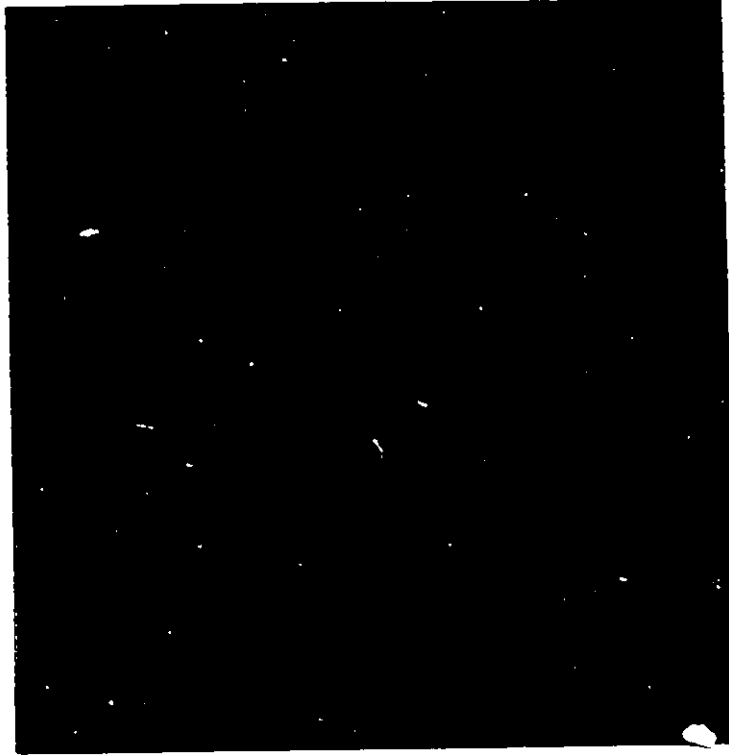


Fig. 21 Scène I - TM, rapport de bande 7/4 rehaussé



Fig. 22. Scène I - TM, rapport de bande 7/5 rehaussé

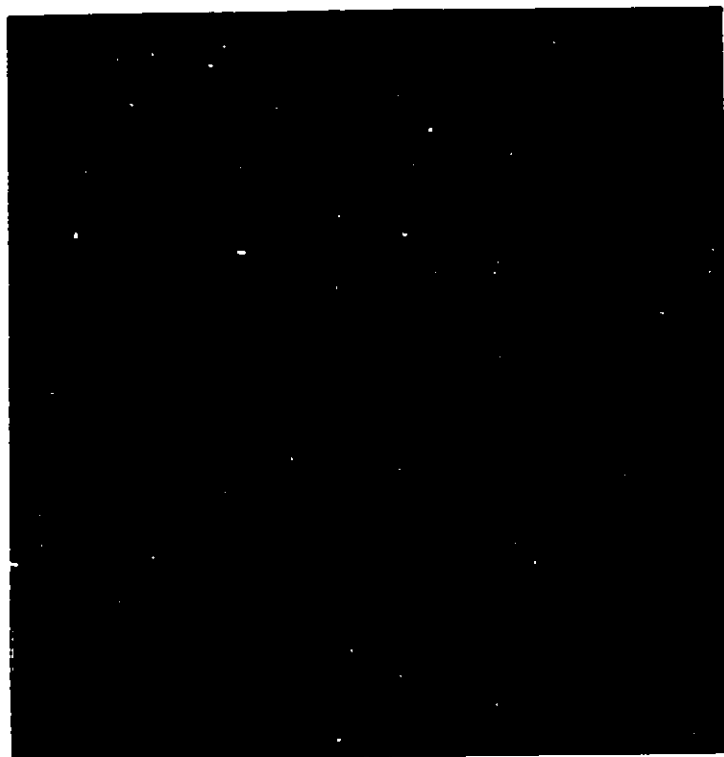


Fig. 23. Scène I - TM, rapport de bande 7-5/7+5 rehaussé



Fig. 24. Scène I - TM, composé coloré des bandes 1, 2, et 3 rehaussées

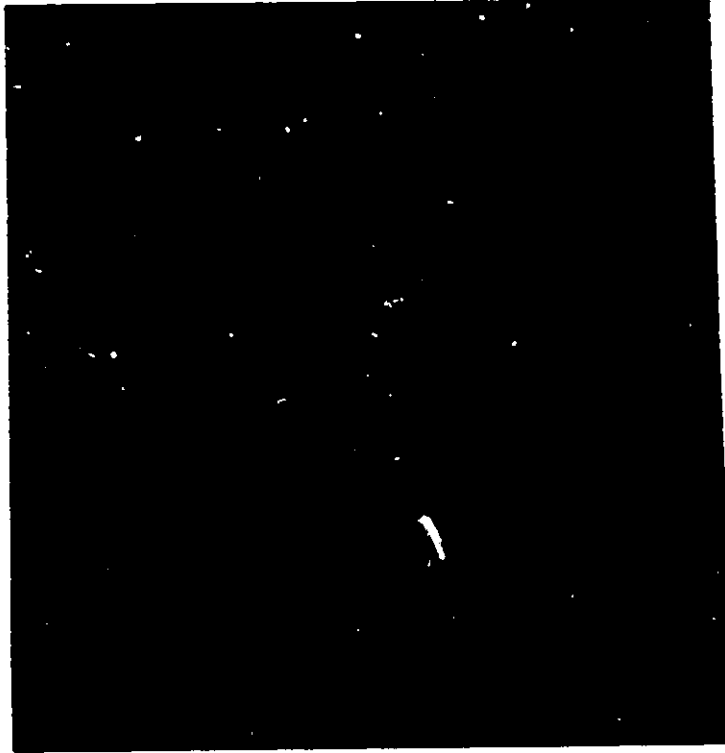


Fig. 25. Scène 1 - LANDSAT TM, composé coloré des bandes 2, 3 et 4 rehaussées



Fig. 26. Scène 1 - LANDSAT TM, composé coloré des bandes 3, 4 et 5 rehaussées



Fig. 27. Scène 1 - LANDSAT TM, composé coloré des bandes 4, 5 et 7 rehaussées

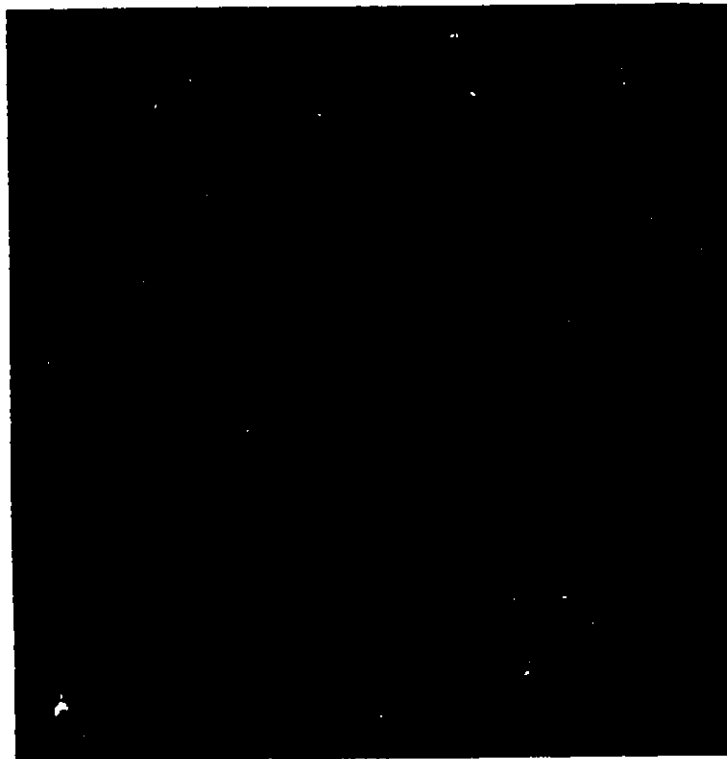


Fig. 28. Scène 1 - LANDSAT TM, composé coloré des bandes 1, 5 et 7 rehaussées



Fig. 29. Scène 1 - LANDSAT TM, classification non supervisée

TM SUB 1
UNSUPERVISED CLASSIFICATION

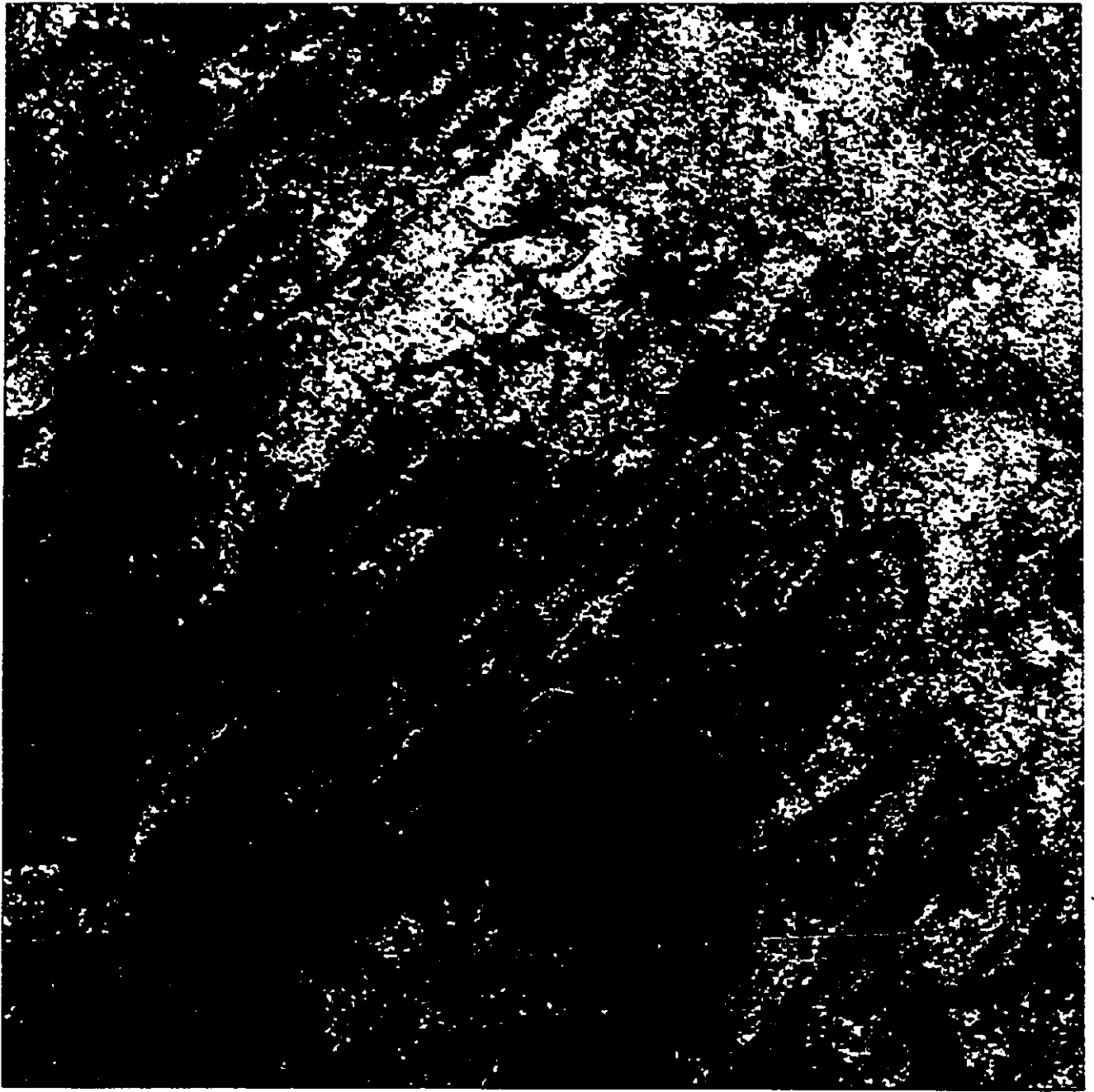


Fig. 30. Scène 1 - LANDSAT TM, composante principale des bandes 3-4-5-7

TM SUB I
PCE BANDS 3,4,5,7



Fig. 31. Scène 1 - LANDSAT TM, composante principale des bandes 1-2-3-4

TM SUB I

PCE BANDS 1,2,3,4

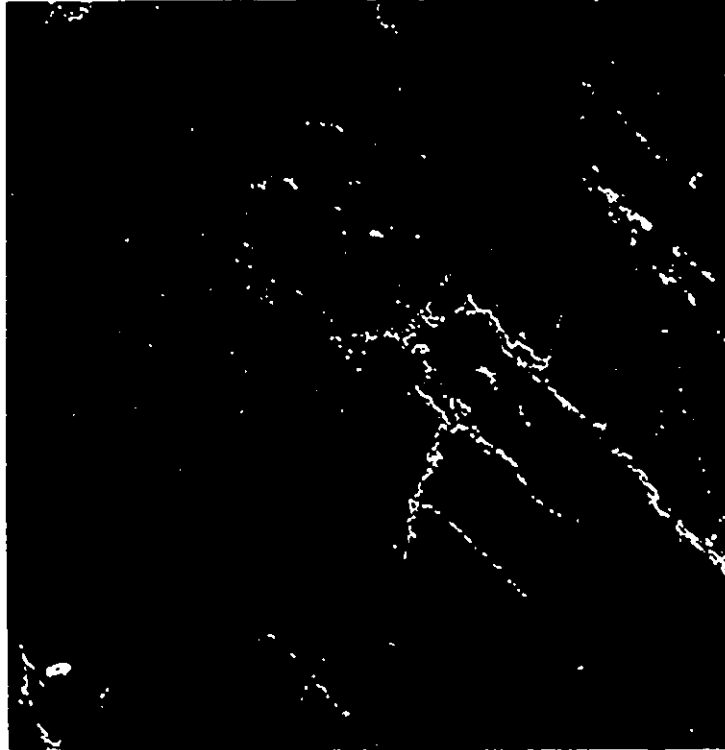


Fig. 32. Scène 1 - LANDSAT TM, carte de végétation faite à partir d'un tranchement d'histogramme

Scène 2

LANDSAT MSS:

A partir de cette scène, nous n'avons inclu que les figures les plus représentatives. Nous avons discuté des méthodes les plus appropriées et de certaines différences analysées dans la scène 1.

Comme dans la scène précédente, le rapport de *bande 7/5 rehaussée* qui donne la radiance nette entre les sols nus et les sols recouverts de végétation, permet de mieux délimiter le réseau qu'avec la simple bande 7 rehaussée puisque l'oeil perçoit mieux la différence entre les teintes. Ici, le réseau apparaît blanc. Il est difficile de le suivre à certains endroits puisqu'il reflète comme les sols nus qui l'entourent dû au manque de végétation. Avec ce rapport, il est toujours difficile de différencier les types de sols comparativement à la *bande 7 simple*.

Contrairement à la première scène du MSS, le rapport de bande 7-5/7+5 rehaussé ne semble pas donner de meilleurs résultats qu'avec le rapport de bande 7/5.

Le *composé coloré des bandes 4-5-7* (fig. 33) semble toujours donner le meilleur résultat pour l'interprétation de l'image avec LANDSAT MSS. En comparant avec la carte géologique existante, nous y trouvons les deux grandes catégories de sols qui peuvent être délimitées assez facilement à partir de ce composé coloré. Soit des sols bruns foncés qui correspondent au Continental Terminal, et des Schistes de Toun qui sont plus ou moins jaunes et qui dénotent un sol plus sableux et grossier puisqu'il réfléchit l'énergie.

On peut également distinguer des brûlis qui sont de teintes très foncées puisqu'ils absorbent l'énergie. Cependant, il ne faut pas confondre des brûlis

avec l'eau étant donné que les deux absorbent toute l'énergie. Par exemple, au sud-ouest de Nouna, on détecte un endroit de teinte foncée et il est difficile de dire si c'est un ancien brûlis ou si c'est un sol humide. Il semble que ce soit un sol humide mais nous pourrions vérifier avec le TM qui a une meilleure résolution.

Il est également possible de voir la répartition de la population. Les fortes concentrations apparaissent en bleu, et sont entourées de sols nus qui réfléchissent l'énergie. Les plus petites concentrations ne dévoilent pas de taches bleues mais seulement des taches blanches. Ceci démontre qu'il y a eu des coupes de bois autour des villages qui laissent des sols dénudés réfléchissant l'énergie.

La classification non supervisée (fig. 34) présente une certaine répartition des groupes mais elle est beaucoup moins précise qu'avec celle de la première scène. On peut y différencier certaines classes mais il faut faire bien attention à l'interprétation. Il est préférable de se servir de cartes existantes telles que la carte géologique et la carte des sols pour ne pas confondre les classes de sol.

La carte de drainage (Appendice, carte no.10) a été tracée à partir du rapport de bande 7/5 rehaussé et du composé coloré 4-5-7. Pour tracer la carte géologique (Appendice, carte no.11) et la carte des sols (Appendice, carte no.12), nous ne nous sommes servis que du composé coloré 4-5-7.

LANDSAT TM:

Dans cette scène, comme dans la scène précédente, la bande 7 rehaussée (fig. 35) donnait le meilleur résultat pour délimiter le réseau. Les sols humides et foncés absorbent l'énergie et paraissent foncés tandis que les sols sableux et dénudés de végétation reflètent l'énergie et sont beaucoup plus pâles. Le réseau

peut être délimité assez facilement puisqu'il est foncé et entouré de sols pâles.

Le seul endroit où il est impossible de suivre le réseau est celui à proximité d'une concentration de population, soit Bankoumani. Cette dernière démontre une caractéristique très importante dans les pays arides. Il s'agit d'un déboisement fait autour du village le long du réseau où la végétation était plus abondante. Les sols dénudés reflètent donc l'énergie comme les sols secs qui l'entourent et par ce fait, empêche de suivre le réseau asséché.

Comme nous le savons, le déboisement excessif est un grave problème dans les pays tropicaux. Il provoque l'assèchement des sols et, par conséquent, moins d'humidité dans l'atmosphère. Les sols fertiles desséchés sont érodés par les vents de l'Harmattan. En plus, les nomades se concentrent autour des points d'eau avec leur bétail qui piétine les sols desséchés et provoque la stérilisation des sols qui empêche la végétation de repousser, cette dernière stabilisant les sols et donnant plus d'humidité.

La répartition et l'épaisseur des terres arables sont affectées par l'érosion éolienne et l'érosion accélérée de ces terres. Ceci est dû à un usage excessif par l'homme, le bétail, le surpâturage, les brûlis et la culture. Par la télédétection, il est facile d'identifier les usages excessifs des terres arables et du déboisement, soit avec des bandes simples ou des composés colorés tel que nous le démontrerons.

Le rapport de *bande 4/3 rehaussé* (fig. 36), démontre comme dans la scène 1, le réseau qui est délimité par la végétation (blanc) des sols nus (foncé). Dans cette scène, le rapport de *bande 7-4/7+4 rehaussé* (fig. 37) est encore plus utile que dans la scène 1 puisque le réseau est très bien délimité en une teinte noire très foncée. Le rapport de *bande 7/5 rehaussé* (fig. 38) est également plus utile que dans la scène 1 puisqu'il y a un meilleur contraste entre les sols humides

(foncé) et les sols secs (pâle). Par contre, en général, la bande 7 rehaussée donne autant de détails que tous ces rapports de bandes.

Avec le *composé des bandes 2-3-4* (fig. 39), les villages sont également très évidents avec les sols nus qui les entourent. Dans la région sud de l'image, ce que l'on croyait être un brûlis avec le MSS, n'est qu'un sol argileux qui apparaît en gris foncé. Le seul inconvénient avec ce composé est que si nous avons une végétation clairsemée sur des sols rougeâtres, il est difficile de faire la distinction entre les deux.

Pour isoler la végétation des sols rouges, nous avons utilisé le *composé des bandes 3-4-5* (fig. 40). La végétation est représentée en vert et elle est plus facile à distinguer des sols rouges. Les villages sont aussi bien identifiés en petites taches rouges entourées de sols dénudés blancs.

Les *composés des bandes 4-5-7* (fig. 41) et *1-5-7* (fig. 42) permettent de visualiser des parcelles cultivées qui ne sont pas aussi évidentes avec les autres composés.

La *composante principale des bandes 3-4-5-7* (fig. 43) de cette scène est très intéressante. Elle permet de distinguer clairement les villages (représentés par des taches circulaires bleues) entourées de zones dénudées de végétation (jaune et bleu), les différences entre les types de sols et le réseau qui est clairement délimité en noir. Les parcelles cultivées sont également visibles.

La *classification non supervisée* (fig. 44) des *bandes 3-4-5-7* donne une répartition des groupes en général, mais comme celle du MSS, elle n'est pas aussi évidente que la classification de la première scène. Il faut définitivement comparer avec des cartes existantes ou autres rehaussements pour interpréter les classes. Un élément intéressant est que le village de Bankoumanie, au centre de l'image, est bien représenté comparativement à la classification du MSS.

La carte de végétation (fig. 45) indique encore une fois la répartition des deux grandes classes choisies à partir d'un *tranchement d'histogramme*: soit la végétation clairsemée (rouge) et la végétation dense (jaune).

Pour tracer la carte du drainage (Appendice, carte no.13), nous nous sommes servis de plusieurs méthodes puisque le réseau, asséché à certains endroits, rendait difficile l'interprétation de ce dernier. Nous avons utilisé la *bande 7 simple*, les rapports de *bandes 4/3 et 7-4/7+4 rehaussés*, tout en comparant avec la carte topographique existante. Pour la carte géologique (Appendice, carte no.14), nous avons utilisé la *bande 7*, les *composés colorés 2-3-4 et 4-5-7 rehaussés*, et surtout du *PCE des bandes 3-4-5-7*. La carte des sols (Appendice, carte no.15) a surtout été tracée à partir du *composé 2-3-4*.



Fig. 33. Scène 2 - LANDSAT MSS, composé coloré des bandes 4, 5 et 7 rehaussées

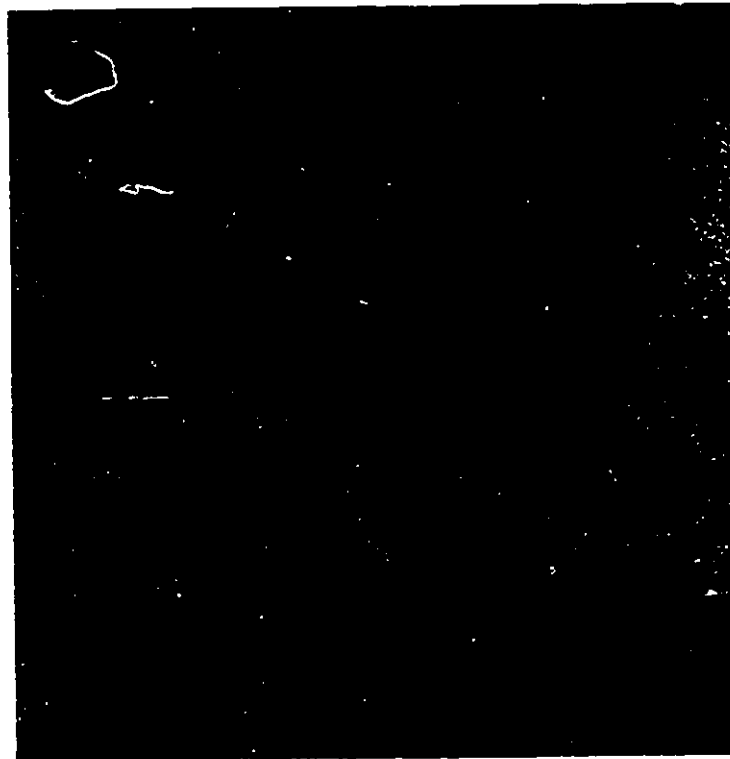


Fig. 34. Scène 2 - LANDSAT MSS, classification non supervisée

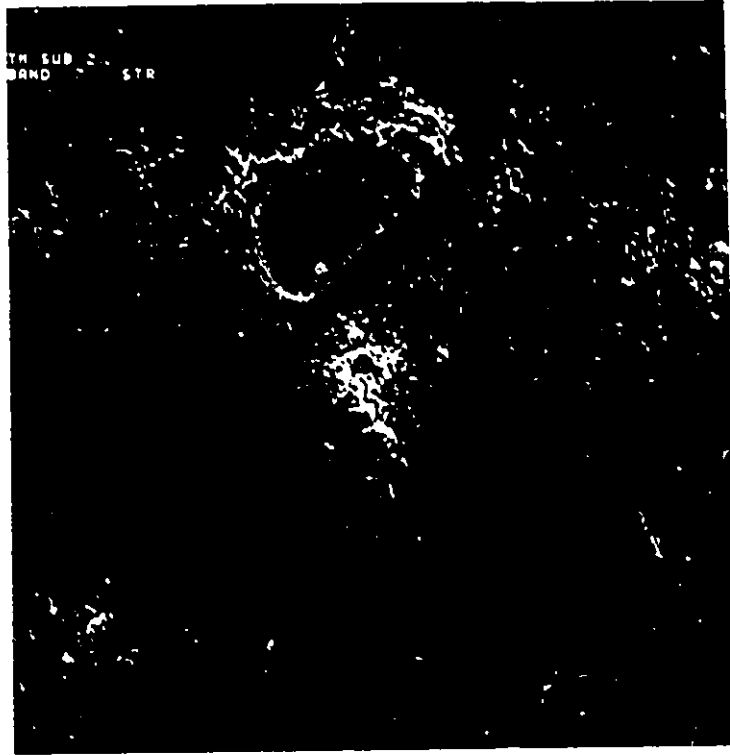


Fig. 35. Scène 2 - LANDSAT TM, bande 7 rehaussée



Fig. 36. Scène 2 - LANDSAT TM, rapport de bande 4/3



Fig. 37. Scène 2 - LANDSAT TM, rapport de bande 7-4/7+4



Fig. 38. Scène 2 - LANDSAT TM, rapport de bande 7/5

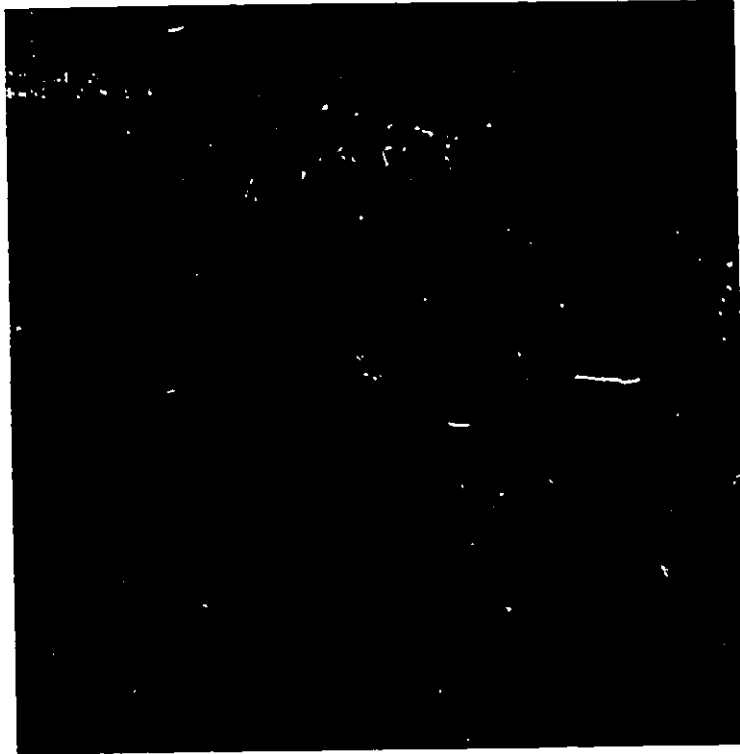


Fig. 39. Scène 2 - LANDSAT TM, composé coloré des bandes 2, 3 et 4 rehaussées

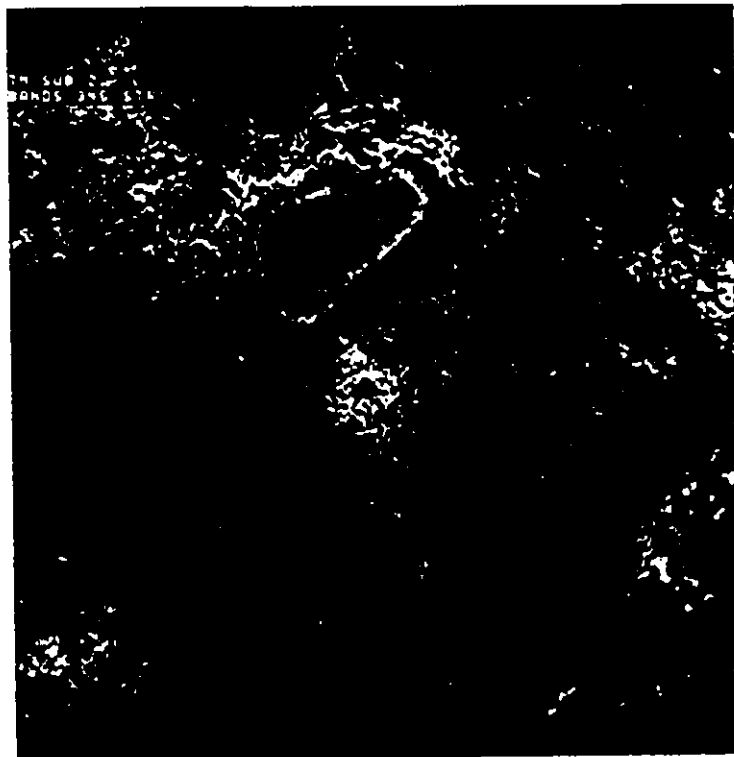


Fig. 40. Scène 2 - LANDSAT TM, composé coloré des bandes 3, 4 et 5 rehaussées



Fig. 41. Scène 2 - LANDSAT TM, composé coloré des bandes 4, 5 et 7 rehaussées

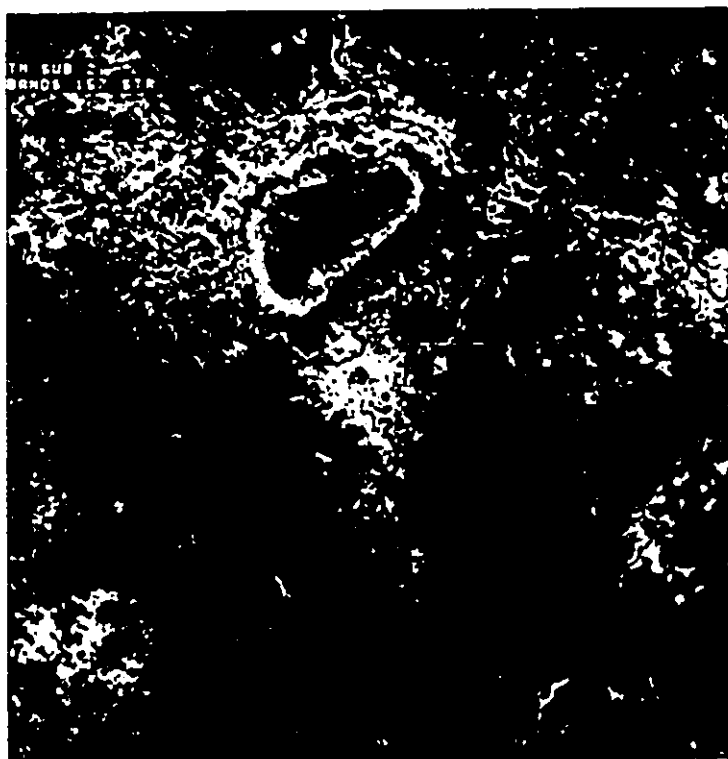


Fig. 42. Scène 2 - LANDSAT TM, composé coloré des bandes 1, 5 et 7 rehaussées



Fig. 43. Scène 2 - LANDSAT TM, composante principale des bandes 3, 4, 5 et 7



Fig. 44. Scène 2 - LANDSAT TM, classification non supervisée des bandes 3, 4, 5 et 7



Fig. 45. Scène 2 - LANDSAT TM, carte de végétation faite à partir d'un tranchement d'histogramme

Scène 3

LANDSAT MSS:

A partir de la *bande 7 rehaussée* (fig. 46), le suivi des réseaux hydrologiques majeurs est assez bien délimité en noir mais les réseaux secondaires disparaissent parmi les sols de même teinte. Le lac est très bien représenté en noir, ainsi que les cuirasses (grises foncées) qui se délimitent très bien des sols qui les entourent (gris moins foncés) des sols des bas fonds, sableux et dénudés de végétation (jaunes et blancs).

Le rapport de *bande 7/5 rehaussé* qui donne toujours la radiance nette entre les sols nus et les sols recouverts de végétation, fait ressortir le lac toujours en noir. La végétation apparaît blanche sur ce rapport mais est difficile à délimiter parmi les sols pâles à l'ouest qui reflètent également beaucoup l'énergie. Seulement les réseaux majeurs au sud peuvent être délimités.

Le rapport de *bande 7-5/7+5 rehaussé* (fig. 48) semble donner de meilleurs résultats que le rapport 7/5 rehaussé car les sols apparaissent un peu plus foncés et par conséquent, la végétation qui apparaît blanche permet de distinguer le réseau qui était presque impossible à suivre avec le rapport 7/5. Le lac ressort toujours en noir et est très facile à repérer.

Avec le *composé coloré des bandes 4, 5 et 7 rehaussées* (fig. 47), la végétation qui réfléchit l'énergie dans l'infrarouge apparaît rouge et délimite très bien le réseau en rouge. Les cuirasses et les types de sols sont également bien délimités par différentes teintes de couleurs. Le lac est d'un bleu très clair qui dénote un niveau d'eau peu profond avec beaucoup de sédiments en suspension.

Nous trouvons que le composé coloré a été le meilleur pour l'interprétation

de l'image. La carte du drainage (Appendice, carte no.16) et la carte des sols (Appendice, carte no.17) ont été tracées à partir du *composé coloré* seulement. Etant donné que cette scène se trouve juste à côté de la frontière de Burkina-Faso, soit au Mali, et que nous n'avons aucune carte des sols de cette région, l'interprétation des types de sols a été faite à partir des exemples de la scène 1 et 2. Aucune carte géologique n'a été faite de cette section.

Encore une fois, une carte de végétation (fig. 49) a été créée à partir du *tranchement d'histogramme* et présente toujours les deux classes choisies, soit dense (blanche) ou clairsemée (rose).

Nous avons essayé une *classification supervisée* (fig. 50) pour cette scène. Choissant des exemples de classes tel que le lac, les cuirasses, le réseau, et les sols dénudés de végétation, nous avons obtenu des groupements en général mais c'est à se demander si une classification non supervisée n'aurait pas donné d'aussi bons résultats. Il aurait été intéressant, avoir eu plus de temps alloué à l'ordinateur, de faire une classification non supervisée pour comparer les résultats.

LANDSAT TM:

Pour cette scène, nous avons observé les bandes 3, 4 et 7 qui nous semblaient les meilleures. En observant la *bande 3 rehaussée* (fig. 51), où la chlorophylle absorbe l'énergie, la végétation apparaît noire et permet de suivre assez facilement le réseau délimité par la végétation. Les sols sableux et secs reflètent l'énergie et paraissent blancs, tandis que les sols rougeâtres et les cuirasses sont plus foncés.

La *bande 4 rehaussée* (fig. 52) qui est généralement bonne pour délimiter les nappes d'eau et les cuirasses est bien représentative avec cet exemple. Les

cuirasses et les sols rouges apparaissent en gris très foncé et le petit lac au nord ouest de l'image apparaît noir. Par contre, le réseau est beaucoup plus difficile à suivre puisqu'il semble disparaître avec les tons de gris des sols qui l'entourent.

Tandis que la *bande 7 rehaussée* (fig. 53) délimite également très bien les cuirasses des sols blancs, elle permet également de bien délimiter le réseau qui est noir puisque la végétation et l'eau absorbent l'énergie et apparaissent noires. Par contre, il est impossible d'isoler le lac puisqu'il est entouré de végétation et les deux absorbent l'énergie. Nous remarquons qu'avec cette bande il est possible de distinguer des parcelles cultivées qui n'étaient pas aussi évidentes avec les autres bandes.

Le rapport de *bande 7/4 rehaussé* permet d'isoler les sols dénudés de la végétation. Les sols reflètent l'énergie tandis que la végétation l'absorbe. Le réseau est donc assez bien délimité par la végétation présente le long du réseau mais il n'est pas mieux délimité qu'avec la bande 7 rehaussée. Par contre, le lac est mieux délimité qu'avec la bande 7 puisque la végétation qui l'entoure est moins foncée et permet d'isoler ce dernier qui est représenté clairement en noir.

Le rapport de *bande 4/3 rehaussé* (fig. 54) est très intéressant. Il ne distingue pas les cuirasses des autres sols mais distingue bien la végétation des sols. Tous les sols sont gris foncés tandis que la végétation qui suit le réseau est représentée en blanc. Il est alors possible de très clairement suivre le réseau. Le lac se distingue de la végétation puisqu'il apparaît noir et par ce fait, on peut conclure que le réseau qui apparaît blanc est probablement asséché ou presque, et n'est représenté que par la végétation encore présente qui le longe.

Nous allons maintenant passer à l'étape des composés colorés. En premier

lieu, le *composé des bandes 1-2-3* (fig. 55) délimite bien le réseau en noir. Il est plus difficile de distinguer le lac qui est de la même couleur que les sols qui entourent les cuirasses et qui sont représentés en un brun pâle. Les cuirasses sont assez bien délimitées d'un brun rouge. Les parcelles sont sur un sol plus humide et argileux qui est interprété par ses tons de gris. Les sols qui entourent le réseau sont de couleur jaune rougeâtre.

Le *composé fausse couleur des bandes 2-3-4* (fig. 56) délimite très bien le lac en bleu. Le réseau est délimité par la végétation rouge et les cuirasses représentées en vert sont parfois recouvertes de végétation clairsemée rouge. Les types de sols sont aussi bien distincts et on peut même voir près du lac une zone marécageuse ou zone d'inondation représentée en ton de gris.

Avec le *composé 3-4-5* (fig. 57), le lac apparaît aussi en bleu mais un bleu plus foncé. Les types de sols sont un peu moins distincts les uns des autres mais les cuirasses sont bien délimitées en rouge. La végétation (verte) délimite bien le réseau et les parcelles cultivées. Il semble y avoir assez de culture le long des réseaux. Les villages sont représentés par des taches rouges.

Les deux méthodes, soit de *classification non supervisée* (fig. 58) et de *carte de végétation* (fig. 59), permettent toujours de distinguer les groupes principaux et la végétation dense (blanche) de celle clairsemée (rose).

La *composante principale des bandes 2-3-4-7* (fig. 60) est très intéressante. Il y a une très bonne délimitation des cuirasses, du réseau et des groupes de sols.

Nous avons trouvé que pour cette scène, le *composé coloré des bandes 2-3-4* rehaussées était le meilleur pour tracer la carte du drainage (Appendice, carte no.18). Même si la bande 7 et certains rapports de bandes donnaient de bons résultats, là où les sols sableux reflètent l'énergie il était presque impossible de

suivre le trajet du réseau. Avec le composé, même si les sols reflètent l'énergie, il y a un peu de végétation rouge qui permet d'assumer le trajet du réseau.

Tant qu'à la carte des sols (Appendice, carte no.19), nous nous sommes servis du *composé coloré des bandes 2-3-4* qui nous permettait de délimiter les cuirasses et la zone marécageuse, tandis que le *composé des bandes 1-2-3* nous permettait de mieux délimiter les sols qui entourent les cuirasses, des sols de bas fonds qui entourent le réseau.



Fig. 46. Scène 3 - LANDSAT MSS, bande 7 rehaussée

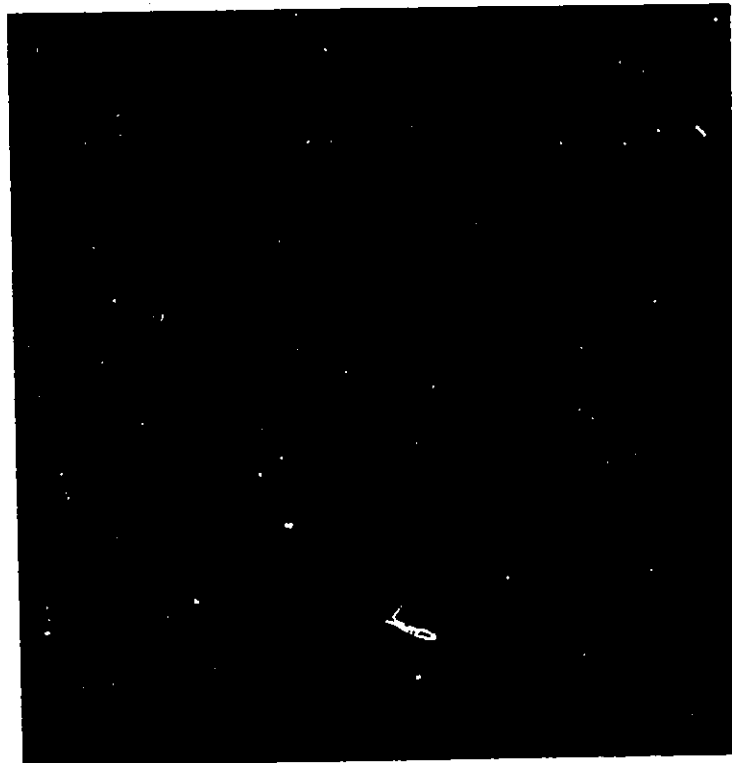


Fig. 47. Scène 3 - LANDSAT MSS, rapport de bande 7-5/7+5



Fig. 48. Scène 3 - LANDSAT MSS, composé coloré des bandes 4, 5 et 7 rehaussées



Fig. 49. Scène 3 - LANDSAT MSS, carte de végétation faite à partir d'un tranchement d'histogramme



Fig. 50. Scène 3 - LANDSAT MSS, classification supervisée

MSS SUB 3
SUPERVISED CLASSIFICATION



Fig. 51. Scène 3 - LANDSAT TM, bande 3 rehaussée

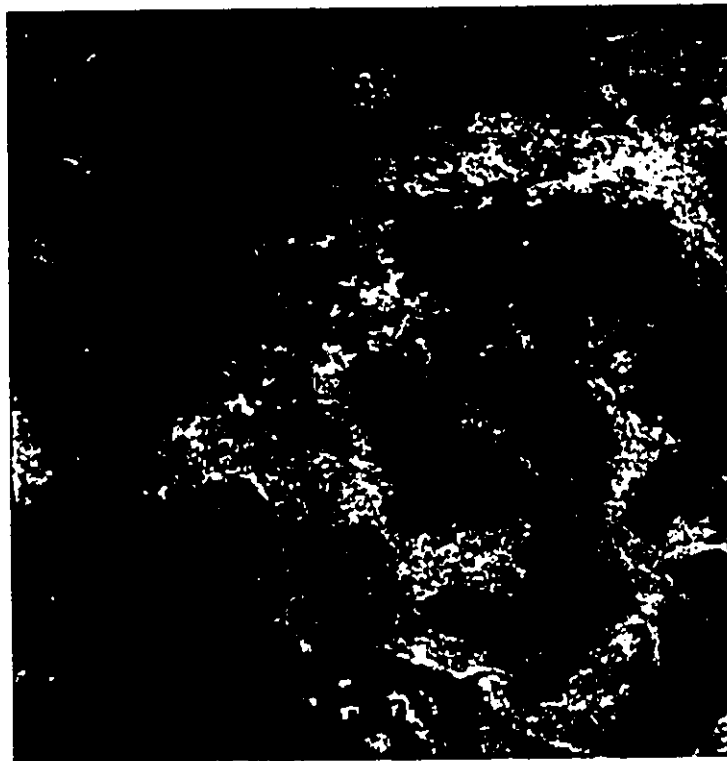


Fig. 52. Scène 3 - LANDSAT TM, bande 4 rehaussée



Fig. 53. Scène 3 - LANDSAT TM, bande 7 rehaussée

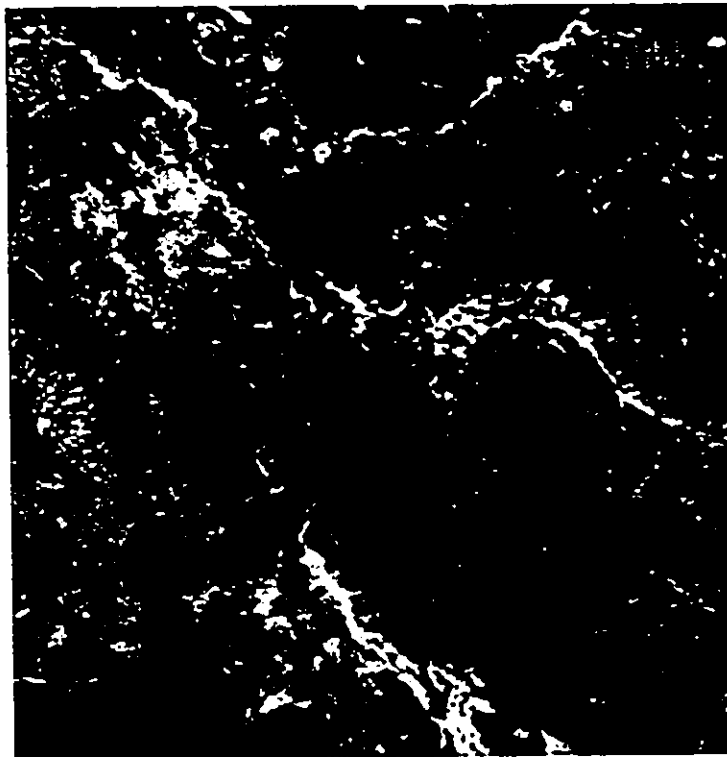


Fig. 54. Scène 3 - LANDSAT TM, rapport de bande 4/3

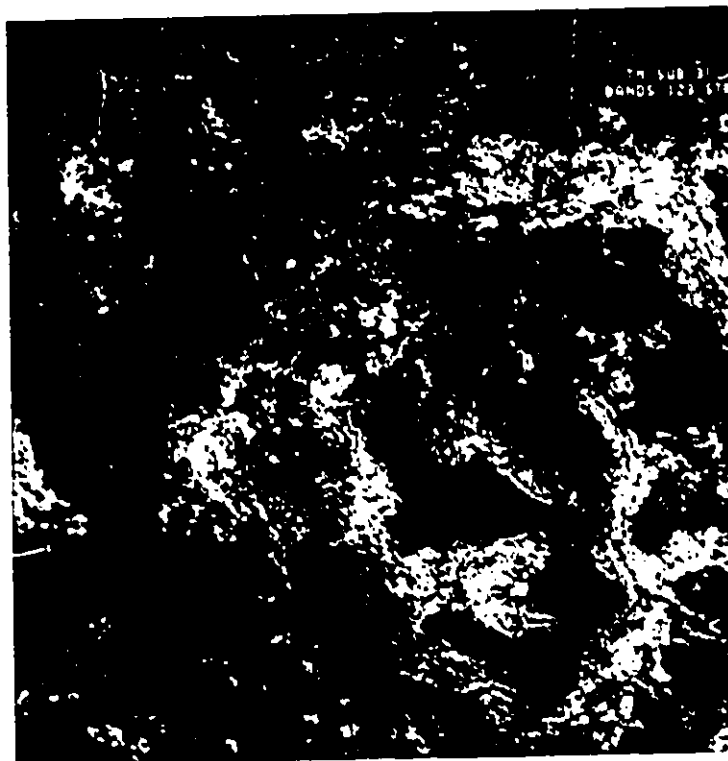


Fig. 55. Scène 3 - LANDSAT TM, composé coloré des bandes 1, 2 et 3 rehaussées

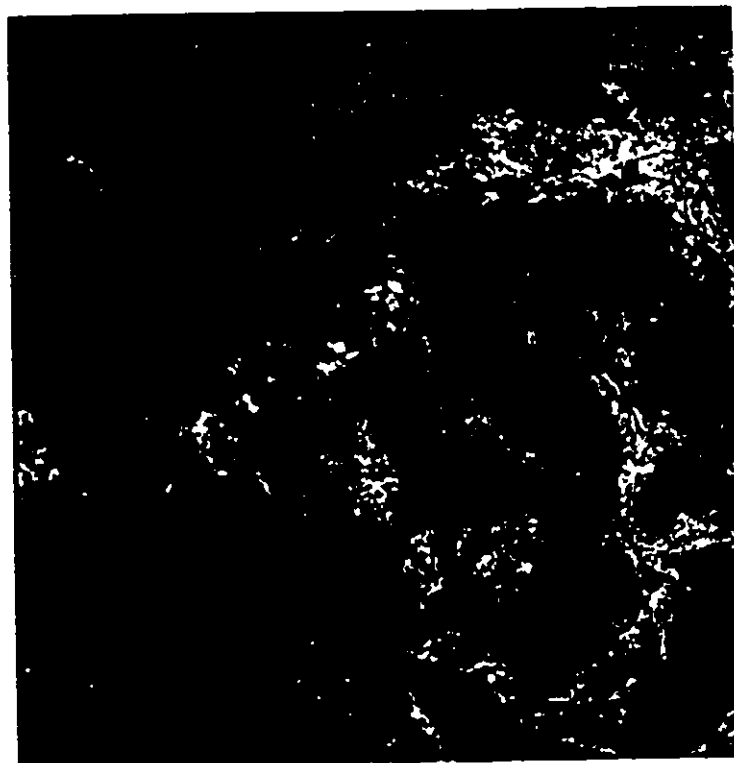


Fig. 56. Scène 3 - LANDSAT TM, composé coloré des bandes 2, 3 et 4 rehaussées

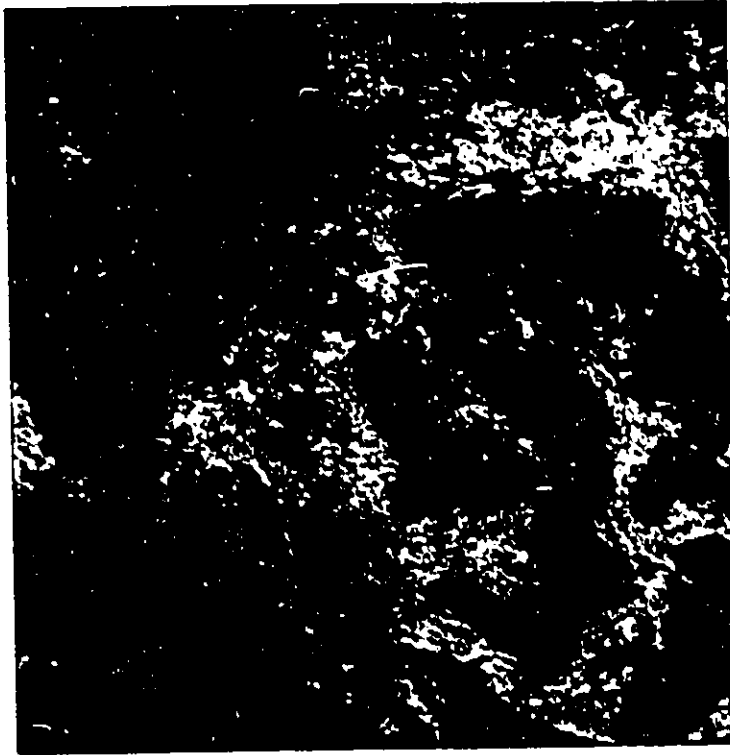


Fig. 57. Scène 3 - LANDSAT TM, composé coloré des bandes 3, 4 et 5 rehaussées

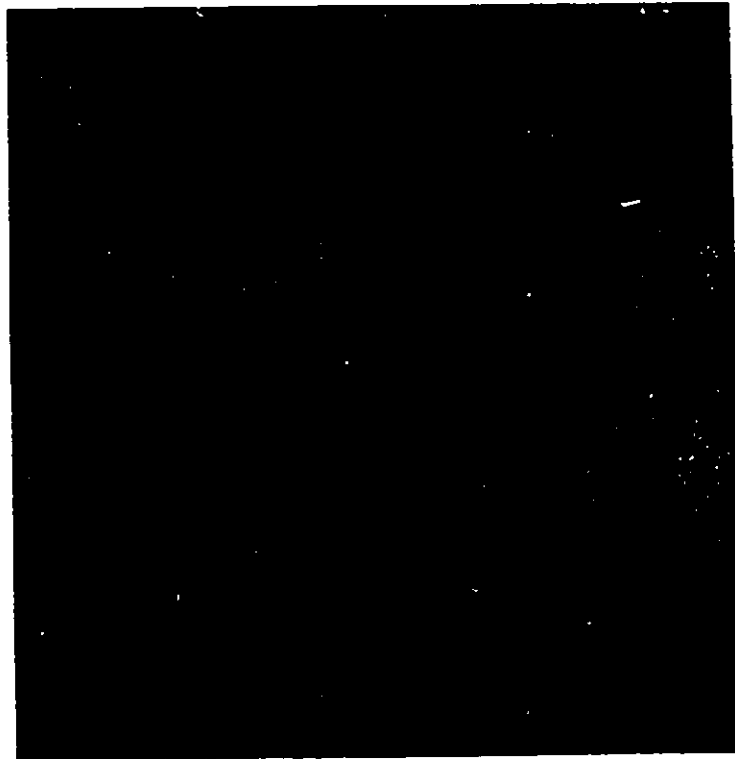


Fig. 58. Scène 3 - LANDSAT TM, classification non supervisée



Fig. 59. Scène 3 - LANDSAT TM, carte de végétation faite à partir d'un tranchement d'histogramme

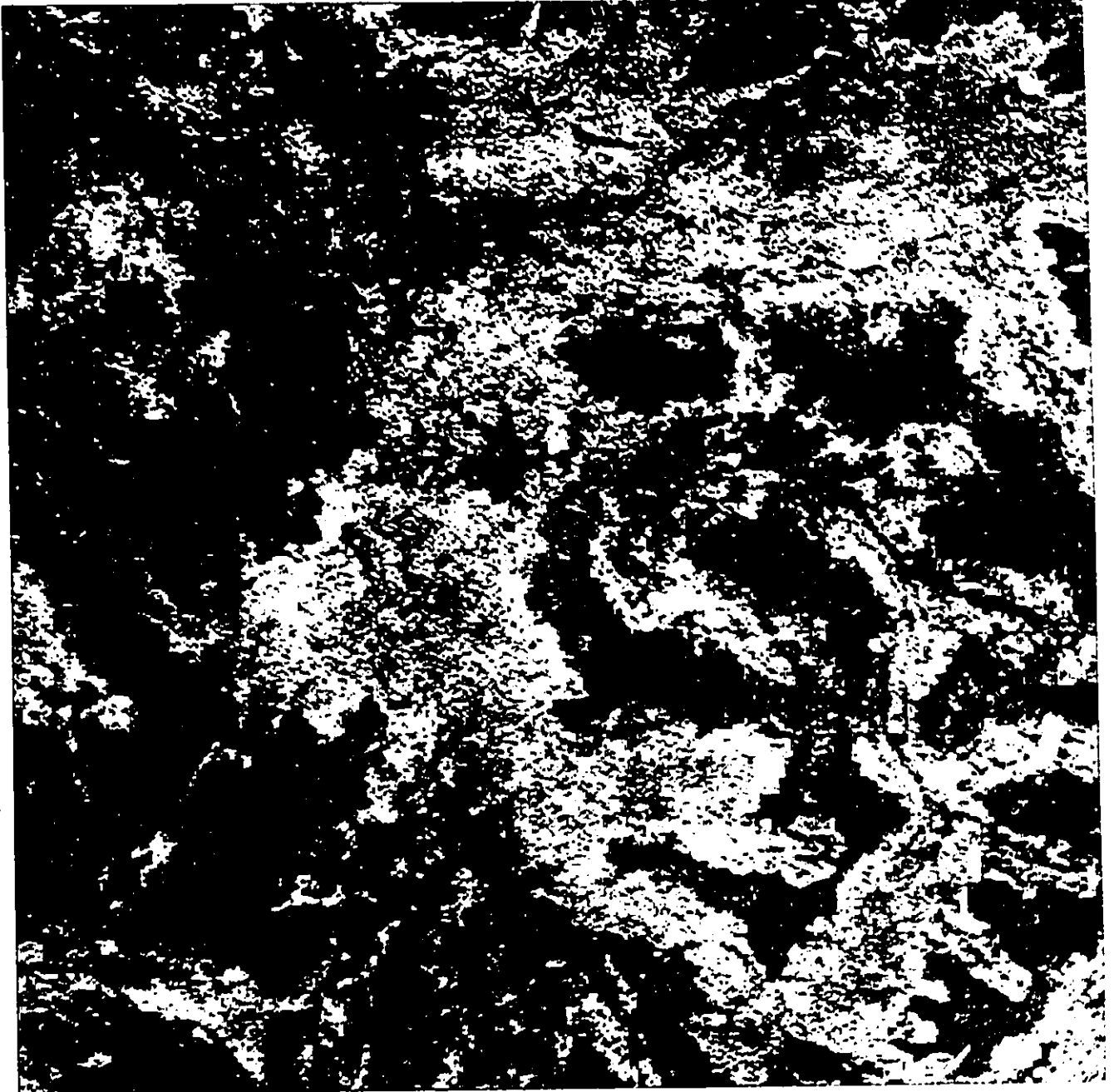


Fig. 60. Scène 3 - LANDSAT TM, composante principale des bandes 2-3-4-7

TM SUB 3

PCE BANDS 2,3,4,7

Sommaire d'évaluation

Tel que discuté dans chaque scène, certaines méthodes sont plus appropriées que d'autres pour extraire l'information requise. En général, pour LANDSAT MSS, la bande 7 est utile pour différencier les types de sols (sableux et rougeâtres), les rapports 7/5 et $7-5/7+5$ nous permettent d'isoler les sols nus des sols recouverts de végétation, ce qui facilite la délimitation du réseau, et finalement avec le composé des bandes 4-5-7 il est possible d'analyser la grande majorité des classes, sauf là où la végétation se trouve sur des sols rouges puisqu'il est difficile de la différencier des sols.

LANDSAT TM, pour sa part, présente la bande 7 comme étant la meilleure entre les bandes simples pour identifier toutes les classes, le rapport de bande 4/3 est le plus utile et démontre la différence entre la végétation et les sols nus, le composé 2-3-4 présente les classes en général et le composé 3-4-5 qui présente également les classes en général, permet de mieux distinguer la végétation des sols rouges puisqu'elle est représentée en vert.

Plusieurs autres méthodes sont présentées et chacune d'elles démontre son utilité. Selon leurs besoins, les gestionnaires pourront choisir les méthodes adéquates et interpréter ces images sur le site avec un système d'analyse, ou à partir d'images déjà traitées ailleurs d'après l'exemple de ce travail.

La figure 61 présente un sommaire des résultats d'interprétation à partir des différentes méthodes utilisées.

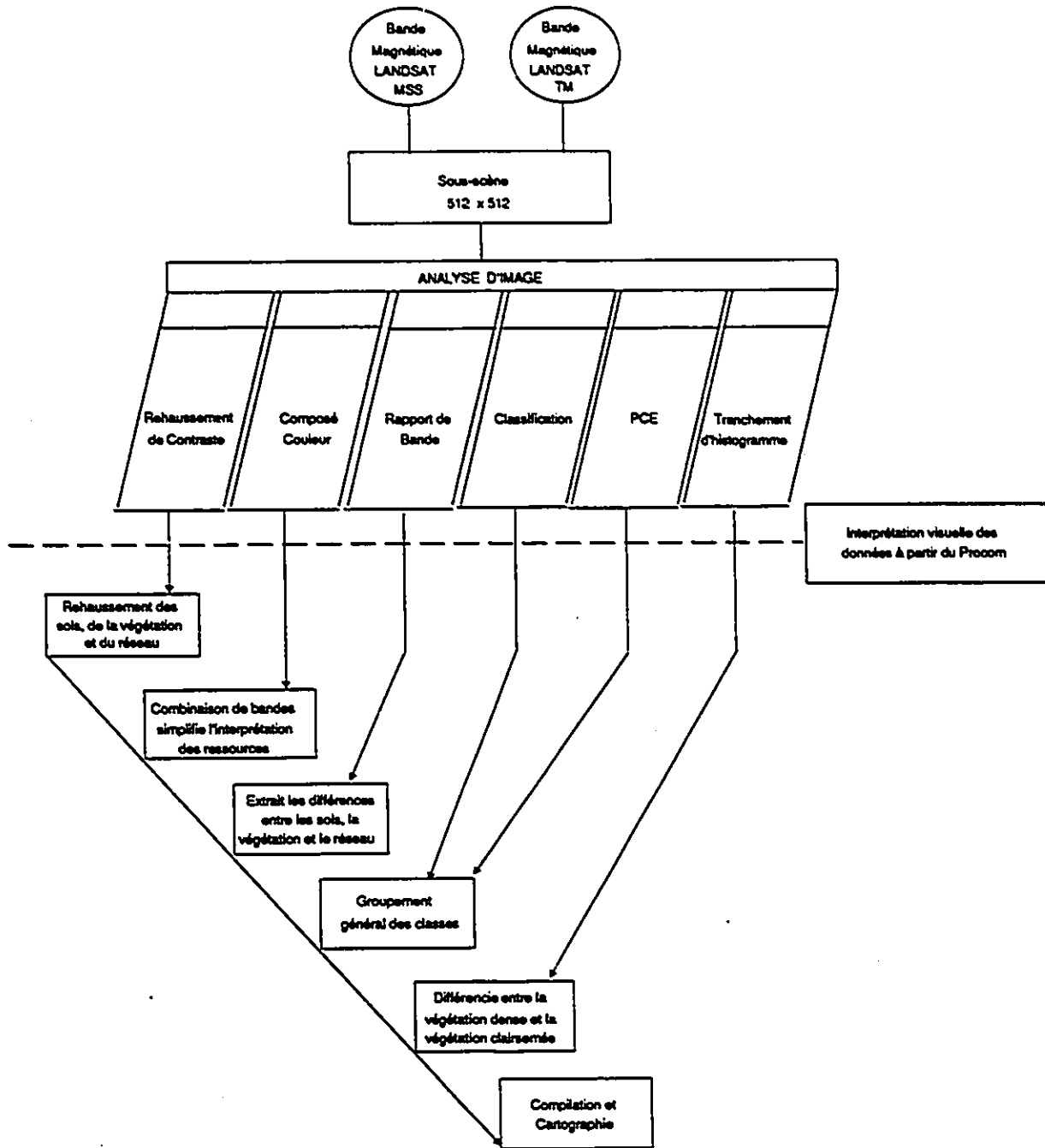


Fig. 61 Sommaire des résultats d'interprétation à partir des méthodes utilisées

CONCLUSION

Comme nous le savons, en pays du Tiers Monde, la population des pays arides et semi-arides a un besoin urgent d'eau pour subvenir à ses besoins. Les sécheresses affectent la population, la production agricole et l'élevage. Il en résulte plusieurs problèmes. La migration des populations vers le sud cause des problèmes d'aménagement, des problèmes sanitaires, des problèmes de ressources naturelles et des problèmes d'économie. La croissance de la population a poussé les pratiques agricoles à l'extrémité et, par conséquent, les sols dépourvus d'engrais réduisent le rendement agricole qui est déjà affecté par la sécheresse. Un déboisement excessif autour des villages pour le bois de chauffage et pour la cuisson, occasionne l'assèchement des sols et par conséquent, moins d'humidité dans l'atmosphère, donc moins de pluie. Les sécheresses ont réduit considérablement les espaces de pâturages d'où il en résulte un déséquilibre entre les bovins, les animaux non domestiqués et la végétation. Le bétail provoque un piétinement des sols asséchés tout en les stérilisant, et fait même parfois la mise à sec des points d'eau.

Avec une demande croissante et des ressources limitées, le Tiers Monde fait face à des questions complexes et urgentes de gestion. Le présent travail a tenté de démontrer comment la télédétection pourrait contribuer envers la gestion des ressources tout en appliquant cette dernière comme outil disponible sur les lieux de travail. Plusieurs méthodes sont déjà bien connues pour

l'analyse des ressources, mais combien d'entre elles ont produit l'information nécessaire et requise de façon rapide, économique et assez simple pour être utilisée par le peuple même des nations du Tiers Monde. Il est évident que des outils tels que la télédétection sont des pré-requis pour l'amélioration de la gestion des ressources des nations en voie de développement. Leurs problèmes de gestion sont dus en partie, au manque d'information disponible. La télédétection est le seul outil qui permet de recueillir des données spatiales de façon régulière et constante et qui sont disponibles à tout utilisateur. Il faut savoir transmettre nos connaissances du potentiel de contribution de la télédétection pour la gestion des ressources de ces régions. Elle doit être appliquée comme outil de travail simple et efficace si l'on veut que ces nations acceptent et utilisent cette technologie.

Nous avons mentionné dans la revue de la documentation, que le transfert de la technologie peut se faire si l'on reconnaît les problèmes, les besoins et les contraintes de ces pays et par conséquent, les méthodes utilisées en pays industrialisés ne peuvent être transférées comme telles. Pour le transfert d'une technologie appropriée et acceptable par le Tiers Monde, on doit se demander quel est le minimum de technologie nécessaire pour rencontrer les besoins.

Nous avons présenté deux niveaux de technologie, soit un système d'analyse d'images qui sert à analyser les données pour en extraire l'information requise, soit un Procom qui permet d'interpréter les images déjà traitées par un système d'analyse. A partir du système d'analyse, nous avons procédé à différentes méthodologies les plus appropriées pour l'analyse des ressources en pays arides et semi-arides. Des rehaussements de contrastes, des rapports de bandes, des composés colorés, des composantes principales et des classifications ont été faits. Par la suite, nous avons procédé à une interprétation visuelle détaillée. On

utilise un autre genre de technologie moins sophistiquée qui permet d'interpréter chaque méthode utilisée pour démontrer l'utilité de chacune.

Par cette technique, nous présentons à l'utilisateur différentes technologies où, selon son contexte géographique, social et politique, il pourra choisir un outil de travail approprié et acceptable à son milieu. La figure 61 présente un modèle conceptuel flexible où l'utilisateur peut suivre différents cheminements selon son contexte et ses besoins.

Toute une gamme de méthodologie est présentée en détail pour démontrer le potentiel de la télédétection, seule source disponible de données spatiales continues. Quels sont les besoins de données sophistiquées et quel est le contexte dans lequel le travail sera accompli? Voilà les questions que nous nous sommes posées tout au long du travail. En présentant différentes technologies et méthodologies pratiques, simples et efficaces, les nations du Tiers Monde peuvent peut-être commencer à mieux reconnaître le potentiel de la télédétection appliquée à leurs propres besoins.

Tout projet de transfert de technologie, surtout pour nations en voie de développement, doit avant tout prendre en considération les besoins et le contexte géographique, social et politique. La technologie sophistiquée ne peut être adaptée en milieu où les connaissances et les fonds disponibles sont limités. C'est pourquoi le défi des années '90 est de trouver des méthodes appropriées, simples et acceptables par les pays du Tiers Monde pour assurer une meilleure gestion et atteindre un niveau stable et adéquat des ressources nécessaires à la survie.

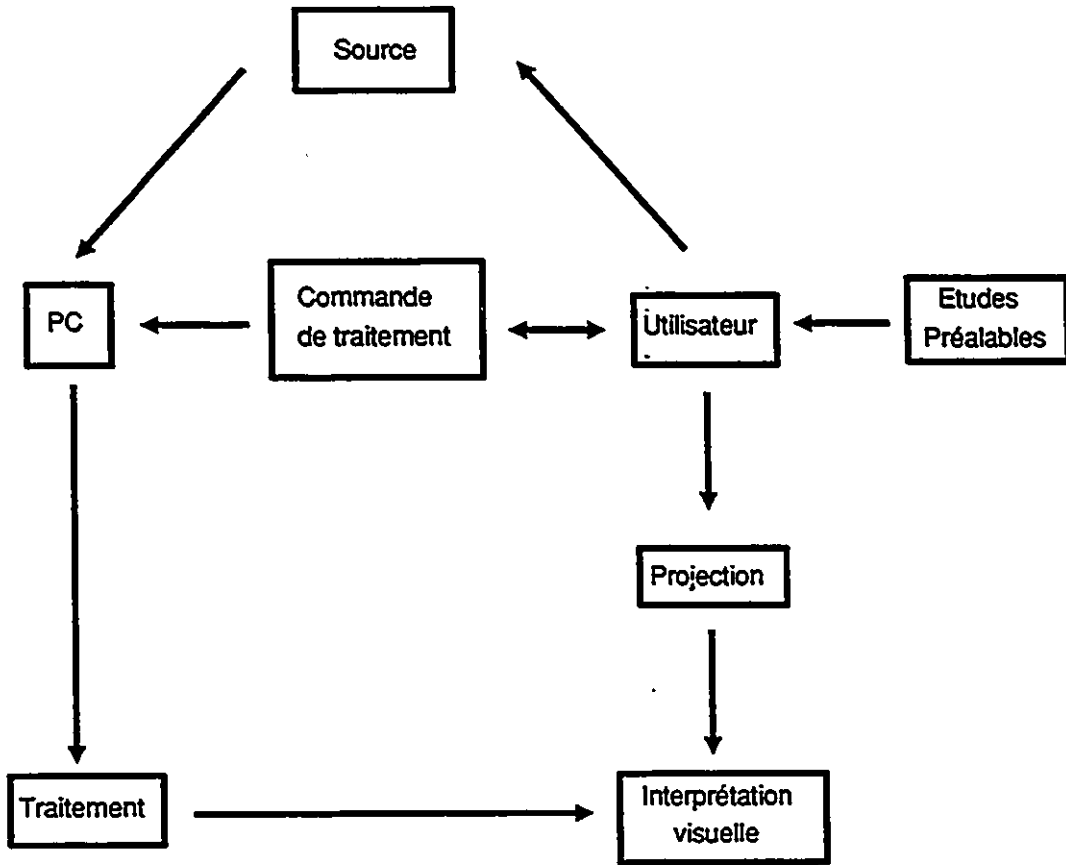


Fig. 62 Modèle conceptuel flexible pour le transfert de la technologie

BIBLIOGRAPHIE

- Bale, J.B. (ED), et al. Remote Sensing Applications to Resource Management Problems in the Sahel. Contract No. Aid AFR-C-1058, Agency For International Development Department of State Washington, D.C.: Washington, D.C.: Earth Satellite Corporation, 1974.
- Bruce, B., Henein, J.C. C.C.R.S. International Technology Transfer Activity. Report to the United Nation Committee, 1985: pp. 4.
- Commission Nationale de Lutte Contre les Effets de la Sécheresse, Pland'Action 1985-1986 de Lutte Contre les Effets de la Sécheresse à Burkina Fâso. Ouagadougou, 1985: pp. 5.
- Conitz, M. et al. LANDSAT Data for Development. Regional Remote Sensing Facility, Kenya: pp. 6.
- Doucet, L. Hunger on the Desert's Edge. MACLEANS, February 1984: 39.
- Lee, N.F. Application of Digitally Processed Landsat Images to Environmental and Resource Monitoring Studies. Environmental Engineering, Master of Engineering Project, University of Western Ontario, May 1980. London: University of Western Ontario, 1980: pp. 113.
- Marshall, W. La gestion de l'eau: répartir une ressource limitée. Développement, Agence canadienne de développement international (ACDI), Hull, (Automne 1985): pp. 7.
- Philipson, W.R. Problem-Solving With Remote Sensing. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 46, No. 10, October 1980, 1980: 1335-1338.
- Prevost, C. Application de la Teledetection par Satellite a l'Inventaire des Ressources en eau au Sahel. These de Maitrise, Universite Laval, Quebec, 1984: pp. 194.
- . Integration des Donnees Landsat Dans l'Estimation des Volumes Ds'eau Retenus et Utilises. C.R.T.O., 1981: pp. 20.
- . Lac Volta, Correction des Cartes de Base et Estimation des Volumes d'eau par Imagerie Satellite. C.R.T.O., 1981: pp. 23.

Rochon, G., Bonn, F. et al. An Experimental technology-transfer Project in Remote Sensing Between Canada and West Africa. 14th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Ann Arbor, Michigan, April 1980: 1803-1813

Singhroy, V., and Bruce, B. Coastal Zone Mapping of Guyana Using Digital LANDSAT Data. 17th International Symposium on Remote Sensing, Ann Arbor, Michigan, May 1983: 659-680.

Taylor, Susan. De l'eau propre pour tous. Développement, Agence de Développement International (ACDI), Hull, Automne 1985: 10-14

Tétrault, M. Le Sahel en lutte contre la sécheresse. Développement, Agence de Développement International (ACDI), Hull, Automne 1985: 19-21

White, G.F. Social and Economic Aspects of Natural Resources; The Special Problems of the Underdeveloped Countries with Respect to Natural Resources. A Report to the Committee on Natural Resources (Washington: NAS-NRC, 1962), 1962: 28-33.

.
.
:

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

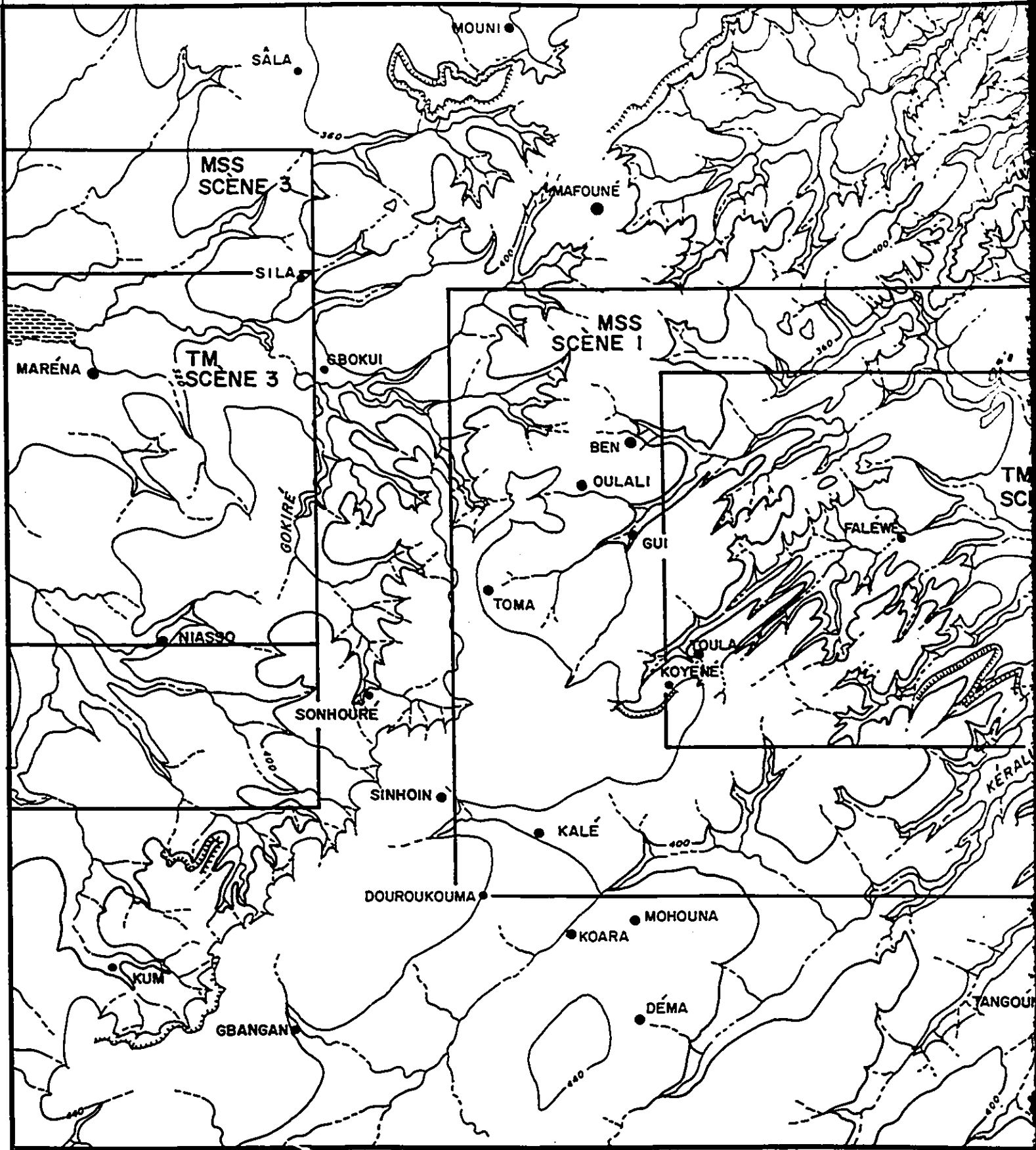
- Alfoldi, T.T. Introduction to Digital Images and Digital Analysis Techniques. Ottawa: Canada Centre For Remote Sensing, Energy, Mines and Resources, 1978: pp. 10.
- Bardinet, C., J.-M. Monget, and et al. Land Use Mapping in the Sahel Zone Using Landsat. Remote Sensing Applications in Developing Countries. England: The Remote Sensing Society University of Aston: 85-90.
- Bradley, D.J. Improving the Health Consequences of Tropical Water Resource Development. London: Water Resources, Institution of Civil Engineers, 1980: 177-183.
- Brivio, P.A., Gregoire, J.M., et al. Use of Landsat Imagery to Detect Hydrologic Indicators of the Niger River Regime. ITC Journal 1984-3, Vol. 3, 1984: 191-199.
- Burton, I., and Kates, R.W. Readings in Resource Management and Conservation. Chicago and London: University of Chicago Press, 1965: 279-594.
- Choubert, G., et al Faure-Muret. Notice Explicative: Carte Tectonique Internationale de l'Afrique (1/5,000,000). France: Unesco, 1969: pp. 54.
- Clark, L., and Stoner, R.F. Regional Groundwater Development in Temperate and Arid Zones. London: Water Resources, Institution of Civil Engineers, 1980: 85-92.
- Collingwood, R.W. Ecology and Water Resource Developments in Tropical Countries. London: Water Resources, Institution of Civil Engineers, 1980: 185-191.
- Cooley, M.E., and Turner, T.M. Applications of ERTS Products in Range and Water Management Problems, Sahelian Zone, Mali, Upper Volta, and Niger. Project Report (IR)WA-4, U.S. Geological Survey, 1975: pp. 68.
- Crook, L.T., and Bock, P. et al. Remote Sensing for Water Resources and Hydrology. Washington, D.C.: National Academy Press, 1980: pp. 28.
- D'Hoore, J.L. La Carte Des Sols D'Afrique au 1/5,000,000. Commission de Cooperation Technique en Afrique, Publication No. 93, Projet Conjoint No. 11, Lagos, Imprimerie Ceuterick, Belgique, 1964: pp. 209.

- De Sousa, A.R., et al. The Underdevelopment and Modernization of the Third World. Resource Paper No. 28, Association of American Geographers, 1974: pp. 94.
- Dunne, T., and Leopold, L.D. Water in Environmental Planning. San Francisco: W.H. Freeman and Company, 1978: 493-586.
- Girard, C.M. et Girard, M.C. Applications de la Teledetection a l'Etude de la Biosphere. Collection "Sciences Agronomiques", Masson et cie. Paris, 1975: pp. 186.
- Gray, D.M. Principles of Hydrology. Canadian National Committee for the International Hydrological Decade 13 Section, 1970.
- Heath, R.C. Ground-Water Hydrology. United States Geological Survey Water-Supply; Paper 2220. Virginia, 1982: pp. 83.
- Heath, R.C. and Trainer, F.W. Introduction to Ground-Water Hydrology. New York: John Wiley and Sons, Inc: 1-189.
- Jayal, N.D. Destruction of Water Resources - The Most Critical Ecological Crisis of East Asia. Ambio Journal, Vol. XIV, No. 2, 1985. Oxford: Pergamon Press Ltd., 1985: 95-98
- Johannsen, C.J. (Ed) Remote Sensing for Resource Management. Iowa: Soil Conservation Society of America: C1,22,23,25.
- Jorgensen, S.E. Water Quality and Environmental Impact Model of the Upper Nile Basin. Water Supply and Management, Vol. 4. Great Britain: Pergamon Press Ltd., 1980: 147-153.
- Kihlblom, U. Landsat as an Aid in Consulting Projects in the Middle East and Africa - Some Examples of Applications on VBB/Sweco Projects. International Symposium on Remote Sensing of Environment - Thematic Conference - Remote Sensing of Arid and Semi-Arid Lands, Egypt, January 1982, vol. Michigan: Erim, Ann Arbour, 1982: 785-794.
- Kruck, W. Hydrogeologic Interpretations of Landsat Imagery in Arid Zones of South and West Africa. William T. Pecora Memorial Symposium on Remote Sensing, Satellite Hydrology, Soux Falls, June 1979. Minneapolis: American Water Resources Society, St. Anthony Falls Hydraulic Lab., 1979: 408-415.
- Marlay, R. Environment and Resource Policy in Developing Countries. Natural Resources Forum 3 (1979): 179-186.
- Mohamed, A.R. Hydrology and Desertification Study of Central Sudan. Sudan Symposium and Workshop on Remote Sensing, October 1979, vol. 2. South Dakota: Remote Sensing Institute, South Dakota State University, 1979: 489-519.

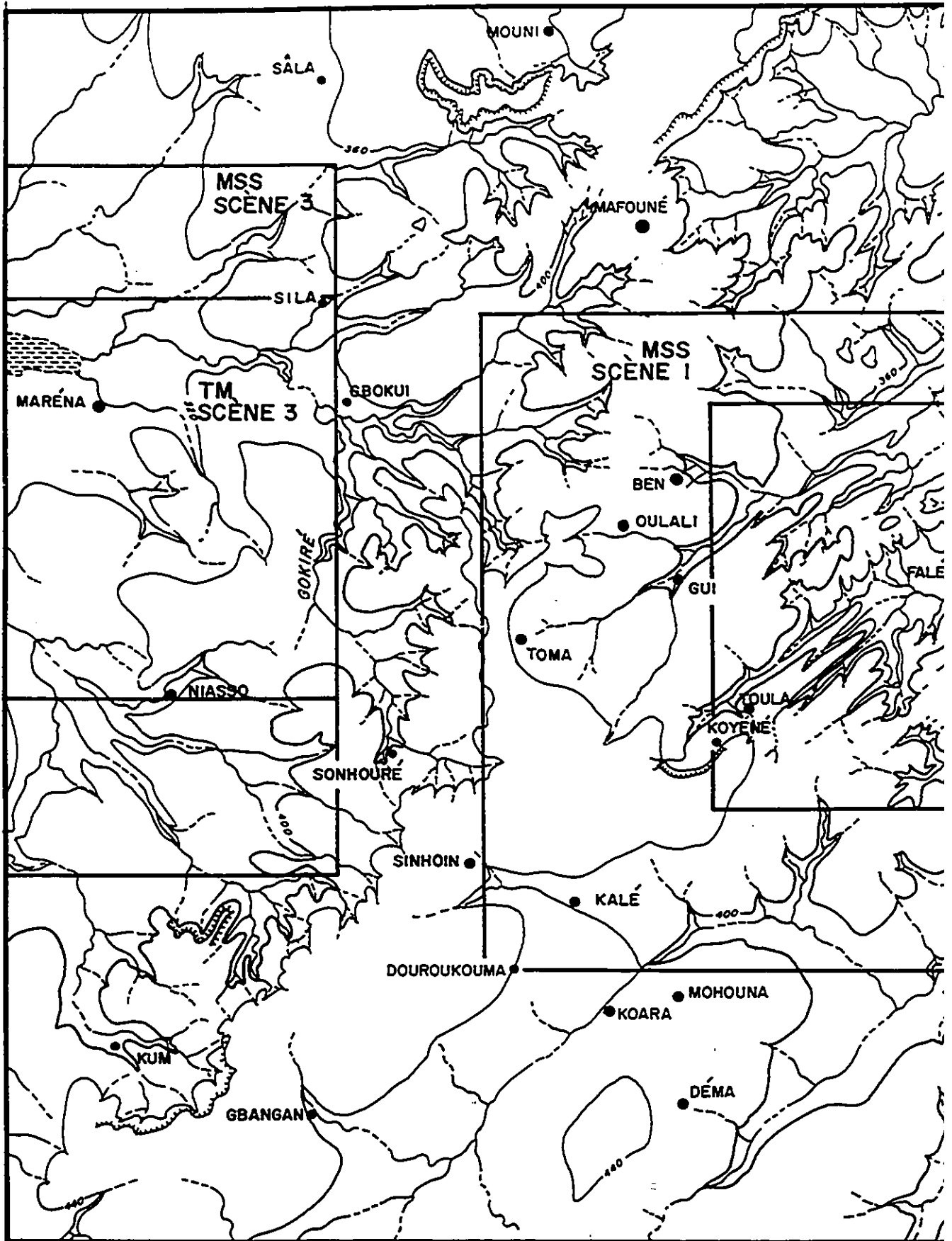
- Ofori-Sarpong, E. Impact of Drought in Ghana and Upper Volta (1970-1977). Climatological Research Paper No. 1. Department of Geography, University of Ghana. Legon: University of Ghana, 1980: pp. 23.
- Osac, N.O. Remote Sensing Application to the Inventory of Surface Waters in the Upper Region of Ghana - Using L. C.R.T.O., 1981: pp. 24.
- Ouedraogo, J.P. et Baldy, C. Etude Agrometeorologique de la Region de Bobo-Dioulasso. Programme des Nations Unies Pour le Developpement, Renforcement du Service Agrometeorologique, O.M.M. Projet RAF 74/079, 1976: pp. 68.
- Palausi, G. Contribution a l'etude Geologique et Hydrogeologique des Formations Primaires au Soudan Meridional et en Haute-Volta. Haut-Commissariat General A. Dakar, Bulletin du Service de Geologie et de Prospection Miniere, No. 33, Imprimerie Louis-Jean, 1959: pp. 209.
- Prevost, C., et Rochon, G. Application de la Teledetection par Satellite a l'Inventaire des Ressources en eau au Sahel. Be Symposium Canadien de Teledetection, Departement de Photogrammetrie, Unviersite Laval, Quebec, 1984: 519-529.
- Prevost, C., et Yergeau, M. Lac Volta et Son Bassin Caracteristiques Hydrographiques et Qualite des Eaux par Imagerie Satellite, 1981. C.R.T.O., 1981: pp. 15.
- Radwan, M.M. and Suharto, P. Integrated Digital Techniques for Development of a Geographic Information System in Indonesia. ITC Journal, Vol. 3, 1984, 1984: 200-205.
- Ringrose, S.M., Large, P., and et al. Application of Landsat Imagery to Natural Resources Management in Sierra Leone, West Africa. 7th Canadian Symposium on Remote Sensing, Manitoba, September, 1981: 178-188.
- Rochon, G. Un Systeme Automatise d'Analyse des Caracteristiques des Lacs par Satellite. 4e Symposium Canadien de Teledetection, Quebec, Mai 1977. Centre de Recherche Sur l'eau, University Laval, Quebec, 1977: 313-319.
- Schiller, E.J. (Ed) et al. Water Supply and Sanitation in Developing Countries. Michigan: Ann Arbor Science, 1982.
- Thiruvengadachari, S. Satellite Sensing of Irrigation Patterns in Semi-arid Areas: An Indian Study. Photogrammetric Engeneering and Remote Sensing, Vol. 47, No. 10, October 1981, American Society of Photogrammetry, 1981: 1493-1497.

- Travaglia, C. Fracture Systems Interpretation From Landsat Imagery for the Crystalline Rock Area of Upper Volta. Water Resources, Development and Management Service; Land and Water Development Division, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 1979: pp. 18.
- Wolf, P.R. Elements of Photogrammetry. New York: McGraw-Hill, 1974: 472-500.
- Zall, L., and O. Russell. Ground Water Exploration Programs in Africa. William T. Pecora Memorial Symposium on Remote Sensing, Satellite Hydrology, Sioux Falls, June 1979: Washington, D.C.: Earth Satellite Corporation. 1979: 416-425.
- Zweig, R. Freshwater Aquaculture in China: Management For Survival. Ambio Journal, Vol. XIV, No. 2, 1985. 1985: 66-74.

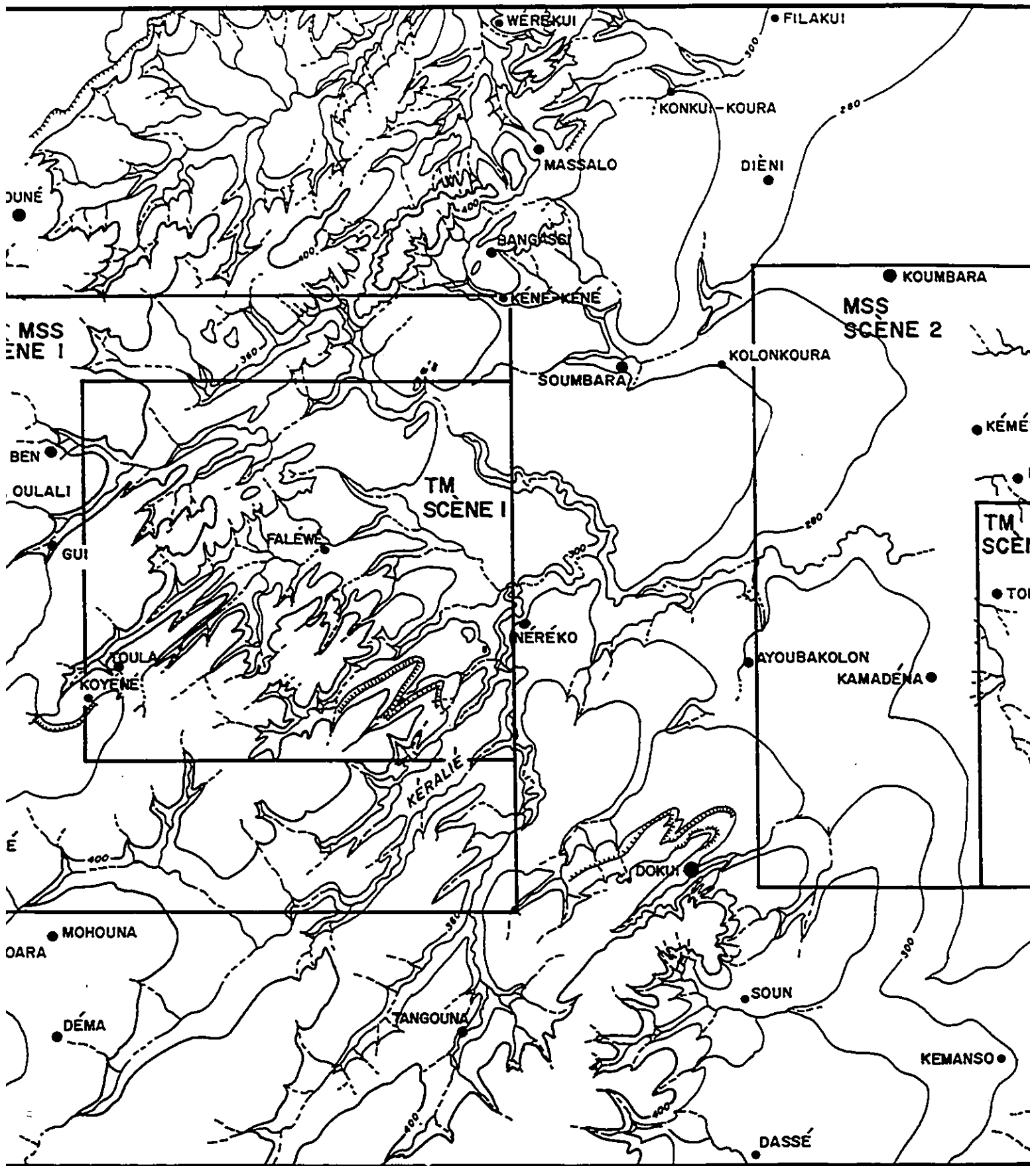
APPENDICE



CARTE TOPOGR
L'AFRIQUE DE

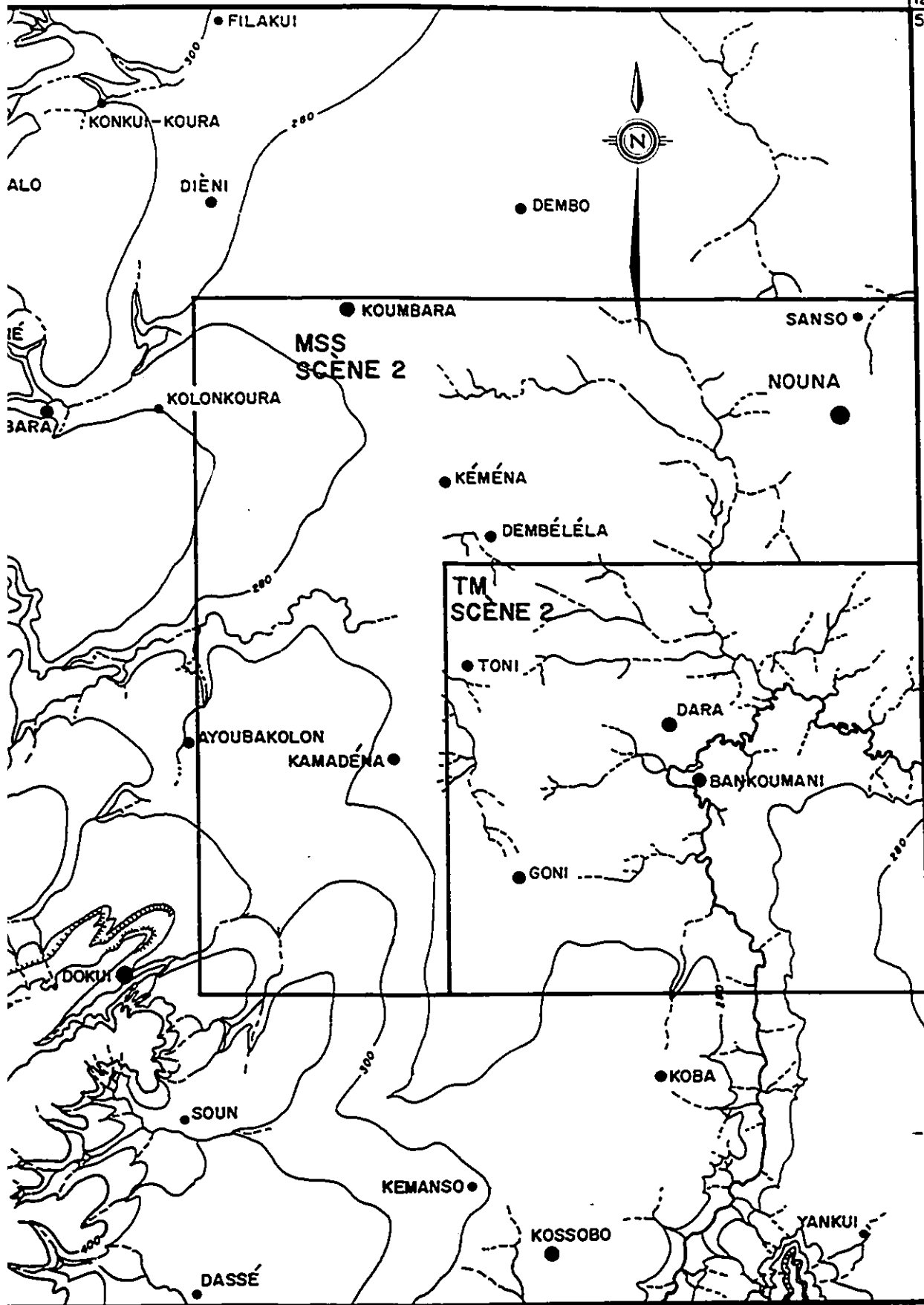


CARTE
L'AFRIC



CARTE TOPOGRAPHIQUE DE
L'AFRIQUE DE L'OUEST

3°50' Ouest 12° 51' N

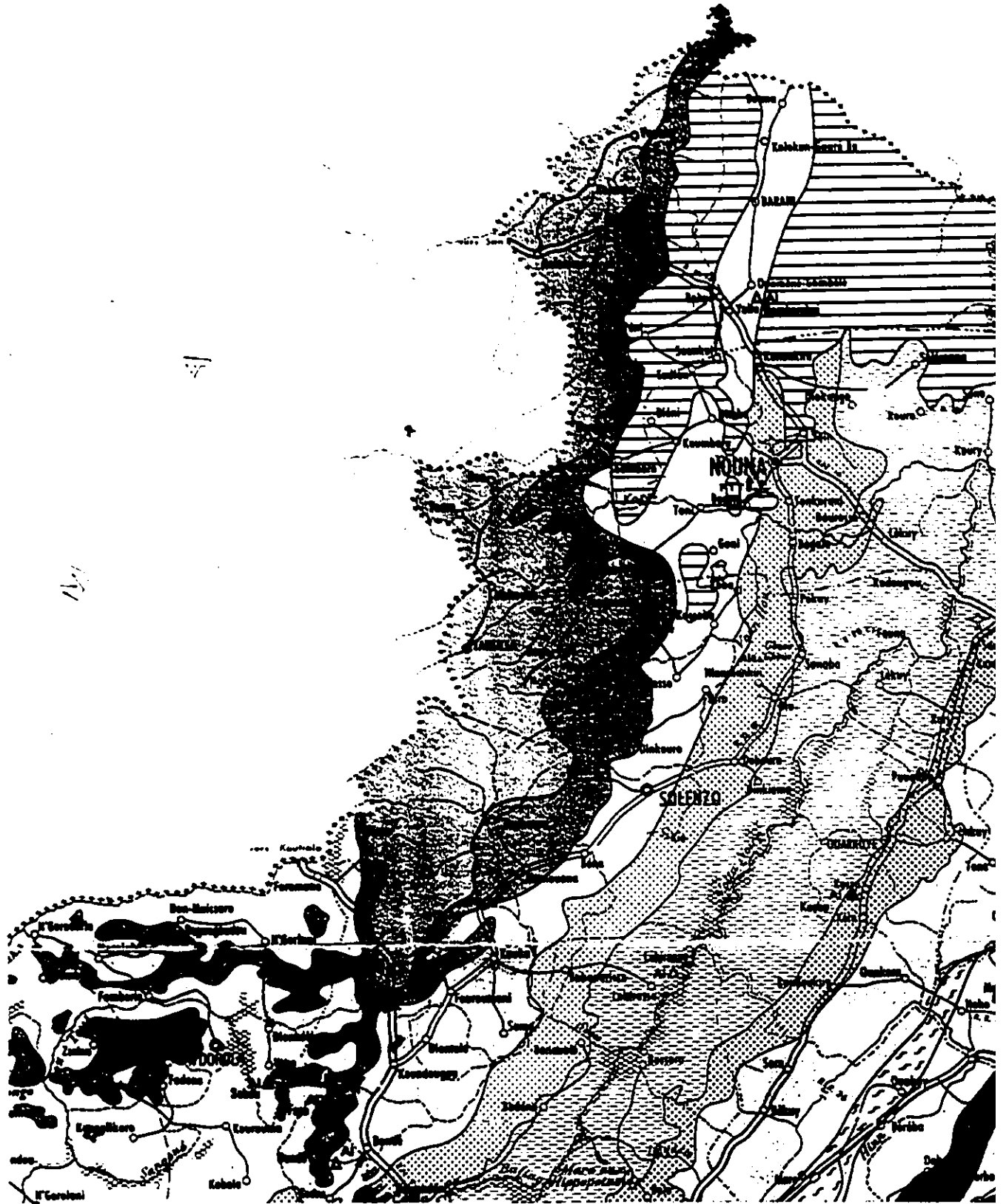


JE DE
JEST

ÉCHELLE
1:200 000

CARTE No.1

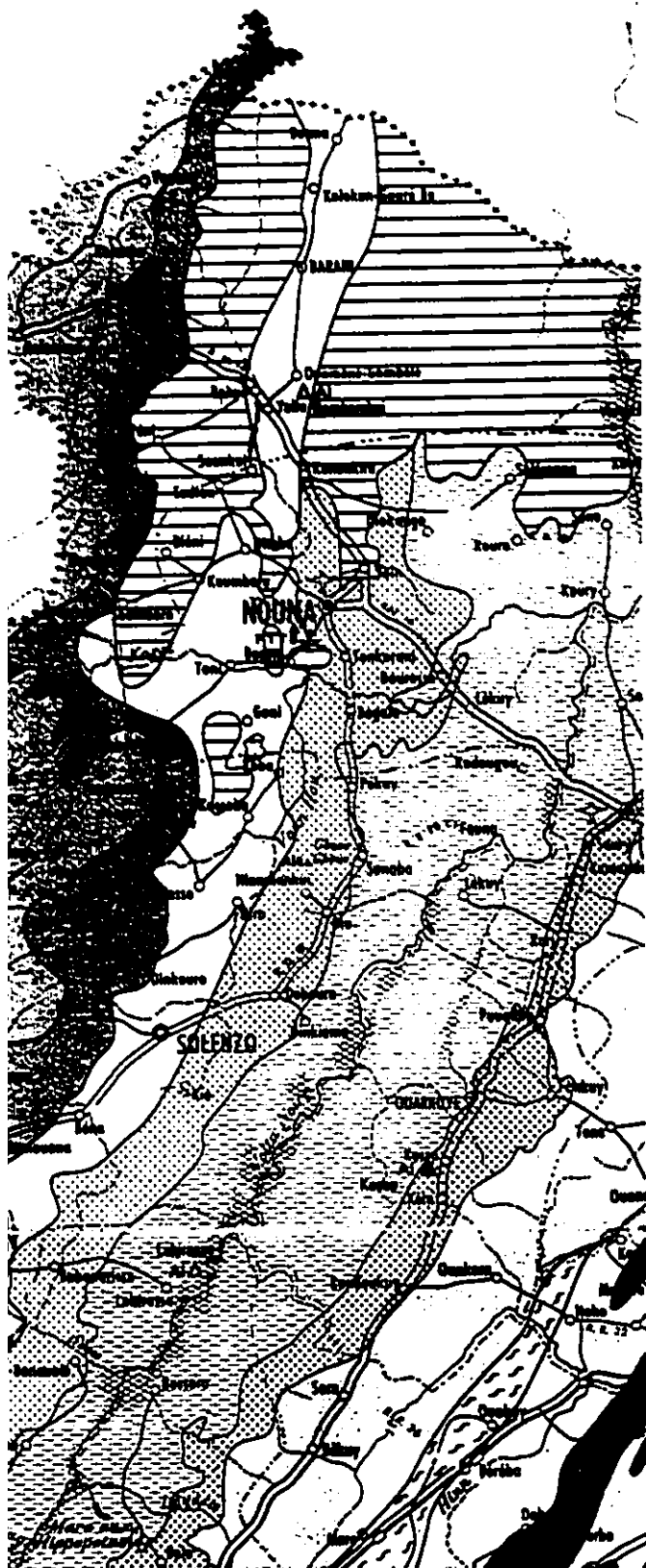
12° 26' N



CARTE GÉO
RÉPUBLIQUE

3°27'10" Ouest

13°35'47" Nord




11°28'37" Nord

CARTE GÉOLOGIQUE DE LA RÉPUBLIQUE DE HAUTE-VOLTA

LÉGENDE

 Continental terminal (Néogène)

PRÉCAMBRIEN A

 Grès de Bandagara

 Grès de Koutiela

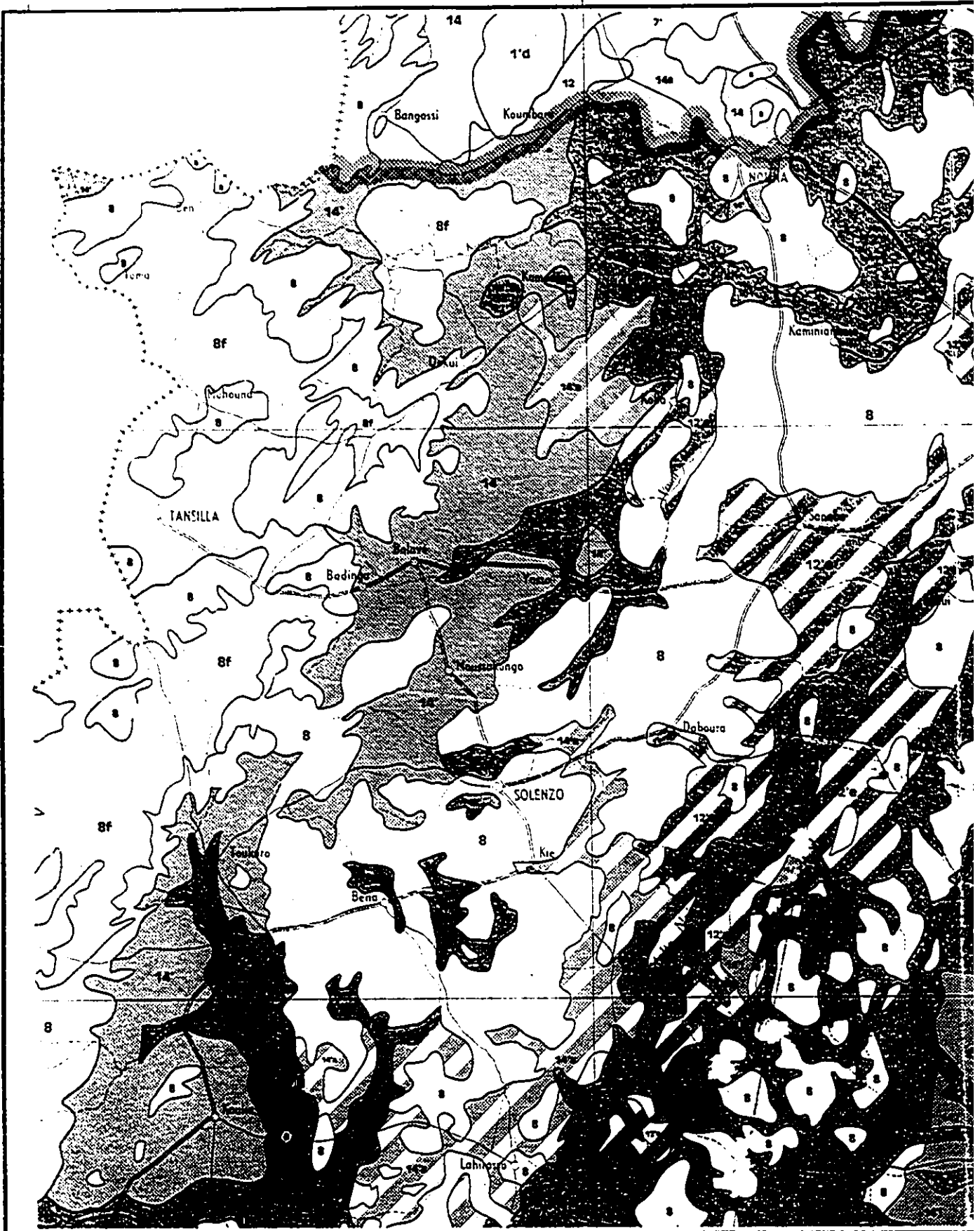
 Schistes de Toun

 Grès roses

DE LA
-VOLTA

ÉCHELLE
1:1 000 000

CARTE No. 2

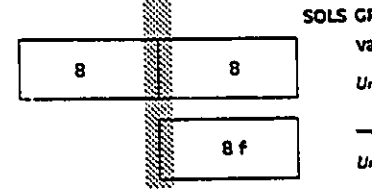


RESSO

4°00' Ouest



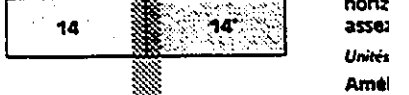
SOLS À PROI



SOLS LIMC

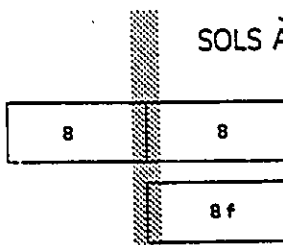


SOLS SABL



RESSOURCES EN SOLS

SOLS À PROFONDEUR FAIBLE (< 40 cm)



SOLS GRAVILLONNAIRES

valeur agricole faible à nulle. Possibilités de reboisement à étudier

Unités pédol. 1, 2, 3, 4, 6, 7

— présence de sols profonds sableux à sablo-argileux

Unité pédol. 5



SOLS LIMONO-ARGILEUX À ARGILO-LIMONEUX EN SURFACE, ARGILEUX EN PROFONDEUR
 drainage interne faible, drainage externe faible ou nul, teneur en bases moyenne, bonne structure superficielle. L'utilisation dépend de la profondeur de la nappe

Unités pédol. 27, 29, 30

Améliorations : contrôle de l'eau, fertilisation chimique, éviter la dégradation de la structure superficielle



SOLS SABLEUX EN SURFACE, ARGILO-SABLEUX EN PROFONDEUR

horizon supérieur massif à cohésion moyenne ou faible, teneur en bases faible, assez désaturés, désaturation souvent croissante en profondeur

Unités pédol. 20, 22

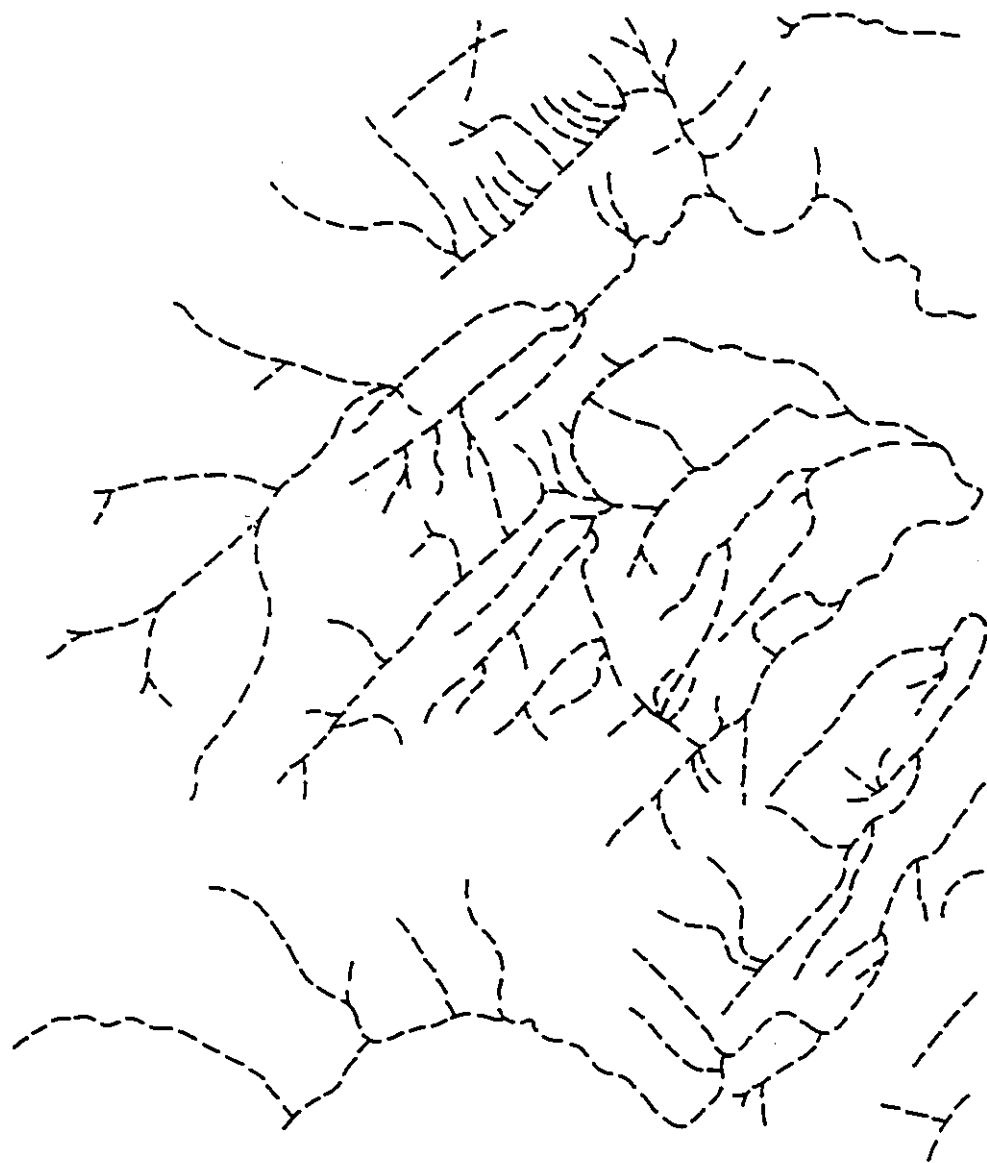
Amélioration de 1^{ère} urgence : travail du sol améliorant l'infiltration et les propriétés physiques ; engrais

2^{ème} urgence : amélioration du stock organique



— présence de sols gravillonnaires à faible valeur agricole

Unités pédol. 21, 23



CARTE DU DRAINAGE
MSS SUB I

ÉCHELLE 1:200 000

CARTE No. 4



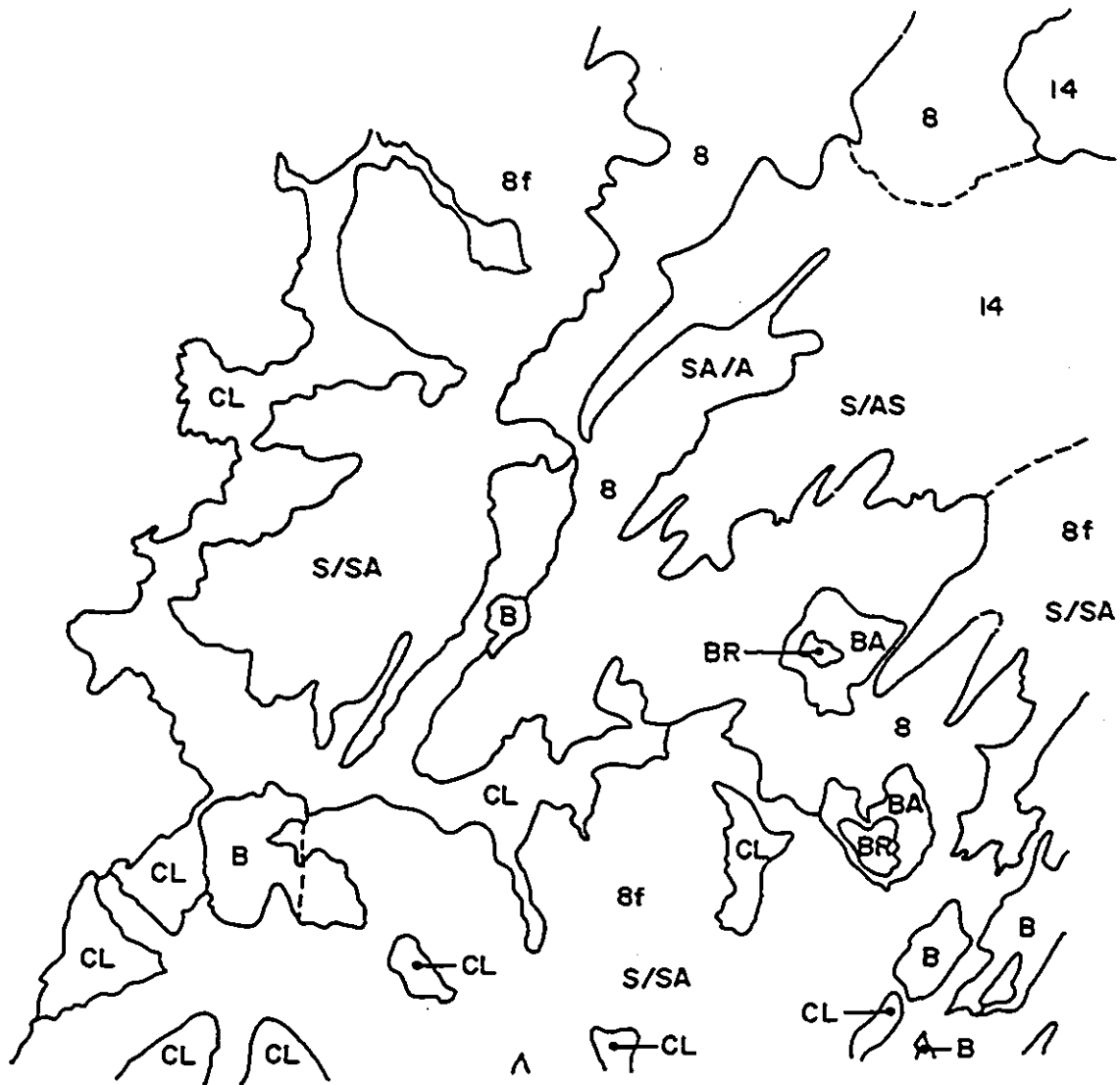
LÉGENDE

- GB GRÈS DE BANDIAGARA
- CL CUIRASSE LATÉRIQUE
- GK GRÈS DE KOUTIALA
- BR BRÛLIS RÉCENT
- BA BRÛLIS ANCIENT
- B BRÛLIS

CARTE GÉOLOGIQUE
MSS SUB I

ÉCHELLE 1:200 000

CARTE No. 5



LÉGENDE

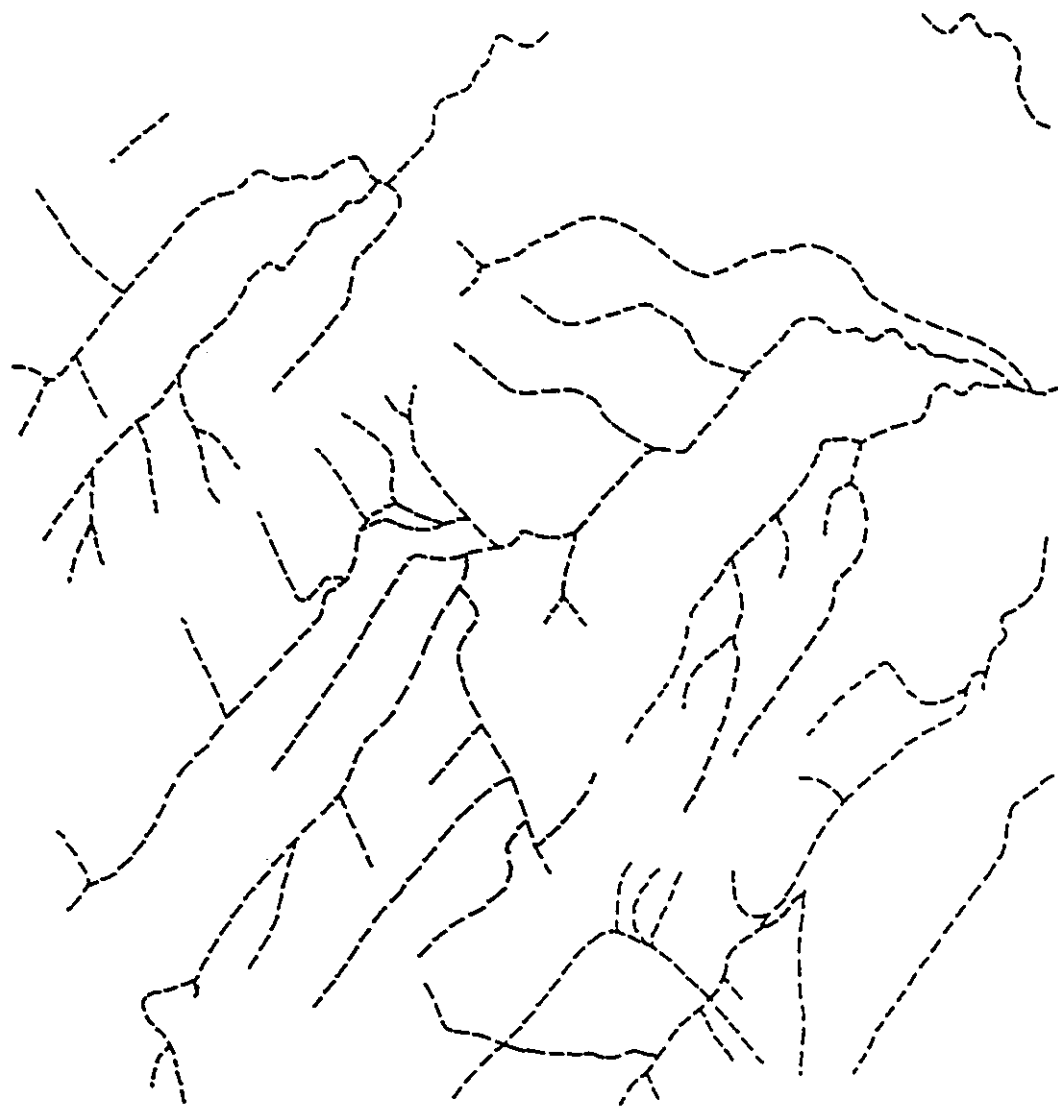
- CL CUIRASSE LATÉRIQUE
- B BRÛLIS
- BR BRÛLIS RÉCENT
- BA BRÛLIS ANCIEN
- 8, 8f, 14 VOIR LÉGENDE DE LA CARTE No. 3

CARTE DES SOLS

MSS SUB I

ÉCHELLE 1:200 000

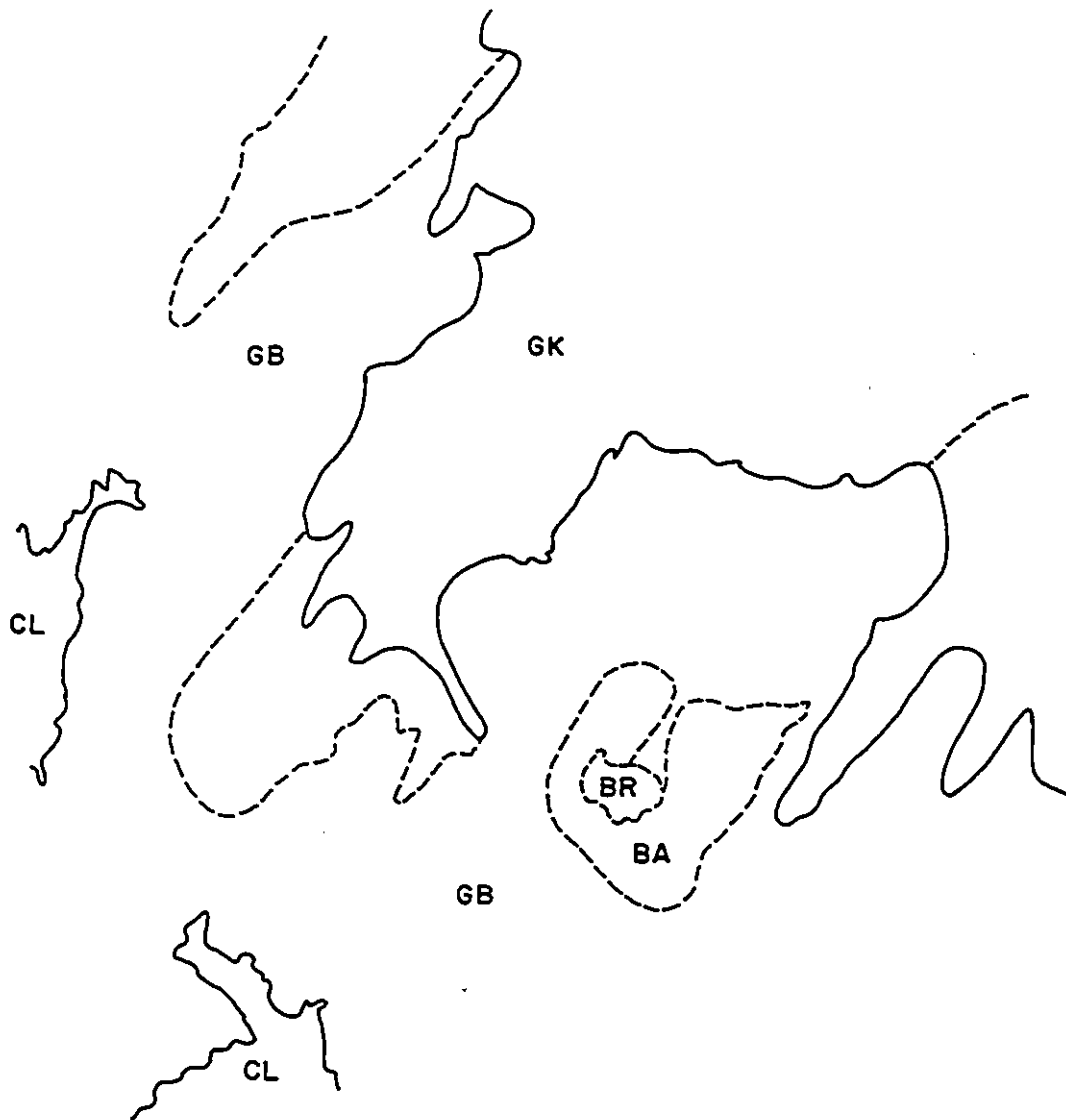
CARTE No. 6



CARTE DU DRAINAGE
TM SUB I

ÉCHELLE 1:100 000

CARTE No. 7



LÉGENDE

- CL CUIRASSE LATÉRIQUE
- GB GRÈS DE BANDIAGARA
- GK GRÈS DE KOUTIALA
- BA BRÛLIS ANCIENT
- BR BRÛLIS RÉCENT

CARTE GÉOLOGIQUE
 TM SUB I

ÉCHELLE 1:100 000

CARTE No. 8



LÉGENDE

- CL CUIRASSE LATÉRIQUE
- BR BRÛLIS RÉCENT
- BA BRÛLIS ANCIENT
- 8,14' VOIR LÉGENDE DE LA CARTE No. 3

CARTE DES SOLS
TM SUB I

ÉCHELLE 1:100 000

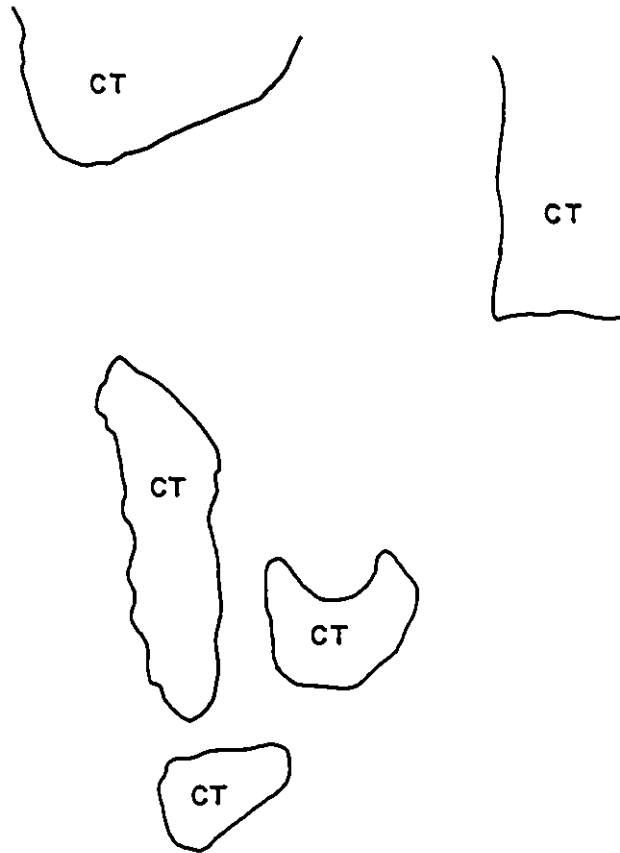
CARTE No. 9



CARTE DU DRAINAGE
MSS SUB 2

ÉCHELLE 1:200 000

CARTE No. 10



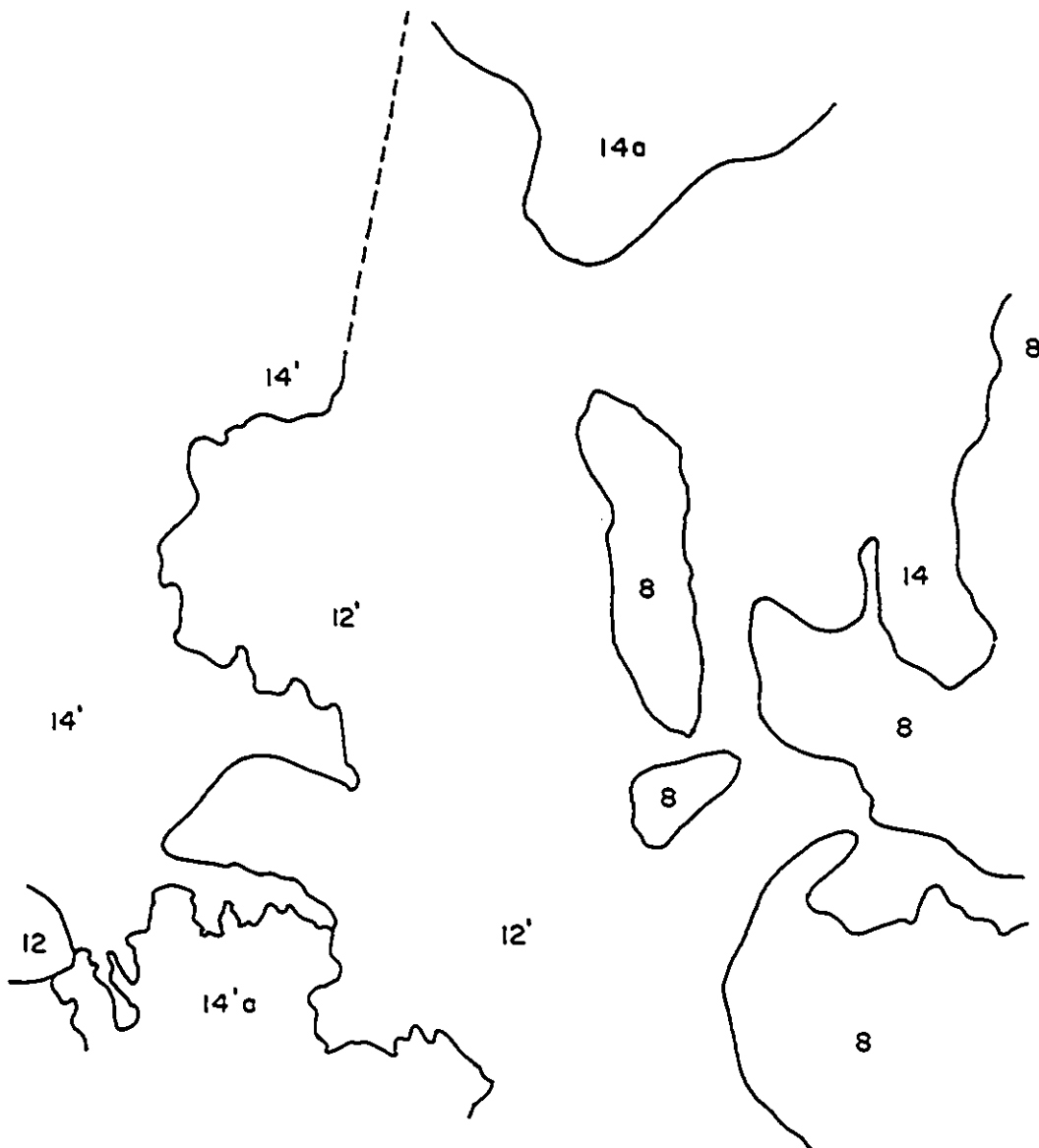
LÉGENDE

CT CONTINENTAL TERMINAL
ST SHISTE DE TOUN

CARTE GÉOLOGIQUE
MSS SUB 2

ÉCHELLE 1:200 000

CARTE No. 11

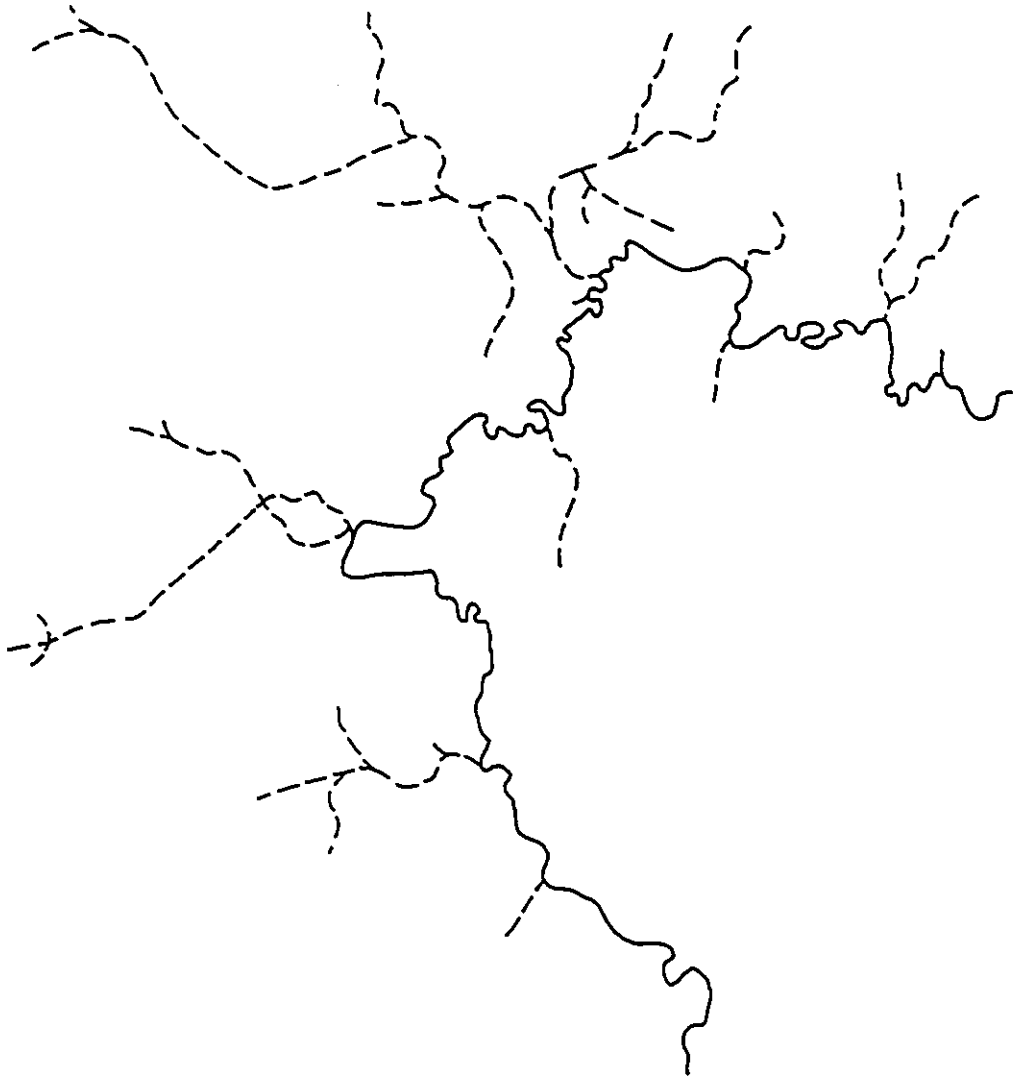


RÉFÉRENCE: VOIR LÉGENDE DE
LA CARTE No. 3

CARTE DES SOLS
MSS SUB 2

ÉCHELLE 1:200 000

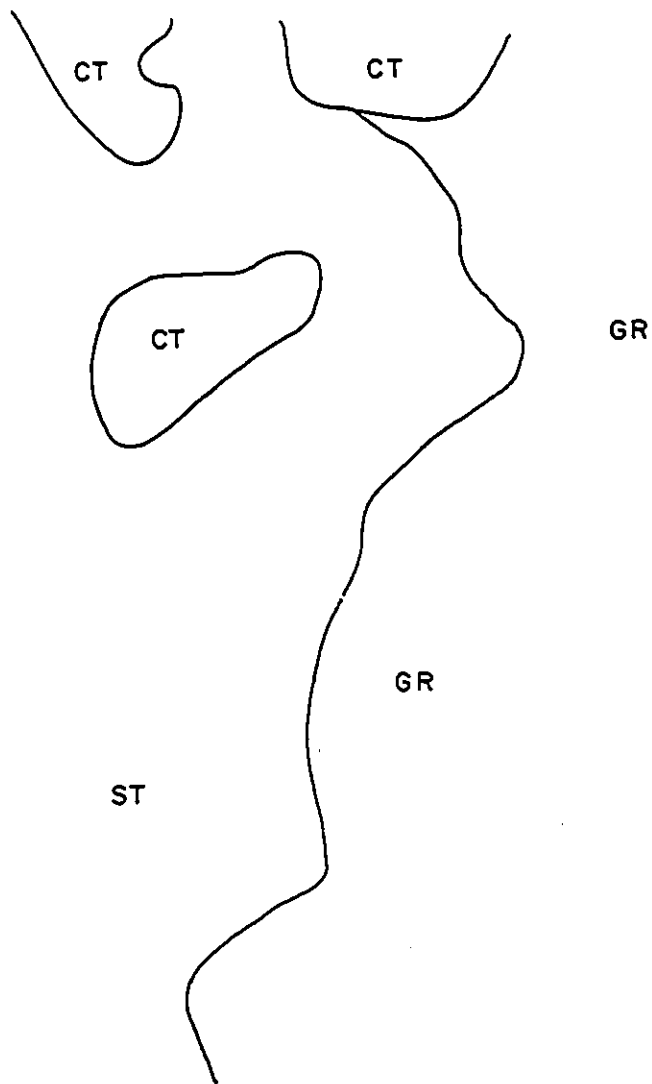
CARTE No. 12



CARTE DU DRAINAGE
TM SUB 2

ÉCHELLE 1:100 000

CARTE No. 13



LÉGENDE

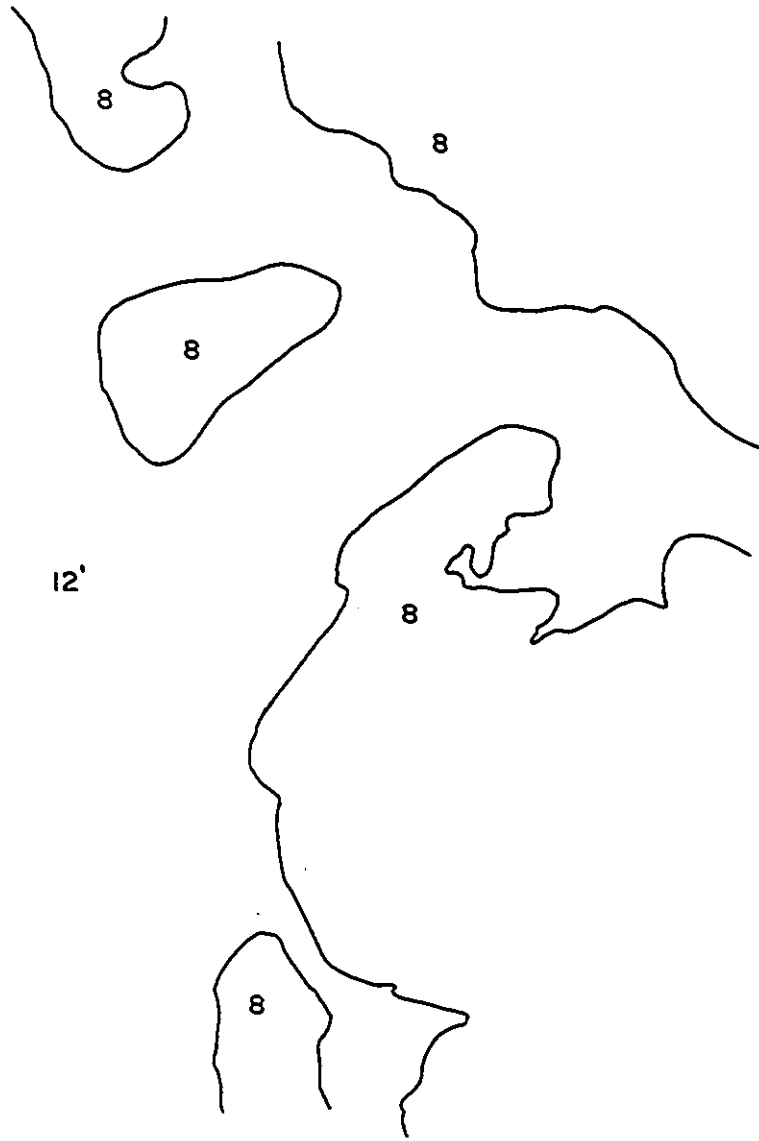
- ST SCHISTES DE TOUN
- GR GRÈS ROSES
- CT CONTINENTAL TERMINAL

CARTE GÉOLOGIQUE

TM SUB 2

ÉCHELLE 1:100 000

CARTE No. 14



LÉGENDE

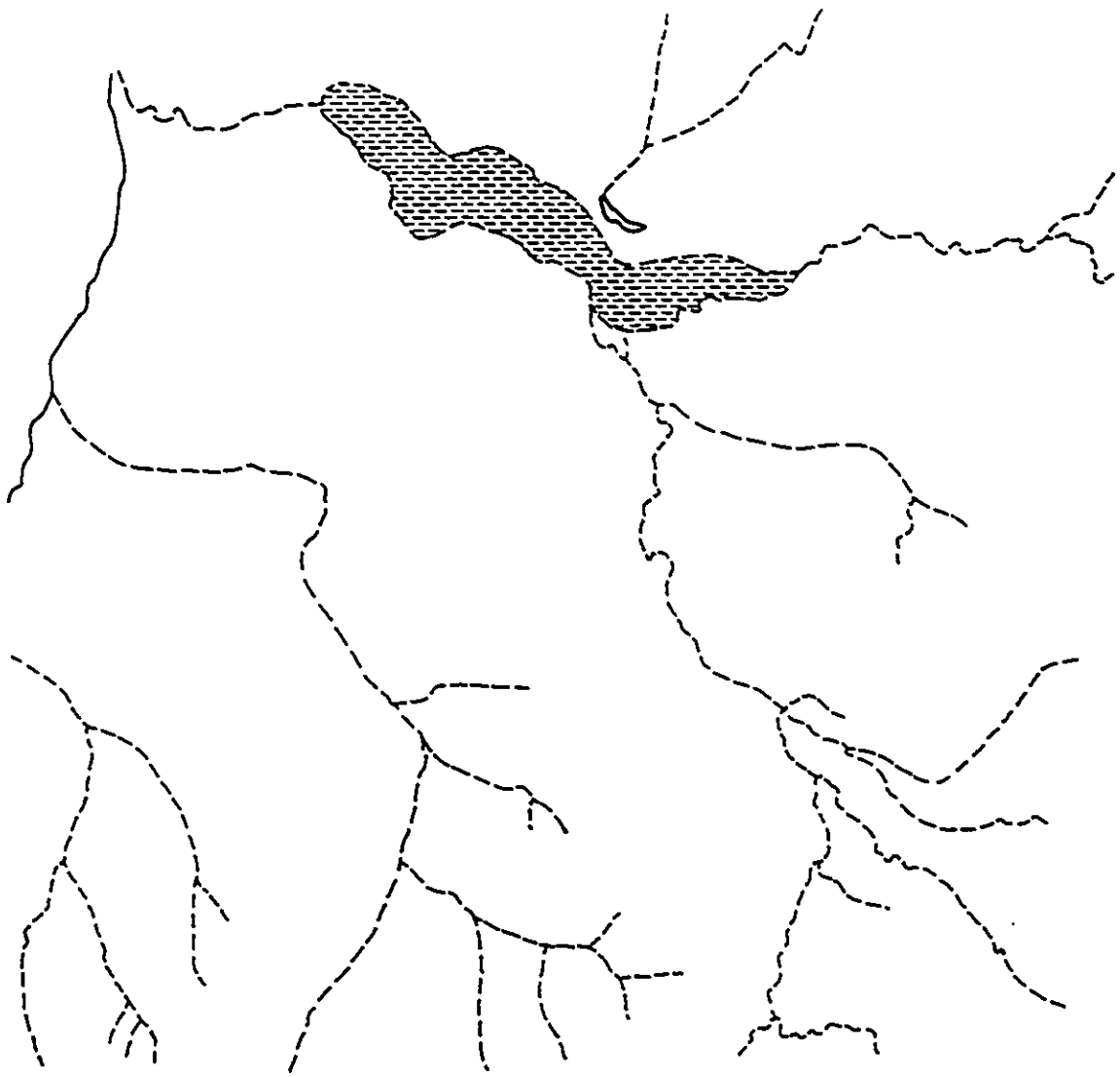
8,12' VOIR LÉGENDE DE LA CARTE No. 3

CARTE DES SOLS

TM SUB 2

ÉCHELLE 1:100 000

CARTE No. 15



CARTE DU DRAINAGE
MSS SUB 3

ÉCHELLE 1:200 000

CARTE No. 16



LÉGENDE

CL CUIRASSE LATÉRIQUE
 8,8f,12',14' VOIR LÉGENDE DE LA CARTE No. 3

CARTE DES SOLS

MSS SUB 3

ÉCHELLE 1:200 000

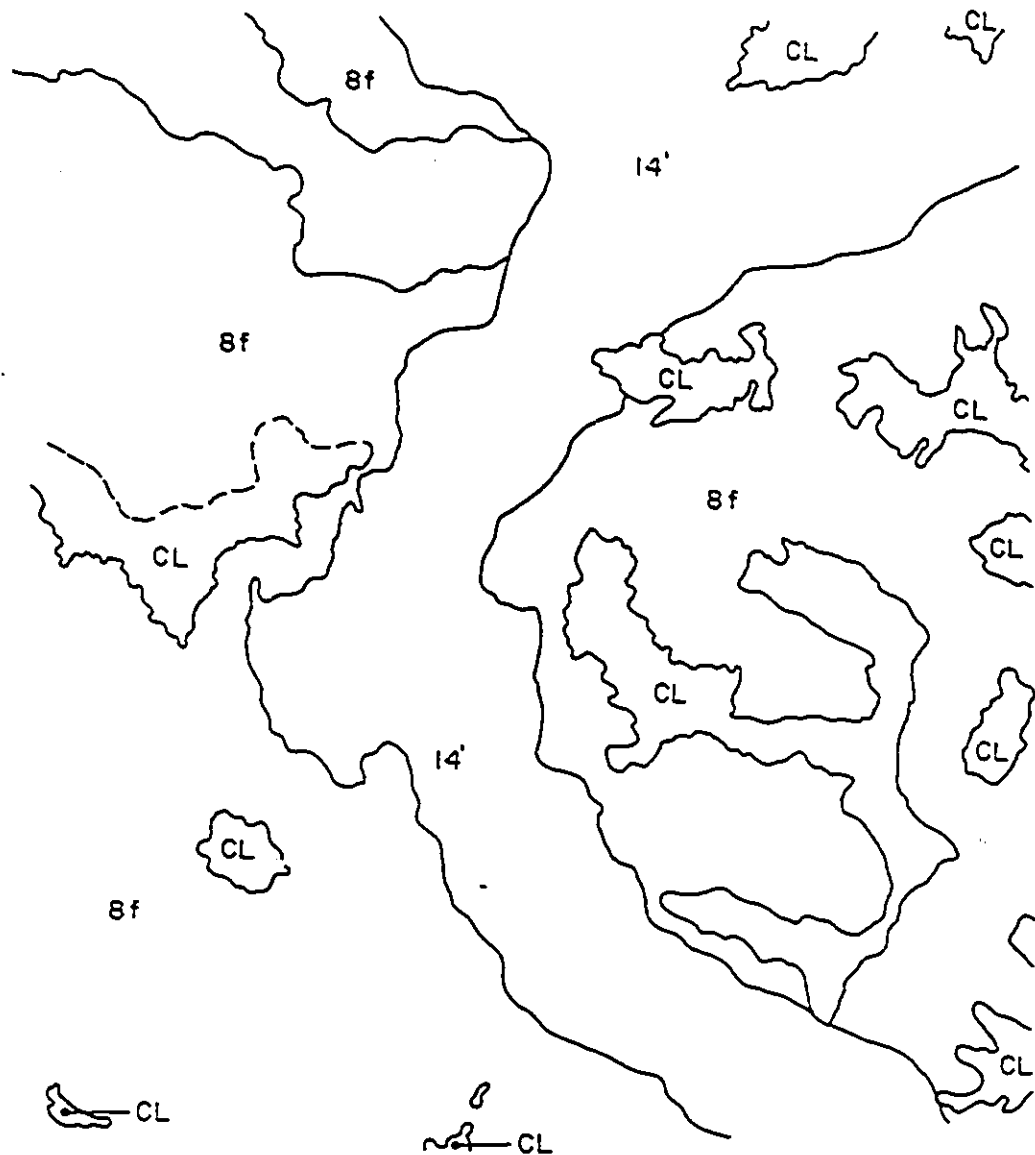
CARTE No.17



CARTE DU DRAINAGE
TM SUB 3

ÉCHELLE 1:100 000

CARTE No. 18



LÉGENDE

- CL CUIRASSE LATÉRIQUE
- 8f,14 VOIR LÉGENDE DE LA CARTE No. 3

CARTE DES SOLS

TM SUB 3

ÉCHELLE 1:100 000

CARTE No. 19