

**RECHERCHE DU SOL ET DE LA  
TELEDETECTION A KAYA,  
BURKINA FASO**

**Oscar van Dam  
mai 1993**

ISRIC LIBRARY

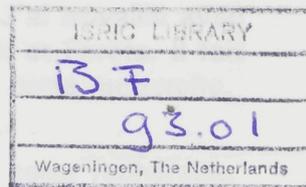
BF - 1993.01

Wageningen  
The Netherlands

**ment et Gestion  
ce Sylvo-Pastoral au Sahel**

élieppe de l'Université Agronomique Wageningen Pays-Bas  
arsité de Ouagadougou Burkina Faso

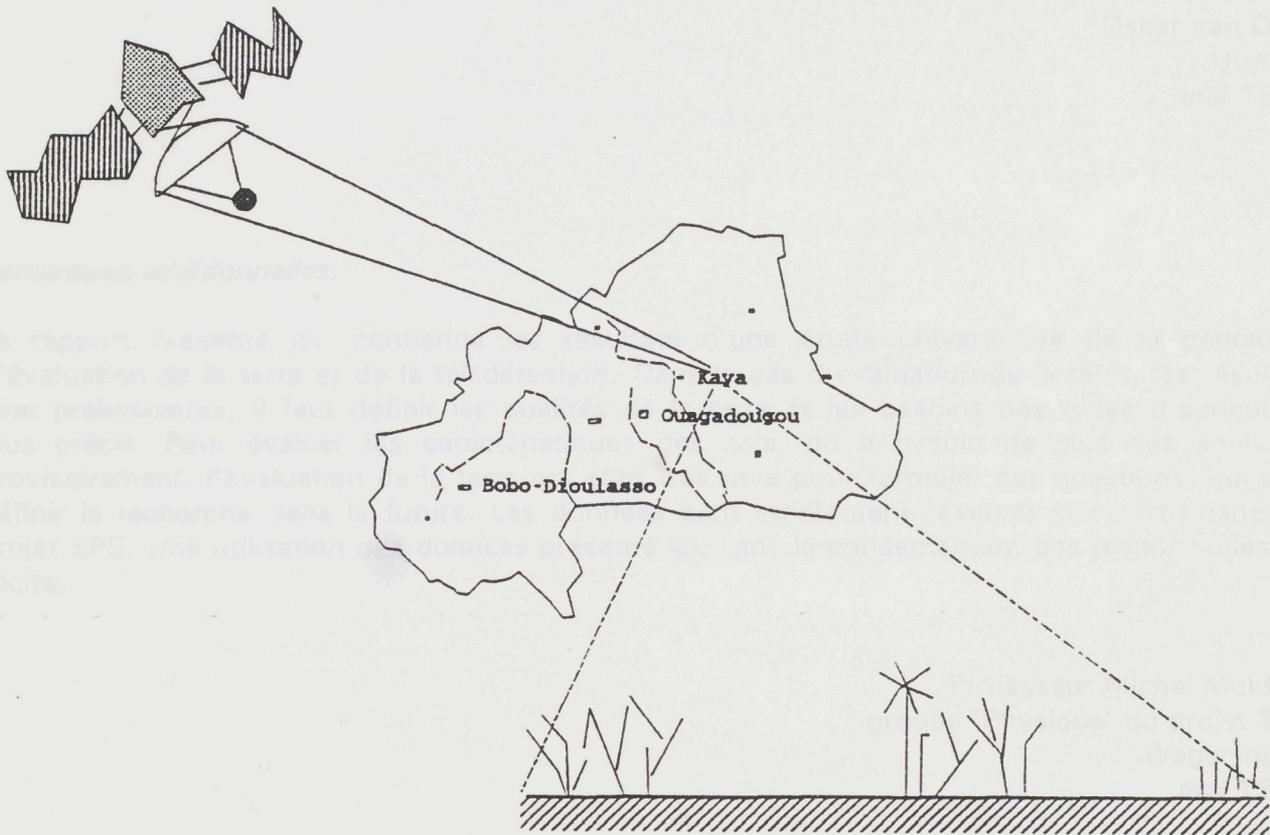
Dans le cadre de mes études en géographie physique à l'Université de Utrecht, j'ai fait un stage à Kaya, Burkina Faso pour 4 mois et demi (juillet - novembre 1993). J'ai fait cette recherche à l'Université Agronomique de Wageningen à l'Institut Sahélien de Ouagadougou.



# RECHERCHE DU SOL ET DE LA TELEDETECTION A KAYA (BURKINA FASO).

## Une recherche vers la dégradation du sol.

Je voudrais remercier Adamo Salomoni pour son accueil et son aide précieuse pour l'assistance dans le terrain et pour la collaboration. Merci à Oscar van Dam pour l'assistance à l'office de l'Antenne Sahélienne. Merci à l'Université de Wageningen pour l'assistance et l'office de l'Antenne Sahélienne. Merci à l'Université de Wageningen pour l'assistance et l'office de l'Antenne Sahélienne. Merci à l'Université de Wageningen pour l'assistance et l'office de l'Antenne Sahélienne.



Antenne Sahélienne  
Université Agronomique de Wageningen  
Université de Ouagadougou

Oscar van Dam,  
mai 1993.

Scanned from original by ISRIC - World Soil Information, as ICSU World Data Centre for Soils. The purpose is to make a safe depository for endangered documents and to make the accrued information available for consultation, following Fair Use Guidelines. Every effort is taken to respect Copyright of the materials within the archives where the identification of the Copyright holder is clear and, where feasible, to contact the originators. For questions please contact [soil.isric@wur.nl](mailto:soil.isric@wur.nl) indicating the item reference number concerned.

16949

AVANT-PROPOS

Dans le cadre de mes études en géographie physique à l'Université de Utrecht j'ai fait un stage à Kaya, Burkina Faso pour 4 mois et demi (juillet - novembre 1992). J'ai fait cette recherche à l'Université Agronomique de Wageningen à l'Antenne Sahélienne à Ouagadougou. J'ai travaillé avec Adama Belemviré, étudiant de l'Université de Ouagadougou, département Eaux et Forêts. Il fait cette recherche pour son mémoire de fin d'études. Ce rapport est le résultat de cette recherche.

Je voudrais remercier toutes les personnes qui m'ont aidé à la réalisation de cette recherche. Adama Belemviré avec qui j'ai eu un séjour très agréable au Burkina Faso et qui m'aide avec le français et le texte pour la végétation. Michel Mulders, mon professeur pour l'assistance dans le terrain et avec l'élaboration. Wim van Driel et Jan-Willem Nibbering pour l'assistance à l'office de l'Antenne Sahélienne. Daniëlle de Meuter pour le travail presque impossible; les corrections en français. La WSO (la Fondation Scientifique des Voyages éducative des Pays en voie de développement) pour le support financier. Et ensuite toutes les personnes qui m'ont aidé avec la recherche dans le terrain, les problèmes avec l'ordinateur et pour toutes les heures ensemble au *Baguem*.

Oscar van Dam,  
Utrecht,  
mai 1993.

*Remarques additionnelles.*

Le rapport présenté ici, contient les résultats d'une étude universitaire de la pédologie, d'évaluation de la terre et de la télédétection. Dans le cas d'évaluation de la terre, les résultats sont préliminaires. Il faut définir les qualités de la terre et les besoins des types d'agriculture plus précis. Pour évaluer les caractéristiques des sols, on a besoin de plus des analyses. Provisoirement, l'évaluation de la terre est était très utile pour formuler des questions, qui peut définir la recherche dans la future. Les données sont strictement réserver aux participants du projet SPS. Une utilisation des données présenté ici, sans le consentement des responsables est illicite.

Professeur Michel Mulders,  
groupe 'Physique' du projet SPS,  
Wageningen,  
mai 1993.

# CONTENANCE

pag

## **PARTIE 1 INTRODUCTION**

### **Chapitre 1. Introduction.**

1.1 Le cadre de la recherche . . . . .	3
1.2 Théorie lointaine de la recherche . . . . .	3
1.3 Le but de la recherche et les questions . . . . .	4
1.4 La méthode de recherche . . . . .	5

### **Chapitre 2. Préparation du travail.**

2.1 Introduction . . . . .	5
2.2 Les images satellites.	
2.2.1 Introduction . . . . .	5
2.2.2 Les analyses . . . . .	5
2.3 L'interprétation des photos aériennes . . . . .	6

### **Chapitre 3. La région de la recherche.**

3.1 Introduction . . . . .	6
3.2 Le climat . . . . .	7
3.3 La géologie . . . . .	7
3.4 La géomorphologie et le relief.	
3.4.1 La région des cuirasses . . . . .	8
3.4.2 La région des buttes de méta-vulcanite . . . . .	9
3.4.3 La région des vallées et des bas-fonds . . . . .	9
3.5 La végétation . . . . .	10

*par Adama Belemvire*

## **PARTIE 2 LA RECHERCHE DU SOL**

### **Chapitre 4. Méthodologie.**

4.1 Introduction . . . . .	13
4.2 Interprétation des photos aériennes.	
4.2.1 Introduction . . . . .	13
4.2.2 Le code de la physiographie . . . . .	13
4.2.3 La correction géométrique . . . . .	13
4.3 Le travail du terrain du sol.	
4.3.1 Introduction . . . . .	13
4.3.2 Les formes . . . . .	14
4.3.3 Le code du profil du tirage . . . . .	14
4.3.4 Les fosses du profil . . . . .	14
4.4 Le Système Global des Positions (GPS).	
4.4.1 Introduction. . . . .	14
4.4.2 La précision . . . . .	15
4.4.3 L'utilisation sur le terrain . . . . .	16

### **Chapitre 5. La recherche du sol et l'évaluation de la terre.**

5.1 Introduction . . . . .	16
5.2 Les résultats de la physiographie et les tirages.	
5.2.1 La carte de la physiographie . . . . .	17
5.2.2 La carte de la code de sol . . . . .	17
5.2.3 Les fosses de profil . . . . .	17
5.3 La carte de sol.	
5.3.1 La legende de la carte de sol . . . . .	18
5.3.2 La carte de sol . . . . .	18
5.4 La dégradation du sol.	
5.4.1 Introduction . . . . .	18
5.4.2 Le dégradation du sol dans les profils . . . . .	19
5.5 L'évaluation de la terre.	
5.5.1 Introduction . . . . .	19
5.5.2 Les conditions climatologiques et pédologiques . . . . .	19

	pag
5.5.3 Le système de l'évaluation .....	20
5.5.4 La carte de l'évaluation de la terre .....	22
5.5.5 Conclusion .....	22

**PARTIE 3 LA RECHERCHE DE LA TELEDETECTION**

**Chapitre 6 La télédétection.**

6.1 Introduction .....	25
6.2 Le travail du terrain.	
6.2.1 Mesurer la réflectance .....	25
6.2.2 Combiner les positions du GPS avec l'image satellite .....	25
6.3 Quelques résultats des mesures du crosscan.	
6.3.1 Les courbes de la reflectance .....	26
6.3.2 Les erreurs des mesures .....	27
6.4 L'interprétation des données du crosscan vers le TM.	
6.4.1 Introduction .....	29
6.4.2 La description de la surface .....	29
6.4.3 Calculer la reflectance par senseur du crosscan .....	29
6.4.4 La correction pour l'ombre .....	31
6.4.5 Combiner les données du crosscan avec l'image satellite .....	33
6.5 Conclusions .....	34

**Chapitre 7 L'interprétation des images satellites**

7.1 Introduction .....	35
7.2 Préparation des images satellites .....	36
7.3 Discussion des bandes .....	36
7.4 Les combinaisons des bandes du TM.	
7.4.1 Introduction .....	37
7.4.2 Les combinaison 1-2-3 et 1-4-7 du TM .....	37
7.5 Les analyses.	
7.5.1 Introduction .....	37
7.5.2 Les composants principales .....	38
7.5.3 L'analyse des clusters .....	39
7.5.4 L'index de végétation .....	39
7.6 Conclusions .....	39

**PARTIE 4 CONCLUSIONS**

**Chapitre 8 Comparaison des recherches du sol et de la télédétection**

8.1 Introduction .....	43
8.2 Comparaison avec la carte de sol	
8.2.1 Les limites des unités .....	43
8.2.2 La surface des sols .....	43
8.2.3 La dégradation du sol .....	43
8.3 Comparaison avec l'utilisation de la terre .....	43
8.4 Conclusions .....	43

**Chapitre 9 Conclusions définitives et résumé**

9.1 Les buts de la recherche .....	44
9.2 La recherche du sol et l'évaluation de la terre .....	44
9.3 La recherche de la télédétection .....	44
9.4 Recherches du future .....	45

<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>46</b>
----------------------------	-----------

## FIGURES

- Figure 1.1 Burkina Faso; la région de recherche est à Kaya.  
Figure 3.1 Carte Géologique de la région de recherche.  
Figure 3.2 Formation des cuirasses.  
Figure 3.3 Développement d'un profil de latérite idéal.  
Figure 4.1 GPS test de deux appareil.  
Figure 5.1 Carte du sol 1:500.000 de la région de recherche.  
Figure 5.2 Structure de la classification.  
Figure 5.3 Clé d'aptitude par culture pour les unités.  
Figure 6.1 Relation entre les données du GPS et l'image satellite.  
Figure 6.2 Courbes de la reflectance A. des plantes et B. des surfaces.  
Figure 6.3 L'influence de la secheresse A. des arbustes, B. des herbes, C. des graviers, D. du sable  
Figure 6.4 Les courbes de réflectance des sous-unités de l'unité R15.  
Figure 6.5 La model du terrain avec des differente type de surface.  
Figure 6.6 Correction de l'ombre intégré dans le calcul pour la reflectance en total.  
Figure 6.7 Les données du crosscan par rapport aux les valeurs digitales.  
Figure 7.1 Exemple des composantes principales avec deux bandes.

## INTRODUCTION

## TABLEAUX

- Tableau 3.1 Pluviométrie du poste météorologie de Kaya du saison humide.  
Tableau 3.2 Moyenne mensuelle de températures maximales et minimales (en °C) à Kaya.  
Tableau 4.1 Résultats des mesures de précision des GPS's.  
Tableau 5.1 Conditions pour les cultures utilisé.  
Tableau 6.1 Les senseurs du crosscan.  
Tableau 6.2 A La description de la surface de R15, B Les données des mesures de reflectance.  
Tableau 6.3 Calcule des reflectances par sensor du crosscan.  
Tableau 6.4 Les résultats du GeoREM pour R15 (en %).  
Tableau 6.5 L'intégration de l'influence de l'ombre pour R15.  
Tableau 7.1 Bandes spectrales du Landsat TM et ses applications.  
Tableau 7.2 Matrice des correlation.  
Tableau 7.3 "Loadings" des bandes du TM par component

1.1. Le cadre de la recherche.

Pendant les années 70, après la première grande sécheresse, le Sahel a consciemment l'intérêt des pays développés. Il y a eu beaucoup de recherches dans cette région pour connaître les problèmes et les causes. Il y a eu des recherches sur les dominions des terres physiques (recherche sur les sols et l'érosion de la terre), sur les techniques des cultures (maïs, sorgho, haricots, etc.) et sur les facteurs sociaux. En janvier 1981 l'Université Agronomique de Wageningen a présenté sa proposition de recherche pour la période 1981-1990 au Sahel: "Aménagement et gestion des terres agro-pastorales au Sahel". Le programme se dirige au Burkina Faso situé dans la zone du Sahel et Sudano-Sahélienne. Ce programme de recherche est divisé en trois volets; le volet humain, le volet technique et le volet physique. L'idée est de faire une recherche inter-disciplinaire. Les chercheurs poursuivent le même objectif, à savoir, trouver une solution inter-disciplinaire au problème suivant:

**PARTIE 1**

Elaborer des méthodes, visant à déterminer le niveau de production, le type d'aménagement, de gestion et les conditions susceptibles de garantir aux communautés villageoises du Sahel une exploitation durable de leurs terres agro-pastorales et, de quelle manière ces communautés peuvent contribuer à la régénération de régions déjà fortement dégradées (U.A.W., 1981).

**INTRODUCTION**

Dans ce cadre une recherche du sol et la réflectance du terrain a été effectuée et fait l'objet du rapport. La recherche se concentre sur le volet physique, qui étudie "le niveau de production". En général, ce volet va étudier les facteurs "climat" et "sol" et les processus de dégradation et de régénération. Plusieurs scénarios de production sont définis sur la base d'une forme d'"Évaluation Qualitative des terres" (QLE; Qualified Land Evaluation) qui est adaptée au système agro-pastoral. Chacun de ces scénarios analyse le niveau de production en fonction des mesures effectuées et des conditions économiques et sociales. La "praticabilité" de tel ou tel niveau dépend de deux questions: d'une part les groupes "Technique" et "Humain". Cette recherche est le commencement des recherches du groupe "Humain" et constitue dans ce cadre une première connaissance de la région de recherche.

La recherche se concentre sur les terres agro-pastorales. La végétation de ces terres est de grande hétérogénéité à petite échelle. Elle se caractérise par une diversité de la végétation naturelle et des taches de sol nu. C'est une zone de transition qui est utilisée par des villageois et des fermiers d'agriculteurs et pour des pâturages d'élevage des bœufs et des vaches. Cette zone connaît une forte démographique et une accélération de l'immigration de nombreux réfugiés politiques et économiques et le milieu naturel est dégradé. Cette recherche porte sur la dégradation du sol par l'homme et les effets de cette situation.

La région de la recherche

La région de recherche se situe autour de la ville de Kaya au Burkina Faso (13°41'N et 1°51'W) dans la province de Sannmatenga (figure 1.1). Une petite carte de la région de recherche est en annexe 1. C'est une région avec des caractères de latérite - durks, des buissons de météorites et des bas-fonds dans le granite érodé. Une explication plus détaillée de la région en ce qui concerne les matières géographiques physiques est donnée au chapitre 2. La terre est utilisée par deux groupes; les agriculteurs (Moosi) et les éleveurs (Fouli). Pour le problème socio-économique du Burkina et de cette région, je réfère à ma proposition de recherche (Cam van 1982) et à la littérature afférente.

1.2. Théorie conjointe de la recherche.

La dégradation du sol est une grande problème des pays en voie de développement. Il y a un manque de connaissances et surtout il y a un manque d'argent (F.A.O., 1978). Il y a deux motifs de dégradation. Premièrement, la dégradation naturelle: il y a toujours des dégradations naturelles comme l'érosion par exemple. Deuxièmement, la dégradation par l'homme. C'est une augmentation de la dégradation naturelle. Il y a des dégradations de nature chimique, biologique et physique (Poels, 1980). La dégradation récente dans la région de recherche est principalement de nature physique.

## CHAPITRE 1. INTRODUCTION.

### 1.1 Le cadre de la recherche.

Pendant les années '70, après la première grande sécheresse, le Sahel a constamment l'intérêt des pays européens. Il y a eu beaucoup de recherches dans cette région pour connaître les problèmes et les causes. Il y a eu des recherches sur les dominations des terres physiques (recherche sur les sols et l'évaluation de la terre), sur les techniques des cultures (mesures anti-érosives, barrages etc.) et sur les facteurs sociaux. En janvier 1991 l'Université Agronomique de Wageningen a présenté sa proposition de recherche pour la période 1991-1996 au Sahel; "Aménagement et gestion des terroirs sylvo-pastoraux au Sahel". Le programme se dirige au Burkina Faso situé dans la zone du Sahel et Sudano-Sahélienne. Ce programme de recherche est divisé en trois volets; le volet humain, le volet technique et le volet physique. l'idée est de faire une recherche inter-disciplinaire. Les chercheurs poursuivent le même objectif, à savoir, trouver une solution inter-disciplinaire au problème suivant:

Elaboration de méthodes, visant à déterminer le niveau de production, le type d'aménagement et de gestion et les conditions susceptibles de garantir aux communautés villageoises du Sahel une exploitation et une gestion durable de leurs terroirs sylvo-pastoraux et, de quelle manière ces communautés peuvent contribuer à la régénération de régions déjà fortement dégradées [U.A.W., 1991].

Dans ce cadre une recherche du sol et la réflectance du terrain a été effectuée et fait l'objet du rapport. La recherche se concentre sur le volet physique, qui étudier "le niveau de production". En général, ce volet va étudier les facteurs "climat" et "sol" et les processus de dégradation et de régénération. Plusieurs scénarios de production sont définis sur la base d'une forme d'"Evaluation Qualitative des terres" (QLE; Qualified Land Evaluation) qui est adaptée au système sylvo-pastoral. Chacun de ces scénarios analyse un niveau de production en fonction des mesures adoptées et des conditions économiques et sociales. La "praticabilité" de tel ou tel niveau dépende des données recueillies dans les groupes "Technique" et "Humain". Cette recherche est le commencement des recherches du groupe "Physique" et constitue dans ce cadre une première reconnaissance de la région de recherche.

La recherche se concentre sur les terroirs sylvo-pastoraux. La végétation de ces régions a une grande hétérogénéité à petite échelle qui se caractérise par une diversification de la végétation naturelle et des taches de sol nu. C'est une zone de transition qui est utilisée par des villages sédentaires d'agriculteurs et pour des pâturages d'élevage des peuples nomades. Suite à une poussée démographique et une augmentation de l'utilisation de la terre, il y a beaucoup de conflits sociaux et le milieu naturel est dégradé. Cette recherche porte sur la dégradation du sol qui est un effet directe de cette situation.

#### *La région de la recherche.*

La région de recherche se situe autour de la ville de Kaya au Burkina Faso (13°4'LN et 1°9'LO) dans la province de Sanmatenga (figure 1.1). Une petite carte de la région de recherche est en annexe 1. C'est une région avec des cuirasses de latérite indurées, des buttes de métavolcanites et des bas-fonds dans le granite érodé. Une explication plus détaillée de la région en ce qui concerne les matières géographiques physiques est donnée au chapitre 3. La terre est utilisée par deux groupes; les agriculteurs (Mossi) et les éleveurs (Peul). Pour la problématique socio-économique du Burkina et de cette région, je réfère à ma proposition de recherche [Dam van, 1992] et à la littérature afférente.

### 1.2 Théorie lointaine de la recherche.

La dégradation du sol est une grande problème des pays en voie de développement. Il y a un manque de connaissance et surtout il y a un manque d'argent [F.A.O., 1976]. Il y a deux motifs de dégradation. Premièrement, la dégradation naturelle; il y a toujours des dégradations naturelles comme l'érosion par exemple. Deuxièmement, la dégradation par l'homme. C'est une augmentation de la dégradation naturelle. Il y a des dégradations de nature chimique, biologique et physique [Poels, 1990]. La dégradation récente dans la région de recherche est principalement de nature physique.

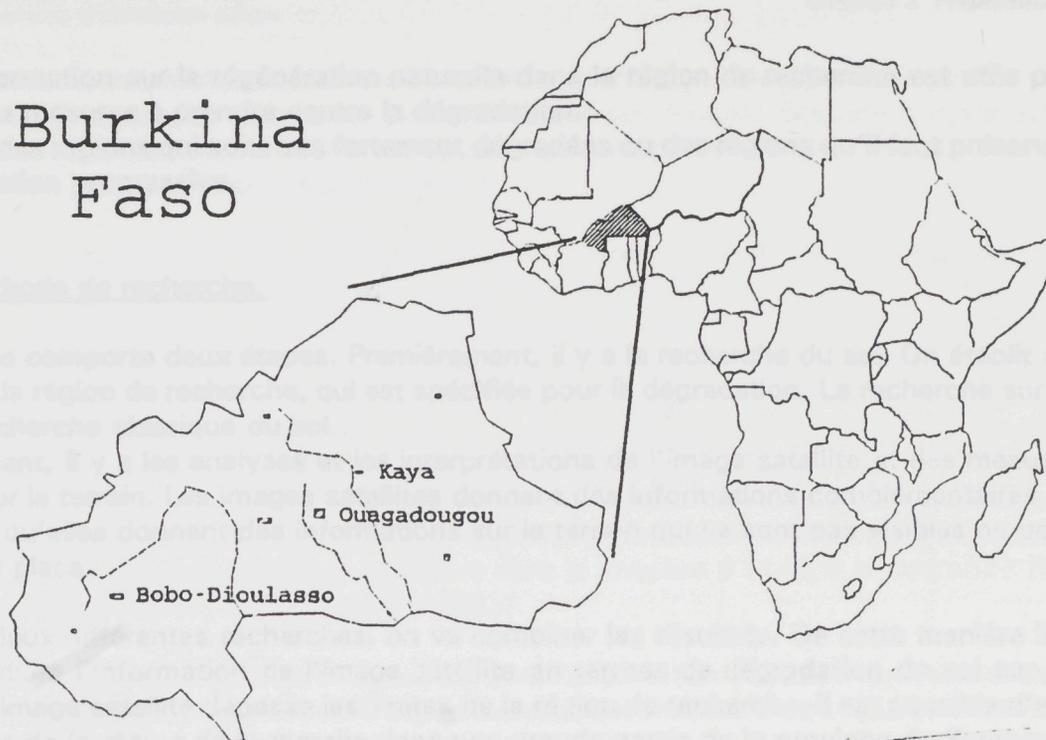


Figure 1.1: Burkina Faso; la région de recherche est à Kaya.

Les influences de l'homme sur le paysage, et avec cela sur le sol, sont les suivantes;

- le surpâturage, par lequel la végétation naturelle est diminuée et à quelque endroit totalement disparu.
- l'agriculture trop intensive, par laquelle les nutriments du sol ont presque disparu.
- le coupe intensive de bois, qui est utilisé par les villages pour préparer les repas, des médicaments et pour faire des constructions. Mais il y a aussi des commerçants de bois, qui n'habitent pas dans cette région [März, 1983].

Les conséquences de nature physique de dégradation pour le sol sont les suivantes;

- formation d'une croûte: Sans la protection naturelle par la végétation, la surface du sol se colmate en cas de fortes pluies [Rietkerk, 1992].
- compaction: une augmentation de la densité du sol, par laquelle la porosité du sol diminue. Cela arrive spécialement aux endroits où la teneur du sol en matières organiques est faible.
- une augmentation de l'érosion [Stoop, 1987].

Cette dégradation du sol et l'érosion entraînent une désertification [Bonkougou, 1985]. C'est la dispersion des conditions du désert par l'influence du climat et de l'homme [Olsson, 1985]. Les sols nus se déploient, vont dominer le paysage. Sous ces conditions, les habitants ne peuvent plus cultiver leurs champs pour se nourrir.

### 1.3 Le but de la recherche et des poses de questions.

Le but de la recherche s'inscrit dans le Programme Sahélien, une grande recherche qui sera effectuée dans les années à venir. Les buts de la recherche spécifique sont:

1. L'inventaire du sol sur l'échelle 1:30.000 autour Kaya, avec une indication de la dégradation du sol.
2. Les résultats des cartes donnent de l'information pour des recherches suivantes, où on sélectionne des régions spécifiques pour des recherches détaillées vers la dégradation du sol.
3. Le commencement d'une évaluation de la terre et l'interprétation des images satellites et la réflectance de la surface. Cette information est utilisée dans des recherches suivantes.

Les buts de la recherche sont définis par les questions suivantes:

1. Quelle forme de dégradation est présente dans la région sylvo-pastorale de Kaya?
  2. Quelles sont l'extension et la circonférence de ces formes de dégradation?
  3. Est-ce qu'il y a des régénérations présentes?
  4. Est-ce qu'il y a des régions avec des sols dégradés qu'il faudrait protéger immédiatement?
- ad. 1 et 2. Pour la réalisation d'une agriculture durable, il est nécessaire de connaître les types, l'extension et la circonférence de la dégradation du sol. A l'aide de cette information il est possible de prendre des mesures plus efficaces contre la dégradation.

*ad.* 3. L'information sur la régénération naturelle dans la région de recherche est utile pour avoir une idée des mesures à prendre contre la dégradation.

*ad.* 4. Il y a des régions qui sont très fortement dégradées ou des régions qu'il faut préserver contre une dégradation progressive.

#### 1.4 La méthode de recherche.

La recherche comporte deux étapes. Premièrement, il y a la recherche du sol. On établit une carte des sols de la région de recherche, qui est spécifiée pour la dégradation. La recherche sur le terrain sera une recherche classique du sol.

Deuxièmement, il y a les analyses et les interprétations de l'image satellite et des mesures de réflectance sur le terrain. Les images satellites donnent des informations complémentaires sur la région, parce qu'elles donnent des informations sur le terrain qui ne sont pas visibles ou possibles à mesurer sur place.

Après ces deux différentes recherches, on va combiner les résultats. De cette manière il est possible de traduire l'information de l'image satellite en termes de dégradation du sol par exemple. Parce que l'image satellite dépasse les limites de la région de recherche, il est possible d'extrapoler l'information de la région de recherche dans une grande partie de la province de Sanmatenga.

## CHAPITRE 2. PREPARATION DU TRAVAIL.

### 2.1. Introduction.

Avant de commencer mon travail au Burkina, j'avais effectué des préparations à Wageningen. Le travail s'oriente sur l'interprétation des photos aériennes et l'analyse des images satellites. Ce travail est important, d'abord pour désigner la région définitive de recherche et ensuite pour avoir une notion du terrain de travail. Le but de cette recherche est de comprendre la dégradation du sol qui est souvent due à l'érosion. Les conséquences de l'érosion sont des sols nus avec une réflectance plus élevée que sur des sols qui comportent des végétations. Les photos aériennes et les images satellites donnent cette information spécifique nécessaire pour la recherche. Sur les photos, ce sont des endroits très blancs, et sur l'image, ce sont des pixels avec une valeur digitale élevée. Cela donne en même temps l'information pour des zones de recherche qui sont assez intéressantes à visiter sur le terrain.

Il y ont les informations disponibles sur le terrain: une carte topographique de 1:200.000 [I.G.N., 1960], des photos aériennes à l'échelle 1:50.000 de janvier 1982 et à 1:30.000 de octobre 1981 et deux images satellites du 8 janvier 1991 et du 7 mai 1988. Il y a une carte des sols à l'échelle 1:500.000 [Boulet, 1968] et une carte géologique au même échelle [Hottin, 1975].

### 2.2 Les analyses des images satellites.

#### 2.2.1 Introduction

Les images satellites qui sont utilisées sont des images du Landsat Thematic Mapper (TM). Le satellite passe dans la région de recherche tous les 16 jours, à environ 10 heures du matin. Chaque pixel de l'image a une surface sur le terrain de 30 à 30 mètres [Buiten red, 1990]. Le TM donne l'information de la terre en 7 bandes spectrales. Il en a utilisé seulement 6 (e.g. 1-5 et 7). Les images satellites ont été élaborées à Wageningen avec le programme ERDAS, version 7.4. Ce système n'est pas installé à l'Antenne Sahélienne à Ouagadougou, où nous avons utilisé le programme IDRISI version 4.0.

#### 2.2.2 Les analyses.

Les analyses des images satellites ont été effectuées à partir de l'image du 8 janvier 1991, parce que c'est l'image la plus récente et qu'elle a été prise dans une période qui ressemble le plus à la

période de recherche. Malheureusement il n'y avait pas d'images de septembre ou d'octobre; la période du travail au terrain. C'est pour cette raison que les données des réflectances du terrain ne sont pas très adaptées pour être comparées avec les valeurs digitales de l'image. L'image satellite doit elle-même donner l'information du terrain.

Les premières analyses de l'image ont été effectuées dans une région plus grande que la région définitive de recherche. Des combinaisons de couleurs ont été faites pour obtenir une première image du terrain. La combinaison "Couleur Vraie (True Color)"; bande 1 = bleue, bande 2 = verte et bande 3 = rouge, et la combinaison "Couleur Fausse (False Color)"; par exemple bande 2 = bleue, bande 3 = verte et bande 4 = proche d'infrarouge. Après le calcul de la matrice de corrélation de l'ensemble des 6 bandes, une combinaison de couleurs de l'image avec les bandes qui ont la valeur de corrélation la plus basse a été faite; c'était la combinaison entre bande 5 = bleue, bande 3 = verte et bande 4 = rouge. La dernière analyse a été le calcul des composantes principales des 6 bandes. L'image de la première composante donne l'information de toutes les 6 bandes. L'explication des analyses décrites ci-dessus se trouve dans le chapitre 6 et dans la littérature [Buiten red, 1990; Lillesand & Kiefer, 1987; Scanvic, 1983].

Les procédés de combinaisons de couleurs donnent l'information du terrain sur l'écran. Les couleurs représentent des valeurs digitales (DN; digital number) qui sont des indications pour les réflectances du terrain. L'information générale sur les valeurs digitales recueillies dans la littérature et l'information spécifique donnent finalement l'information sur le terrain. Il s'agit des informations sur le recouvrement de la terre; la géologie, la végétation, le sol et aussi l'érosion. Cela est important pour la recherche. De toutes ces images des diapositives et des posters ont été faits pour la désignation de la région définitive de recherche. La région de recherche autour de Kaya a finalement été choisie. Les désirs des chercheurs des autres volets du programme Sahélien concordent avec cette région de recherche. Maintenant, presque toutes les villages de recherche pour le volet Humain se trouvent également dans cette région de recherche.

### 2.3 L'interprétation des photos aériennes.

Après le choix de la région de recherche, une interprétation des photos aériennes a été faite. Les photos donnent des informations sur la géologie, la géomorphologie, la topographie, l'hydrographie, la végétation, l'utilisation des terres et des sols. Pour combiner toutes ces informations importantes pour la recherche, une légende a été établie. C'est une légende de la physiographie des terres. Cela donne un premier aperçu du terrain. Il y a une relation entre distribution des sols et physiographie [Jungerius, 198].

Après quelques jours de travaux sur le terrain, la légende a été ajustée dans sa forme définitive. L'explication de la légende se trouve dans le chapitre 4. La description du terrain avec des informations sur la préparation, ainsi que la littérature se trouvent dans le chapitre suivant.

## CHAPITRE 3. LA REGION DE RECHERCHE.

### 3.1 Introduction.

La région de recherche se situe autour de Kaya. La région de recherche a une superficie de 17.7 sur 17.7 km. Dans cette région, il y a des grandes différences entre les paysages présents. Il y a trois grands types de paysages.

1. Les cuirasses de latérite indure; ce sont des collines avec une pente rapide ( $> 10\%$ ) et un bas de pente (2-6%) avec une différence d'altitude d'environ 30 mètres entre le cuirasse et le bas de pente. De l'autre côté de cette pente il y a une pente faible (0-2%); sur une pente de 1-2% le cuirasse érodée sur quelques endroits avec des dunes éoliennes. Il y a une végétation composée d'arbustes et d'herbes pour l'élevage.

2. Les collines et les buttes de roche métavolcanites résistantes qui ne sont pas complètement érodées. C'est une région avec des pentes rapides et moyennes (2-10% et  $> 10\%$ ) et des complexes de vallées d'un paysage découpé. Il y a beaucoup des cailloux et graviers à la surface à cause des-

quels la terre n'est pas facile à élaborée. Les collines avec leurs pentes rapides comportent les terrains pour l'élevage.

3. Les grandes vallées avec des glacis et des bas-fonds. C'est la région de l'agriculture avec des longues pentes faibles (0-2%). Sur quelques endroits, il y a des affleurements de roches granitiques. Les paragraphes suivantes décrivent le climat, la géologie et les différentes unités du paysage et fournit une explication brève des sols qui sont présent.

### 3.2 Le climat.

Kaya est situé entre le 500 mm et 600 mm isohyète. La saison humide débute en mai jusqu'au octobre avec un maximum de pluie en août (environ 200mm) [Min. de l'Agriculture et de l'élevage, 1990]. C'est un climat Sahélo-Soudanien selon la classification faite par la F.A.O. [1978]. Le tableau 3.1 donne la pluviométrie du poste météorologique de Kaya.

Tableau 3.1: Pluviométrie du poste météorologie de Kaya du saison humide (Moyennes 1970 - 1989) (jrs. = jours avec pluie).

mai		juin		juil		août		sept		oct		tot. M-O	
mm	jrs	mm	jrs	mm	jrs	mm	jrs	mm	jrs	mm	jrs	mm	jrs
34.1	4.1	93.1	6.9	148	9.3	216	11.8	111	7.6	17.8	2.4	620	41.9

SOURCE: Direction de la Météorologie, Données journalières 1970-1989 pour les 11 stations pluviométrie du Centre-Nord, Ouagadougou (disponible sur fiches).

La température varie peu au cours des mois. Le tableau 3.2 donne un exemple de températures maximales et minimales pendant toute l'année. De Février à Avril il y a l'anticyclone du Sahara qui donne naissance à un vent sec et chaud: "l' harmattan", un vent très fort du Nord-Est [Casenave et Valentin, 1989].

Tableau 3.2: Moyenne mensuelle des températures maximales et minimales (en °C) à Kaya.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Maximum	32	35	38	39	38	35	32	31	32	36	36	34
Minimum	17	20	23	25	25	23	22	21	21	22	19	16

SOURCE: ICRISAT, 1988.

L'agriculture de cette région est dépendante de la pluie dans la saison végétative. Elle le faut être suffisamment pour la croissance des plantes et de façon régulière et cela peut donner un problème. Par exemple, pendant la période de recherche il avait tombé une giboulée de 194 mm. A ce moment, l'érosion est un grand problème. Le ruissellement est très fort, et la surface du sol, les nutriments et les plants des cultures sont perdus. Pour des informations complémentaires sur les relations entre la pluie, le surface et l'érosion consulter le rapport météorologique de Bleumink [1992, en préparation].

### 3.3 La géologie.

Dans la région de recherche il y a 6 régions géologiques [Hottin, 1976], qui forment une base pour les paysages. Les régions sont indiquées dans la figure 3.1. Cette carte indique qu'il y a deux grands paysages quand on regarde la structure et la minéralogie des roches. Ce sont les régions avec les granites et les régions avec les roches volcano-sédimentaires. La région avec les granites donne un paysage bas avec des sols acides sableux et limoneux et susceptible pour l'érosion. La région avec les roches volcano-sédimentaires donne des sols basiques argileux. Par ses strates quartzites, qui sont plus résistantes, cette région est plus accidentée que la région des granites. Il y a l'érosion vers la direction de pression de la méta-morphologie.

Dans ce paysage, il y a développé des sols ferrugineux (Éocène et plus jeune), qui donnent des cuirasses latéritiques. Il ne s'agit pas d'une véritable latérite, parce que ce sont des sédiments avec des couches ferritiques [Hottin, 1975].

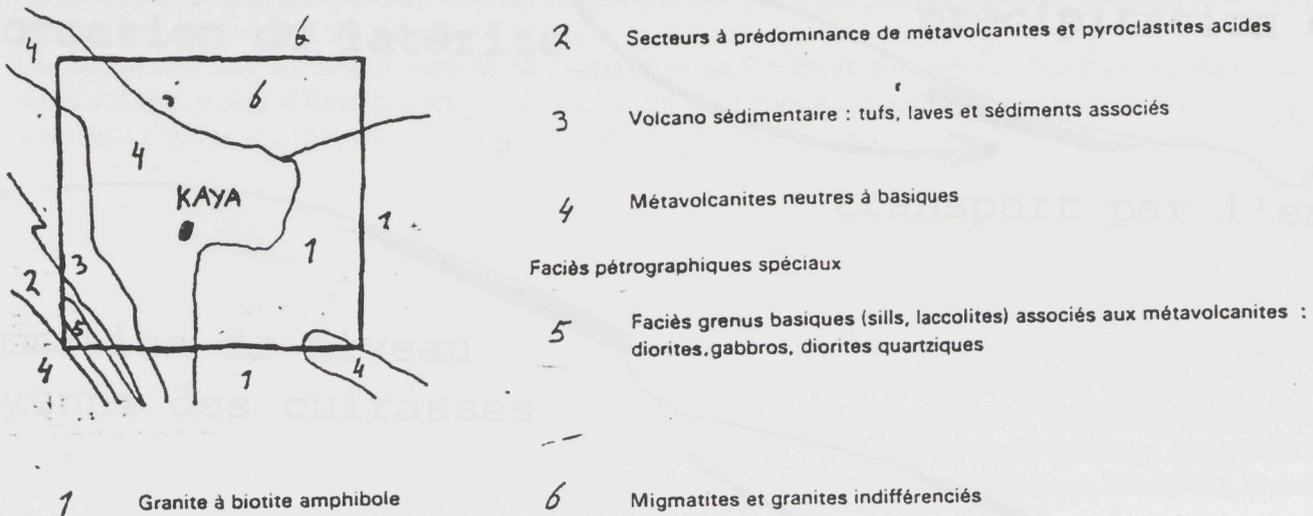


Figure 3.1: Carte géologique de la région de recherche.

SOURCE: Hottin, 1975.

**LEGENDE DE LA CARTE GEOLOGIQUE.**

PRECAMBRIEN C (BIRIMIEN)	région
Roches plutoniques	
Granites syn à tardi-tectoniques;	
Granite à biotite amphibole . . . . .	1
Roches Volcano-sédimentaires	
Métavolcanites et pyroclastites . . . . .	2
Volcano sédimentaire . . . . .	3
Métavolcanites neutres à basiques . . . . .	4
Faciès grenus basiques . . . . .	5
PRECAMBRIEN D (ANTEBIRIMIEN)	
Migmatites et granites indifférenciés . . . . .	6

**3.4 La géomorphologie et le relief.**

**3.4.1 La région des cuirasses.**

*La genèse.*

Les cuirasses sont formé dans une période géologiques humide. Les cuirasses sont été en effet des régions basses sur le paysage ancien. Le fer dans le sol est dissoudré ( $Fe^{3+}$ ) et transporté par l'eau. Sur une autre endroit le fer est precipité en une forme insoluble ( $Fe^{2+}$ ) [Young, 1976]. Avec le temps, le fer est concentré en bancs de latérite. Ces bancs sont plus résistant pour l'érosion en ils forment finalement des cuirasses, situé le plus haute sur le terrain (inversion de topographie). Pendant le pléistocène, il y a une changement des périodes plus humide et plus sèche. Cette changement a formé des différentes niveaux des cuirasses (figure 3.2).

*Les niveaux.*

Dans la région de recherche il y a trois niveaux de cuirasses. La cuirasse haute supérieur a une altitude d'environ 20 à 30 mètres à parti du bas de pente. La latérite indurée a une épaisseur de 2 à 10 mètres. Il y a une pente rapide (> 10%) avec des grands blocs (de 1 à 3 m) et un bas de pente colluvial (figure 3.3). La cuirasse elle-même a un pente de 0 à 2 % avec beaucoup de cailloux et de graviers. Le pente en bas est souvent érodée et à certain endroits avec de la végétation. Sur ces cuirasses il y a de formation des dunes éoliennes. Ces formes de relief et des pentes sont aussi visible chez la cuirasse moyenne. Celle-ci a une altitude d'environ 10 mètres et la latérite indurée a une épaisseur de 0,5 à 2 mètres. La cuirasse basse inférieure a environ 0,5 mètre d'épaisseur ou moins et est presque toujours érodée. Ce sont plusieurs zones avec beaucoup de graviers à la surface et à quelques endroits des petites élévations de latérite indurée. Sous les cuirasses hautes et moyennes il y a une zone d'argile (et argilo-limoneux) de kaolinite. Thomas [1974] a défini cette zone "pallit-zone (lithomarge)". C'est un sol très blanc et très susceptible à l'érosion (dans des grandes ravines; "gully erosion") qui affleure parfois sur des pentes rapides et les bas de pentes. La figure 3.3 donne le profil idéal d'une cuirasse de latérite.

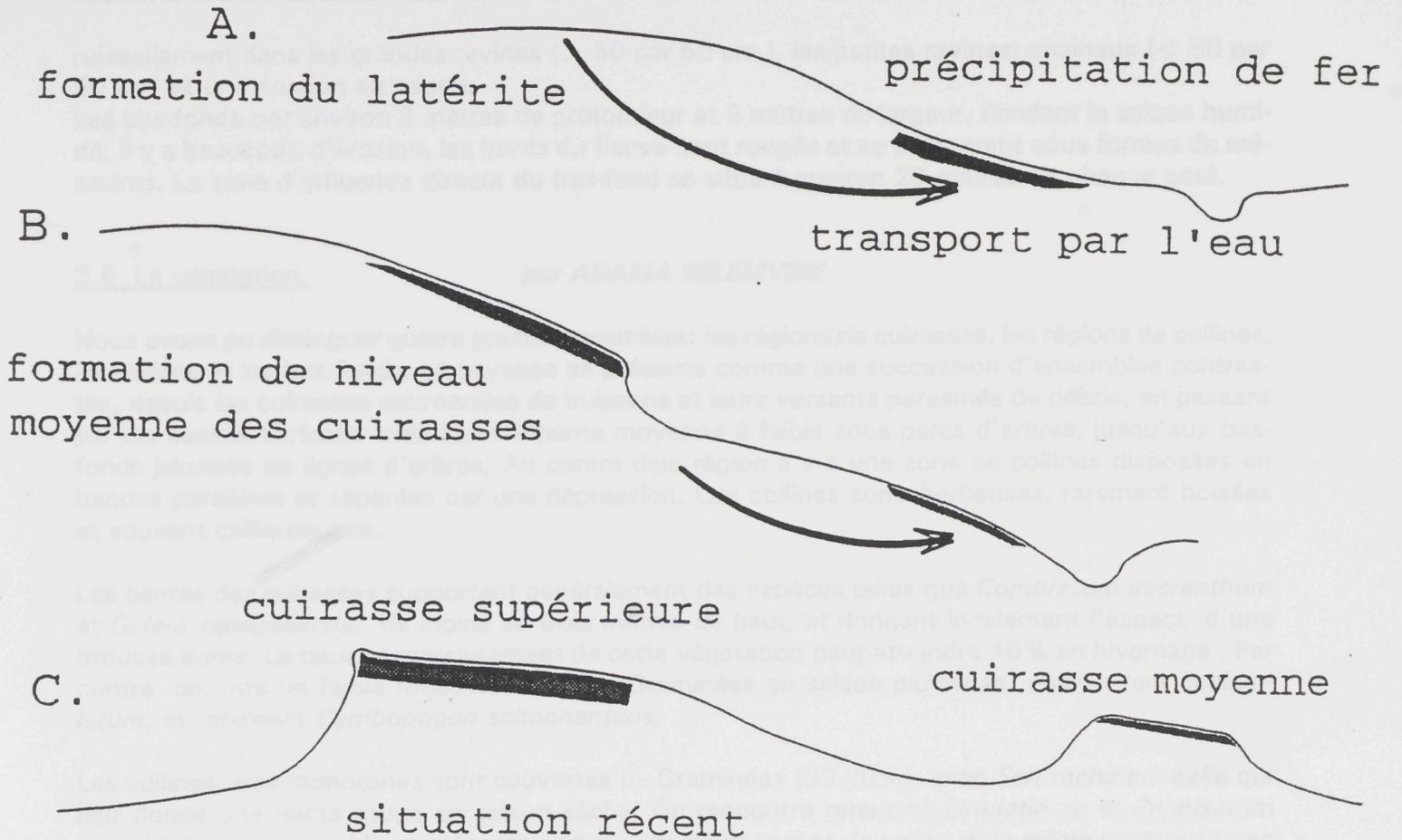


Figure 3.2 Formation des cuirasses. Seulement deux niveaux sont indiqués.

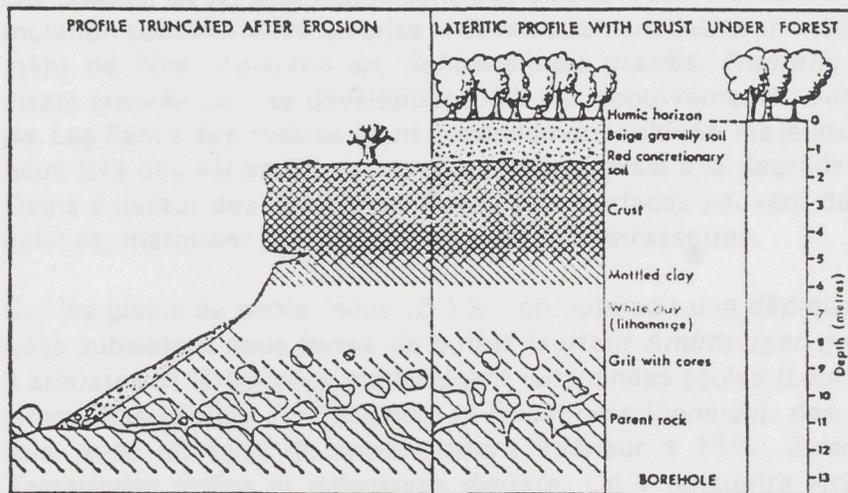


Figure 3.3 Développement d'un profil idéal de latérite.

SOURCE: Thomas, 1974.

### 3.4.2 La région des buttes de métavolcanite.

Cette région a un paysage complexe, avec des collines d'affleurement des roches mères de méta-sédiments, des pentes rapides et des bas de pentes colluviales. Il s'agit d'un paysage disséqué en grandes ravines (30 à 50 mètres). Le résidu de l'érosion, les cailloux et graviers sont presque toujours présents à la surface. Les buttes et collines sont souvent présentes en alignement ou sous forme "d'haricots". Ce sont des zones plus résistantes souvent composées de roches de quartz.

### 3.4.3 La région des glacis et des bas-fonds.

La région des glacis (les vallées) et des bas-fonds est caractérisée par des pentes faibles et longues (< 3%, > 500m). Il y a une accumulation de graviers par l'action du ruissellement. Ce sont des cailloux ou des graviers des cuirasses, ou des collines de méta-sédiments. Par l'action du vent, il y a une accumulation du sable et sablo-limoneux. En même temps il y a une érosion par l'action du

ruissellement dans les grandes ravines (> 50 par 50 cm.), les petites ravines; chainaux (< 50 par 50 cm) et une érosion en nappe.

Les bas-fonds ont environ 2 mètres de profondeur et 5 mètres de largeur. Pendant la saison humide, il y a beaucoup d'érosion, les bords du fleuve sont rongés et se présentent sous formes de méandres. La zone d'influence directe du bas-fond se situe à environ 20 mètres de chaque côté.

### 3.5 La végétation.

par ADAMA BELEMVIRE

Nous avons pu distinguer quatre grands ensembles: les régions de cuirasses, les régions de collines, les vallées et les bas-fonds. Le paysage se présente comme une succession d'ensembles contrastés, depuis les cuirasses couronnées de buissons et leurs versants parsemés de débris; en passant par les basses surfaces cultivées sur pente moyenne à faible sous parcs d'arbres, jusqu'aux bas-fonds jalonnés de lignes d'arbres. Au centre de la région il y a une zone de collines disposées en bandes parallèles et séparées par une dépression. Ces collines sont herbeuses, rarement boisées et souvent caillouteuses.

Les pentes des cuirasses supportent généralement des espèces telles que *Combretum micranthum* et *Guiera senegalensis*, de moins de trois mètres de haut, et donnant localement l'aspect d'une brousse tigrée. Le taux de recouvrement de cette végétation peut atteindre 40% en hivernage. Par contre, on note un faible recouvrement des Graminées en saison pluvieuse: *Pennisetum pedicellatum*, et rarement *Cymbopogon schoenanteus*.

Les collines, très monotones sont couvertes de Graminées (80-90%), avec *Schizachirium exile* qui leur donne une teinte rouge en saison sèche. On rencontre rarement *Loudetia sp* et *Pennisetum pedicellatum*. L'ensemble se présente comme une pelouse rase de moins d'un mètre avec quelques arbres de moins de cinq mètres de haut. Sur les versants, le ruissellement intense a emporté presque tous les matériaux fins, ce qui leur donne cet aspect caillouteux.

Les collines de schiste supportent très souvent des arbustes chétifs. Vers le bas de pente, l'accumulation colluvionnaire favorise le développement des Graminées qui peuvent atteindre un recouvrement de 70% (*Loudetia sp*, *Schoenefeldia gracilis*, *Eragrotis tremula*). A certains endroits, une strate arborée peut se développer (32% de recouvrement) : *Bombax costatum* et *Lannea microcarpa*. Les flancs des collines étant généralement cultivés, les jeunes espèces arborescentes sont éliminées lors des sarclages. Le bétail contribue aussi à la dégradation du milieu, en effet, Caprins et Ovins à défaut des Graminées des basses surfaces souvent défrichées préfèrent les arbustes des collines, marquant ainsi le paysage par des terrassettes.

Sur les glacis de pente faible (2-4%), on note soit une dépression, soit une incision où les Graminées subsistent sous forme de buttes (surtout *Andropogon gayanus*). En amont, les associations à arbustes et Graminées prédominent : Graminées seules (*Loudetia*, *Schoenefeldia*) ou arbustes et Graminées (*Guiera senegalensis* et *Piliostigma thonningii*). Des arbres les accompagnent quelques fois, avec un taux de recouvrement inférieur à 15%: *Sclerocarya birrea*, *Bombax costatum*, *Tamarindus indica* et *Adansonia digitata*. On y rencontre *Acacia seyal*, *Balanites aegyptiaca* et *Ziziphus mauritiana*.

En aval, les relevés donnent une répartition différente avec une sélection d'arbres utiles: *Acacia albida*, *Parkia biglobosa* et *Vitellaria paradoxa*. Si la pente est plus faible, le paysage végétal est fortement influencé par l'homme. On rencontre les parcs cultivés en mil pendant l'hivernage (90% de recouvrement), et les étendues herbeuses. Les bas de versants sont le siège d'intenses activités agricoles, quelques fois ombragés par le parc à *Vitellaria paradoxa*, *Parkia biglobosa* et *Acacia albida*. Les parcs sont en voie de disparition par manque de jeunes individus.

Nous distinguons enfin les bas-fonds soulignés par des lignes d'arbres plus ou moins continues, signe d'une bonne alimentation en eau. Ces bas-fonds sont temporairement submergés (1-2 mois). On n'a pas l'impression des vraies galeries comme c'est le cas au Sud; les arbres sont généralement ceux du parc cultivé et en dehors de quelques fourrés d'*Acacia pennata*, la végétation ripicole habituelle n'existe plus: *Mitragina sp*, *Mimosa pigra*. Les rives sont la proie d'une érosion aréolaire.

## CHAPITRE 4. METHODOLOGIE

Le thème de ce chapitre est la méthodologie de la recherche du sol. Les photos aériennes sont une source de données, qui sont utilisées pour interpréter les caractéristiques du terrain. Elles sont utilisées pour la cartographie et pour la recherche du sol.

La recherche des données se divise en deux parties. La recherche du sol et la recherche du relief du terrain. Dans ce chapitre, la méthodologie de la recherche du sol est expliquée: la préparation avec les photos aériennes, les trappes et les fosses du profil. La méthodologie du travail des mesures de la réflectance est expliquée dans chapitre 6. On a travaillé avec un G.P.S (Système Global de Position) et la méthodologie et les problèmes sont présentés ci-dessous.

### PARTIE 2

## LA RECHERCHE DU SOL

### 4.2. Interprétation des photos aériennes.

#### 4.2.1 Introduction.

La recherche du terrain commence par l'interprétation des photos aériennes à l'échelle 1:30 000. L'interprétation donne la première vue des différences du terrain. Le résultat est une carte avec des unités physiographiques du terrain. La physiographie est la combinaison de la géomorphologie, sédologie, géologie et climatologie. Les limites des unités de la physiographie peuvent être indiquées sur les photos aériennes et sur la carte. On a travaillé avec une légende pour la physiographie, la carte de la physiographie.

4.2.2 La carte de la physiographie. Dans ce chapitre, on interprète les photos aériennes. On a travaillé avec une légende pour la physiographie, la carte de la physiographie.

La physiographie est exprimée par une code de trois lettres. Chaque lettre correspond à un différent niveau de la description de la physiographie.

Le premier niveau de la description de la physiographie est la position du terrain et le relief du terrain.

Le deuxième niveau de la description de la physiographie est la forme du terrain et les zones de la physiographie.

Le troisième niveau de la description de la physiographie est les types de végétation et les types de culture.

Le quatrième niveau de la description de la physiographie est les types de culture et les types de végétation.

Le cinquième niveau de la description de la physiographie est les types de culture et les types de végétation.

Le sixième niveau de la description de la physiographie est les types de culture et les types de végétation.

Le septième niveau de la description de la physiographie est les types de culture et les types de végétation.

Le huitième niveau de la description de la physiographie est les types de culture et les types de végétation.

Le neuvième niveau de la description de la physiographie est les types de culture et les types de végétation.

Le dixième niveau de la description de la physiographie est les types de culture et les types de végétation.

Le onzième niveau de la description de la physiographie est les types de culture et les types de végétation.

Le douzième niveau de la description de la physiographie est les types de culture et les types de végétation.

Le treizième niveau de la description de la physiographie est les types de culture et les types de végétation.

Le quatorzième niveau de la description de la physiographie est les types de culture et les types de végétation.

Le quinzième niveau de la description de la physiographie est les types de culture et les types de végétation.

### 4.3. Le travail du terrain de sol

#### 4.3.1 Introduction.

La recherche du sol dans le terrain se compose de deux parties. Une recherche générale avec des trappes et une recherche plus spécifique des descriptions des profils. La description du profil dans

## CHAPITRE 4. METHODOLOGIE

### 4.1 Introduction.

La recherche est divisée en deux parties. La recherche du sol et la recherche du réflectance du terrain. Dans ce chapitre, la méthodologie de la recherche du sol est expliquée: la préparation avec les photos aériennes, les tirages et les fosses du profil. La méthodologie du travail des mesures de la réflectance est expliqué dans chapitre 6. On a travaillé avec un G.P.S (Système Globale des Positions) et la méthodologie et les problèmes sont présentés ci-dessus.

### 4.2 Interprétation des photos aériennes.

#### 4.2.1 Introduction.

La recherche au Burkina commence avec une interprétation des photos aériennes à l'échelle 1:30.000. L'interprétation donne la première vue des différences du terrain. Le résultat est une carte avec des unités physiographiques du terrain. La physiographie est la combinaison de la géomorphologie, pédologie et biogéographie [Whittow, 1984]. Les limites des unités de la physiographie peuvent des limites des unités du sol. Pendant l'analyse des photos aériennes et sur le terrain on a travaillé avec une légende pour la physiographie; la code de la physiographie.

#### 4.2.2 La code de la physiographie.

La physiographie est exprimée par un code de trois lettres. Chaque lettre correspond à un différent niveau de la description de la physiographie.

niveau 1: la description du site ou position au paysage e.g. les cuirasses, les buttes, les bas-fonds ou les pentes faibles de la vallée.

niveau 2: la description de la topographie; la position du terrain et la raideur de la pente.

niveau 3: les indices du ruissellement, de l'érosion, des formes en dunes etc.

Ils n'y a pas des lettres spécifiques qui indiquent des différentes situations entre des différents types de végétation. Les types de végétation ne sont pas bien visible sur les photos aériennes. Les unités de la géomorphologie sont souvent visibles sur les photos aériennes par des différents types de végétation ou l'utilisation de la terre. Dans la région de recherche il n'y a pas beaucoup de terrain naturel, avec une végétation naturelle. Ce sont presque toujours des champs ou des paysages sylvo-pastoraux utilisés très intensivement, sauf les cuirasses hautes survivantes. Les lettres utilisés et leur signification sont décrites en annexe 2A avec une discussion des résultats en chapitre 5.

#### 4.2.3 La correction géométrique.

La géométrie des photos aériennes n'est pas correcte. Il y a une déformation vers les bords de chaque photo. L'information des photos est normalement transcrits sur une carte topographique, qui a une géométrie correcte. Il existe seulement une carte de la région de recherche à l'échelle 1:200.000: une échelle trop petit. On a donc utilisé une image satellite qui est imprimée à l'échelle de 1:30.000. Le levé topographique d'une image satellite est environ perpendiculaire à l'égard du terrain (0-4%). Une image satellite n'est pas exactement géométrique correcte, parce qu'il y a toujours des erreurs pendant le 'scan' du terrain par le satellite. Mais au moment il n'y a pas une autre solution, parce que il n'y a pas des possibilités de faire des corrections géométriques.

On a pris l'image de la bande 5 du T.M., parce que cela donne assez de distinction sur le terrain. On a regardé particulièrement les bords des cuirasses supérieures et les chemins qui sont visibles. Ces lignes topographiques forment une carte avec des lignes de départ. Avec cette carte l'information des sous-cartes de la physiographie est traduit géométrique correctement.

### 4.3 Le travail du terrain du sol.

#### 4.3.1 Introduction.

La recherche du sol dans le terrain se compose de deux parties. Une recherche générale avec des tirages et une recherche plus spécifique des descriptions des profils. La description du profil dans

la fosse du sol suit la méthodologie du F.A.O. [FAO, 1990]. Les fosses sont localisées sur des unités du paysage, qui sont assez représentatives pour une grande région. On y a fait 4 fosses avec une description complète et des analyses. Les tirages sont fait avec un système des transects. La recherche est faite à l'échelle de 1:30.000, cela veut dire qu'il est nécessaire de faire des observations chaque 200 à 300 mètres [Boulaine, 1975]. 900 tirages ont été effectués au cours de la recherche. La région de recherche d'environ 313 km<sup>2</sup> n'a pas été complètement couvert avec ces observations.

Pour faire une carte du sol avec l'information des tirages, il y a trois étapes. La première étape est l'interprétation des photos aériennes. La deuxième étape est l'étude des tirages. Les tirages donnent l'information du développement du profil du sol sur une pointe. On a fait un code de profil pour chaque pointe d'observation. Cette information est traduite en unités du sol dans la troisième étape avec la combinaison de l'information de la carte physiographique. Dans cette étape il est développé une légende pour une carte du sol. Finalement cette carte est fait avec la carte physiographique et le code du profil.

#### 4.3.2 Les formes utilisées.

Pour chaque point d'observation on a fait une description de la région autour de cette pointe d'environ 60 par 60 mètre. On a fait des estimations de l'occupation de la surface du sol. On a regardé la présence, en pourcentages, des arbres, arbustes, herbes, croûte et sol nu. Après on a fait une estimation des pourcentages des cailloux et graviers du sol nu. On a regardé à l'érosion par le ruissellement et fait des estimation de cela. Tous ces informations donnent une vue générale de cette pointe et de dégradation spécifique.

Le tirage donne l'information sur la texture, la couleur [Munsell Soil Color Chart et Color Chart Japonais], la genèse pédologique et des processus géomorphologiques. La formule de description est en annexe 3.

Sur le terrain on examine la dégradation de deux manières. La présence ou l'absence du végétation et le degré d'érosion par ruissellement. Le ruissellement est indiqué sur la carte de sol. La dégradation de la végétation deviens est traitée par A. Belemvire [attendre en mai 1993] dans son mémoires d'études.

#### 4.3.3 Le code du profil du tirage.

Pour travailler avec l'information des tirages, on a construit un code qui explique le développement du profil. Dans le code, il y a les données de profondeur, de surface, de texture et de développement pédologique. Le code est décrit en annexe 4A. Le résultat apparait sur la carte du profil (annexe 4B) présenté dans le chapitre 5.

#### 4.3.4 Les fosses du profile.

Les tirages comme expliqué dans les autres paragraphes ne donnent pas d'information exacte sur la pédologie. On a besoin des fosses de profil avec des descriptions exactes par horizon et des analyses. Pendant la recherche 4 fosse ont été examinées. Une fosse dans la région de méta-vulcanite, deux fosses dans la vallée; un profil sableux et une limoneux et une quatrième fosse dans un sol dégradée. Boulet a fait une description d'un fosse de profil dans limon. La description suit le guide pour les description du sol par le FAO [1990]. Les résultats appuient les résultats des tirages et les analyses donnent l'information supplémentaire pour une évaluation de la terre. La présentation des profils et des analyses apparaissent dans chapitre 5 et la description complète et les analyses sont présentées dans annexe 1A-D.

### 4.4 Le Système Global des Positions (GPS).

#### 4.4.1 Introduction.

Les positions des observations sur le terrain ont été localisées sur les photos aériennes de 1:30.000. Il y a toujours une déformation sur les photos aériennes. Les photos ne donnent pas la topographie géométrique correcte. Pour traduire l'information des photos sur une la carte du sol

qui est correcte du point de vue topographique, il y a l'aide de GPS. Le Système Global des Positions (anglais; Global Position System: GPS) est un appareil qui calcule la position sur le terrain à l'aide signaux de satellites. L'appareil qui est utilisé est le "PathfinderBasic" de la firme Trimble Navigation. Il donne les coordonnées de la position et l'altitude. Dans ce cas-ci, on a choisi les coordonnées en unité de Mercator Transverse Universelle (setup GPS: UTM, european 1950), parce que de cette manière, les données sont facilement combinées avec la carte topographique 1:200.000 et l'image satellite. L'unité de données du GPS et de l'image satellite est le mètre.

4.4.2 La précision.

Le fabricant du GPS écrit dans le manuel [Trimble Navigation, 1990] que le GPS a une précision de 2 à 5 m. Cette précision est très utile pour positionner les observations des mesures de réflectance sur le terrain pour retrouver le pixel qui représente l'unité dans l'image satellite. Long et al [1991] écrivent que la précision est d'environ 30 m. Pour contrôler la précision du GPS utilisé, nous avons fait un test sur le terrain. Il n'était pas possible de contrôler la position exacte en coordonnées MTU, parce que la carte topographique de 1:200.000 ne donne pas l'information d'une pointe, exacte sur le terrain en coordonnée MTU. Avec la précision relative de l'appareil il est possible de contrôler. Pour cela nous avons fait un test avec deux GPS's, pour faire des mesures de position au même endroit et au même moment.

Tableau 4.1 Résultats des mesures des précisions des GPS's.

en m.	GPS 1		GPS 2	
	X	Y	X	Y
moyen	708012	1445674	707979	1445659
s <sup>2</sup>	9,8283	25,5409	8.8028	25.5045
min.	707994	1445632	707979	1445619
max.	708030	1445705	708006	1445689
dif.	36	73	27	70

Long et al [1990] suggèrent de faire des mesures toutes les 10 secondes et de prendre la moyenne de ces mesures. Avec le test nous avons fait 20 mesures toutes les 10 secondes. La figure 4.1 donne les résultats topographiques et la tableau 4.1 quelques résultats statistiques.

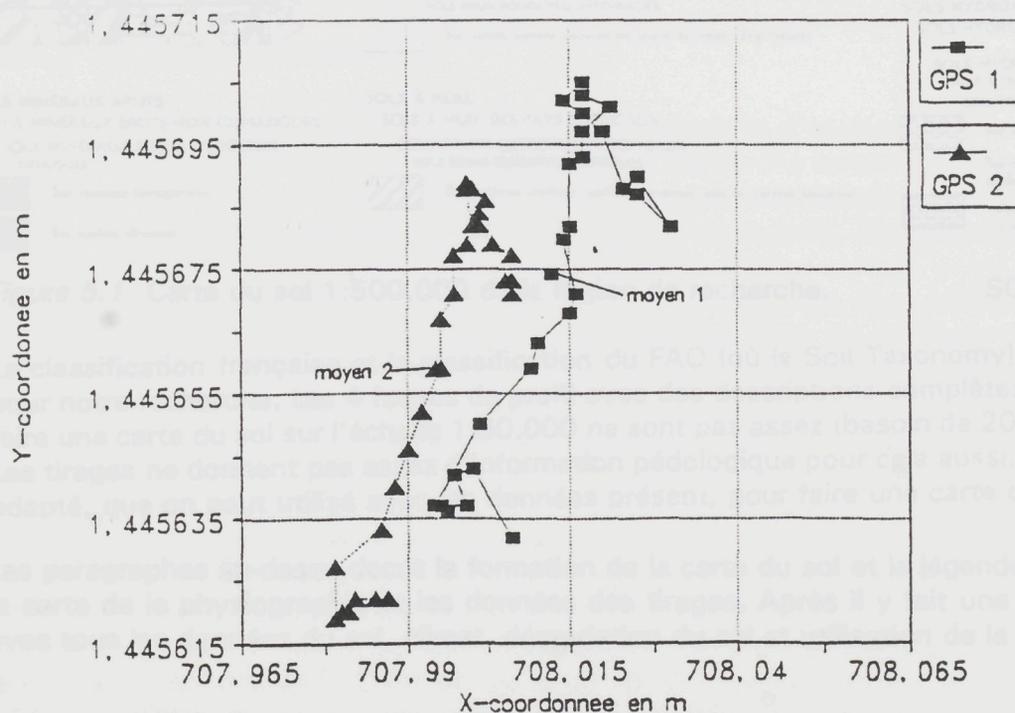


Figure 4.1: GPS test de deux appareils. Mesures effectuées au même endroit.

La distance réelle entre les deux GPS's est de 20 cm. Avec ça, la distance mesurée est de 36.25m<sup>1</sup>. Cela veut dire que l'erreur du GPS est environ 36.05m. Pour la recherche sur le terrain, on a constaté que 10 mesures effectuées toutes les 20 secondes donnent un résultat assez exact. Les données de l'altitude ne sont pas assez exactes pour être utilisées. De plus, il est prouvé que le calcul à l'aide de 4 satellites est plus exact qu'avec 3 satellites.

#### 4.4.3 L'utilisation sur le terrain.

Les données du GPS ont été utilisées en deux cas. Premièrement pour positionner les observations du sol; les trous de profil et les tirages. Hélas, il n'y a pas été possible de faire des mesures avec le GPS chez chaque point d'observation, parce qu'il y avait seulement un GPS pour deux groupes des chercheurs. Deuxièmement pour des observations de réflectance avec le croscan. Cela est expliqué en chapitre 6.

Avec les données de positions de GPS, il est possible de combiner les données de croscan avec la valeur digitale du même pixel sur l'image satellite. La méthodologie et résultats sont discutés en chapitre 6.

## CHAPITRE 5. LA RECHERCHE DU SOL ET L'ÉVALUATION DE LA TERRE

### 5.1 Introduction.

Dans la région de recherche il n'a y pas été beaucoup des recherches. Boulet [1968] a fait une recherche avec la classification française [SPCS, 1967]. L'échelle de cette recherche (1:500.000) n'est pas très utile pour notre recherche. Figure 5.1 donne cette carte du sol pour la région de recherche.

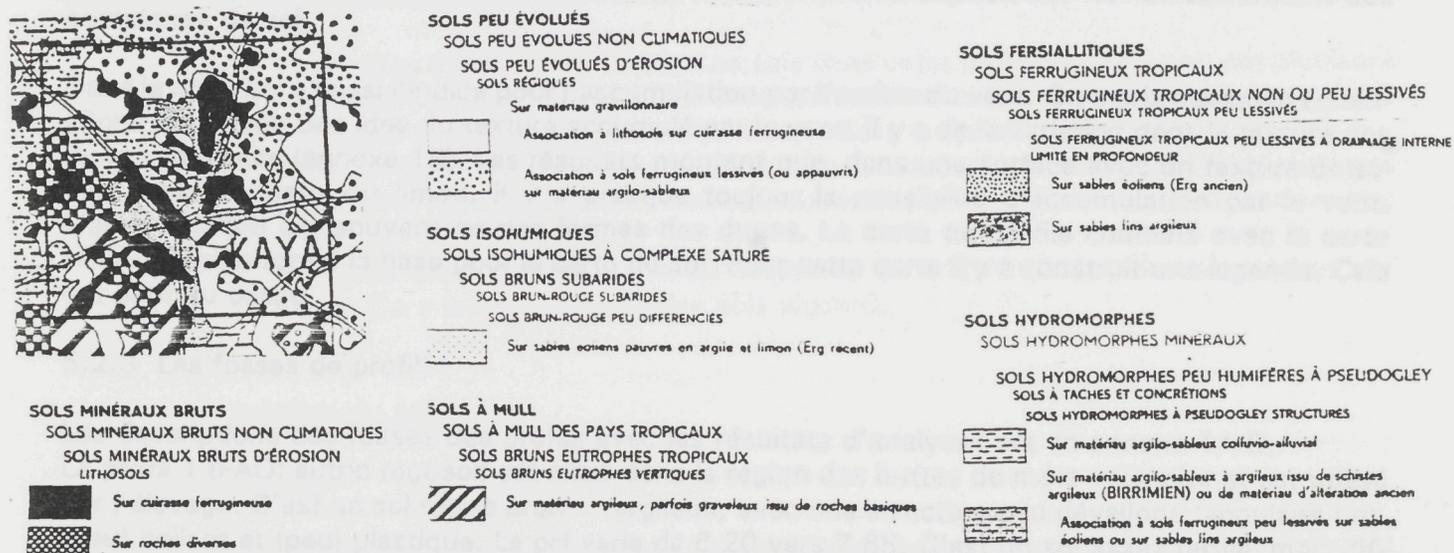


Figure 5.1 Carte du sol 1:500.000 de la région de recherche.

SOURCE: Boulet, 1968.

La classification française et la classification du FAO (où le Soil Taxonomy) ne sont pas très utiles pour notre recherche. Les 4 fosses de profil avec des descriptions complètes et des analyses pour faire une carte du sol sur l'échelle 1:30.000 ne sont pas assez (besoin de 20 à 25 [Landon, 1984]). Les tirages ne donnent pas assez d'information pédologique pour cela aussi. On a fait une légende adaptée, que on peut utiliser avec les données présentes, pour faire une carte de sol.

Les paragraphes au-dessus décrivent la formation de la carte du sol et la légende avec les données de la carte de la physiographie et les données des tirages. Après il y a fait une évaluation de la terre avec tous les données du sol, climat, dégradation du sol et utilisation de la terre.

$$1. \sqrt{[(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2]} = \Rightarrow \sqrt{[(708012-707979)^2 + (1445674-1445659)^2]} = 36.25 \text{ m.}$$

## 5.2 Les résultats de la physiographie et les tirages.

### 5.2.1 La carte de la physiographie.

Le premier stage pour faire une carte du sol est la carte physiographique. Cette carte est formé avec l'interprétation des photos aériennes, qui sont contrôlé sur le terrain. Les unités de la physiographie sont les bases pour la carte de la code de sol et la carte de sol. Les unités du physiographie ressemble les grandes unités du paysage déjà décrit en chapitre 3. Le résultat est en annexe 2B.

### 5.2.2 La carte de la code de sol.

Le deuxième stage est la carte du profil. Les bords des unités de la carte du physiographie sont les bases pour les bords de la carte de code de sol. Il y a beaucoup de variation en les développements des profils. Ainsi il est nécessaire de faire une simplification dans la code de sol. Mais il reste encore beaucoup des différentes codes. Il faut faire des complexes des codes de sol. Cette complexes sont présente dans la carte de la code de sol (annexe 4B).

*Par paysage, les codes du profile générale sont;*

**Cuirasses:** ils sont des profils pas profonds avec beaucoup des graviers au surface et accumulation par l'action du vent de sablo-limoneux ou limon; C4L, D3K. Les pentes rapides et les bas de pentes des cuirasses ont des profils plus profonds.

**Buttes de méta-vulcanites:** dans cette région il y a une grande changement des types de sol. Il y a des sols pas profond avec beaucoup des graviers au surface; D3K, mais aussi des sols profonds développée dans l'argile; A3W. L'accumulation des graviers au surface est d'une stage de ruissellement récent.

**Les vallées:** dans ce paysage il y ont deux régions. La région dans le Nord-Est ont plusieurs des sols sableux et limoneux, parce qu'il y ont des granites dans le sous-sol, qui sont dégradées. Le résidu est un sol sableux. La région du Sud-Ouest est plus compliqué, parce que il y a une grande changement entre les cuirasses et les buttes de méta-vulcanites. Les différentes roches mères donnent des grandes différences entre les textures.

**Les bas-fonds:** avec des grandes différences. L'influence des dépositions fluviatiles forment des complexes de sol.

Dans la code il y a aussi l'indice pour l'accumulation par l'action du vent. On a pris quelques échantillons pour avoir une idée du texture accumulé par le vent. Il y a de la variation dans le texture des dunes éoliennes (annexe 1E). Les résultats montrent que, dans une surface avec un texture de sable, sablo-limoneux ou limon, il y a presque toujours la possibilité d'accumulation par le vent. L'accumulation est souvent en des formes des dunes. La carte du profile combiné avec la carte physiographie formé la base pour la carte du sol. Pour cette carte il y a construit une légende. Cela est écrit au dessus.

### 5.2.3 Les fosses de profil.

Les descriptions des fosses des profils avec les résultats d'analyses est en annexe 1A-D.

**Le profil 1 (FAO: eutric regosol)** est situé dans la région des buttes de méta-volcanite et est utilisé par l'élevage. C'est un sol rouge brun argileux, avec une structure peu développé (angulaire fin), (peu) collant et (peu) plastique. Le pH varie de 6,20 vers 7,65. C'est un sol assez fertile, mais difficile à labouré.

**Le profil 2 (FAO: dystric fluvisol)** est situé chez un bas-fonds dans la région de granite et utilisé pour les mils. C'est un sol brun vif de limono-sableux, avec un structure faible (polyédrique sub-angulaire), peu collant et pas plastique. Entre 45 et 90 cm. il y a une horizon massive, qui peut donné des problèmes de drainage. Le pH varie entre 5,88 et 6,21. C'est un sol pas fertile, mais il est situé très proche d'un village et les produits résiduaire sont monté sur les champs.

**Le profil 3 (FAO: eutric fluvisol)** est situé dans la région des buttes de méta-volcanites avec des cuirasses. Le sol est utilisé par les mils. C'est un sol brun de limono-argileux-sableux, avec une structure moyenne (angulaire faible et forte), peu collant et peu plastique. Le pH varie entre 5,33 et 5,83. C'est un sol un peu fertile, qui peut donner des problèmes sans l'utilisation de fumier.

**Le profil 4 (FAO: eutic fluvisol)** est un sol situé dans un région très dégradé par l'érosion dans la région de granite. C'est un sol complètement nu. On a choisi cette endroit spécialement pour regardé à un sol dégradé. C'est un sol brun vif de limono-sableux, avec un structure moyenne (angulaire friable moyenne), peu collant et peu plastique. Le pH varie entre 4,86 et 7,03(!). C'est un sol pas fertile.

### 5.3 La carte de sol.

#### 5.3.1 La legende de la carte de sol.

Avec l'information dans la carte de physiographie, la carte de la code de sol, les fosses de profil et la littérature, il est possible de faire une legende pour la carte de sol. Dans cette legende il est necessaire de regardé aux sujets suivantes;

- les paysages principaux de la physiographie,
- les caracteristiques des sols qui sont présents et
- des indication de ruiselement.

La legende est formé avec quatre paysages, les indications des physiographie spéciale (comme la bas de pente colluvial), la développement du profil en terme de texture et des indications d'érosion. Toutes ces informations, qui sont représenter par une lettre ou une chiffre forment des codes pour la carte de sol. De cette manière l'information du terrain et de la pédologie est combiné dans une code de sol. Cette code forme des complexes des unités de la carte de physiographie et des unités de la carte de la code de sol. La couleur des sols est normalement entre 5YR4-6/5-8 et 7,5YR4-6/5-8 et pour cela ce n'est pas une indication diagnostique. La legende et la carte de sol est présenté en annexe 5A/B.

#### 5.3.2 La carte de sol.

La carte de sol montre une relation directe entre les sols et la géologie. La carte géologique de Hottin [1976, voir chapitre 3] n'est pas très détaillée, mais les unités géologiques sont aussi visible sur la carte du sol.

*Les cuirasses.* Dans les cuirasses il y ont plusieurs des sols pas profonds un texture limoneux. Il y a une accumulation de sable éolienne sur les cuirasses où à côté des crêtes des cuirasses sous le vent.

*La région avec les migmatites et granites indifférenciés.* Les sols dans cette région (Nord-Ouest) ont plusieurs une augmentation d'argile avec le profondeur (a2 et a3). Le ruiselement est diffus intense généralisé.

*La région avec les granites à biotite amphibole.* Les sols dans cette région (Sud-Ouest) ont plusieurs un texture limoneux. Le ruiselement est souvent concentré. Les unités de sol forment une mosaïque; les unités sont plus petits comme les unités de sol dans la région Nord-Ouest.

*La région avec les métavolcanites et volcano sédimentaire.* Les sols dans cette région sont plusieurs des sols pas profonds sur les roches mères des collines et des sols argileux (a1 et a2) sur les bas de pentes et les vallées.

*Les bas-fonds.* Les sols dans les bas-fonds ou adjacente de bas fond sont des complexes par l'influence fluviale. On y trouve souvent des sols argileux.

### 5.4 La dégradation du sol.

#### 5.4.1 Introduction.

Une définition pour la dégradation du sol est; une réduction du puissance du sol de production en terme de quantité, de qualité, des matières et des services dans le présent ou le future [Dregne, 1987; Higgins, 1988]. Le formation du laterite est en effet une dégradation du sol naturel [Barrow, 1991]. Dans la région du recherche il y ont des autres types de la dégradation du sol. Compaction de la surface par l'action du plui, décroissance de la fertilité du sol et le perdu de la matière organique du sol [Barrow, 1991]. L'érosion du sol deviens probablement quand le carbon organique est moins de 2% [Kirkby & Morgan, 1980]. Dans les climats secs, le perdu du matière organique deminue le conservation d'humidité du sol [Barrow, 1991]. Dans un sol, il y a toujours des changements comme addition, décroissance, translocation et transformation des éléments du sol et des éléments chimiques [Simonson, 1959]. Dans une recherche vers la dégradation du sol le problème est la distinction entre la dégradation du sol naturelle et la dégradation du sol influencé par l'homme.

Dans la recherche on a regardé en deux manières à la dégradation du sol. Premièrement une vue générale sur le terrain pendent les tirages. On a regardé à l'effect du formation des croutes et l'érosion par le ruiselement. Le résultat est montré dans la carte de la physiographie et de sol par

les indices d, g et i du ruissellement. C'est la dégradation par ruissellement. La dégradation en détail dans le profil du sol est expliqué au dessus.

#### 5.4.2 Le dégradation du sol dans les profils.

En générale, le pourcentage du Carbon totale dans toutes les profiles est sous le 2% minimum de Kirkby et Morgan [1980]. Les sols sont sensible pour l'érosion et ont un puissance de conservation d'humidité mauvais. (Il y ont des graphiques des changements dans les profils en annexe 1A-D)

*Profil 1* Le profil est dans une région avec peu d'activités de l'homme; une région pour l'élevage. Le texture est argilleux, pas sensible pour érosion. Il n'y a pas des indications d'une dégradation.

*Profil 2* Le profil est positioné dans une région utilisé très intensive avec une texture limono-sableux. Il y a une dégradation du Potassium assimilable dans le profondeur du 0-89 cm. Après cette profondeur, le Potassium assimilable est plus haute.

*Profile 3* La dégradation dans le profil du Potassium assimilable est aussi présent ici. C'est la même pour l'échangeable {  $Ca^{2+} + Mg^{2+} / Na^{+} + K^{+}$  }.

*Profile 4* La dégradation du sol est plus forte dans ce profil. L'érosion est aussi le plus intense. Il y a une dégradation dans le taux de saturation, échangeable {  $Ca^{2+} / Mg^{2+}$  }, le pH, le Potassium totale, le Potassium assimilable et l'échangeable {  $Ca^{2+} + Mg^{2+} / Na^{+} + K^{+}$  }.

Les résultats des analyses donnent le preuve pour les problèmes de la fertilité des sols et la dégradation des sols par une utilisation des sols trop intense.

### 5.5 L'évaluation de la terre.

#### 5.5.1 Introduction.

L'évaluation de la terre et en effet le fin de la recherche du sol. Tous les données recueilli sont combiner et sont traduit en des conclusions pour l'agriculture. Dans une évaluation de la terre il y a deux option assemblé. On assige des régions apte pour l'agriculture et des régions peu apte avec leurs limitations. Cette limitations peut dit quelque chose des solutions pour obtenu des terres plus aptes.

Dans l'évaluation de la terre on ne confond pas les esquisses de terre et de sol, parce que le sol est seulement une parti de la terre ensemble avec la végétation, la physiographie, le hydrologie, le climat, l'infrastructure etc. [Driesen & Konijn, 1992]. On a fait une évaluation de la terre avec l'information du terrain connue; le sol et la physiographie. On a regardé à les cultures utilisé dans la région de la recherche e.g. maïs, mii, sorgho et arachide. On a regardé seulement à les potentielles du paysage et du sol. L'évaluation économique et sociologique est pour des autre volet du projet.

Pour une évaluation de la terre pédologique il y ont quelque possibilité des systèmes. Presque chaque système utilise des donnés du sol complète e.g. description totale, donnés physiques et chimique. Le système du FAO [1976b] travaille avec cetttes informations. Dans la région de recherche il y a seulement 4 description du sol avec des analyses (besoin 20 à 25 [Landon, 1984]). Les tirages ne donne pas assez d'information pour une classification exacte. On a fait une classification adapté pour les donnés présent. On a utilisé le système du FAO en combinaison avec le système du BUNASOL [1989].

#### 5.5.2 Les conditions climatologiques et pédologiques.

Dans l'évaluation on a regardé à les cultures de la région de recherche. Les cultures dans les champs donnent des conditions pour l'évaluation, e.g. des conditions du climat et du sol. Le tableau 5.1 donne une sommation pour les cultures. Quand on regarde à les conditions du climat et du sol en générale, les dates du climat et des analyses du sol donnent des problèmes avec;

- la cycle végétative et
- la fertilité du sol; les nutriments et la matière organique.

Cettes conditions sont supposer constante dans la région de recherche. La fertilité du sol varie avec la texture (plus fertile quand le sol est plus argileux). Dans l'évaluation, le climat et cetttes limitations et les limitations générales du fertilité ne sont pas ajouté. L'évaluation est pour cela seulement valable pour la région de recherche avec les conditions présent.

Tableau 5.1 Conditions pour les cultures utilisés.  
SOURCE: Mémento de l'agronome, 1991.

	cycle végétatif	température	humidité
Maïs	± 120 j.	30-32 °C	600 mm/cycle
Milz/Sorgho <sup>(1)</sup>	90-200 j.	*	moins de maïs
Arachide	100-140 j.	24-35 °C	*

(1) Il y a beaucoup d'espèces de mils et sorghos. On a pris celles ensemble.

\* Il n'y a pas de données de cela.

	sol
Maïs	fertile et profond
Milz/Sorgho	bien drainés, assez profond
Arachide	bien drainés et aérés, facile de pénétrer

### 5.5.3 Le système de l'évaluation.

On a regardé dans l'évaluation à les conditions suivante (quand connue):

- profondeur du sol (racines),
- graviers aux surface (labourable),
- fertilité } (information dans le texture),
- humidité }
- drainage (disponibilité de l'eau),
- ruissellement (érosion ou présence de l'eau) et
- position sur le terrain.

On a essayé de combiner les conditions pour les différentes cultures dans la même code d'évaluation. Cette code est une code avec une déminé d'aptitude pour la culture avec les conditions le plus fortes; le maïs, après le mils/sorgho et après les arachides. Malheureusement il n'y a pas assez d'information pour la fertilité et la humidité du sol. Il reste l'information dans la code du développement du profil et l'information du physiographie. L'évaluation suivre le système du F.A.O. [1976b] (figure 5.2).

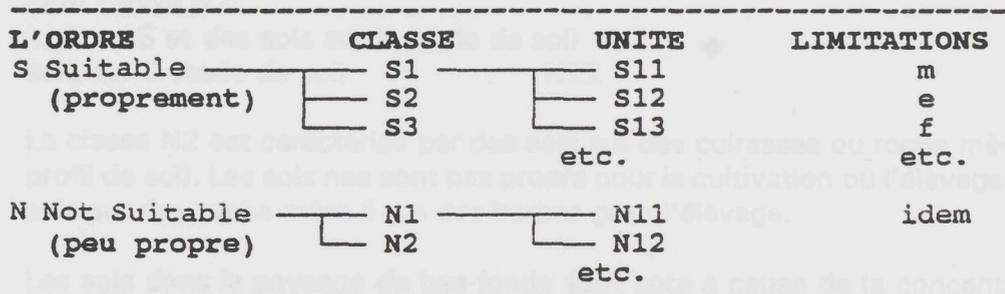


Figure 5.2 Structure de la classification.

Dans le système du FAO il y ont des ordres, des classes, des sous-classes et des unités. Une division dans cette manière est trop détaillé pour la recherche. Les limitations sont aussi adapté à les conditions de la recherche. On a regardé à les limitations décrive par Eltom [1989].

Les classes de S1-3 ne sont pas des classes comme utiliser par le FAO, mais ils sont des classes d'aptitude pour maïs. On a essayer de combiner les conditions pour les 4 cultures present dans la région de recherche dans une code. Les conditions pour maïs sont le plus fort. Dans le clé pour les cultures il est expliqué de plus.

L'évaluation de la terre dans la région de recherche utilise l'information dans la code du profil de sol et de la physiographie. Le clé dans l'ordre et les classes est la profondeur. Le profondeur donne des limitations pour les racines des cultures.

profondeur: A	Ordre: S	Classe: S1
B	S	S2
C	S	S3
D	N	N1 et N2

La texture donne des limitations en fertilité, humidité et structure (e.g. pénétration par des racines). On a fait une simplification sur la texture dans la code du profil de sol.

La texture est présentée en trois classes:

S et Z = S; Sableux,

L, M et V = L; Limoneux et

X, Y et W = A; Argileux.

La texture donne l'information des quelques propriétés d'agriculture. La fertilité, la rétention de l'eau, la structure et le labourage. Quand on combine ces propriétés, la texture limoneuse est la plus propre pour les cultures. Elle est assez fertile, a une rétention et drainage de l'eau bien, est facile de pénétré par les racines des cultures et est facile de labouré. Des sols argilleux sont moins propre, parce que il est trop dur à labouré et pénétré et la rétention de l'eau est moins comme avec des sols limoneux. Des sols sableux ne sont pas fertile et ont une structure trop faible.

Avec cette simplification dans la texture, on fait la classification dans des unités. On regarde à la texture qui est présent de plus dans le profil. Limon est le propre plus, après argille et sable. Avec cette information il est possible de classifié les sols dans les unités d'aptitude avec la code de sol simplifié.

Pour classe S1:

S/L/L S11, S/A/A S12, S/S/S S13,

S/L/A S11, L/A/A S12, S/S/L S13,

L/L/L S11, A/A/A S12, S/S/A S13,

L/L/A S11.

Pour classe S2:

S/L S21, S/A S22, S/S S23,

L/L S21, A/A S22,

L/A S21.

Pour classe S3:

L S31, A S32, S S33.

Pour classe N1:

L ou A N11, S N12.

Pour classe N2:

L, A ou S et des sols sur K (code de sol) N21

sols sur C (code de sol) N22

La classe N2 est caractérisé par des sols sur des cuirasses ou roche mère (C et K dans la code du profil de sol). Les sols nes sont pas propre pour la cultivation ou l'élevage. Seulement dans quelque sols sur des roche mère il y a des herbes pour l'élevage.

Les sols dans la paysage de bas-fonds sont apte à cause de la concentration de l'eau. Les sous-classes dans cette paysage sont augmenté par une unité (e.g S23-->S22).

On fait une indication du limitation quand il y a une. On fait seulement une limitation, celui est le plus importante. Quand il y a plus de deux limitations l'unité est déminé avec une unité (e.g. S12-->S13). Le limitation le plus importante reste dans le code. Dans le liste suivante le limitation le plus importante est en tête.

f: fertilité (chez S/L/L, S/S/S et S/L)<sup>1</sup>

e: érosion (ruissellement i)<sup>3</sup>

h: humidité (ruissellement d) et drainage (présence des tache brun ou rouge)<sup>4</sup>

a: accessibilité du surface (texture A au surface)<sup>2</sup>

g: gravier au surface (plus de 15% = code 3 ou 4)<sup>2</sup>

p: pente (moyen ou rapide)

(1): Il y a une relation entre la fertilité et le pourcentage d'argile. Quand il n'y a pas assez d il y a une limitation de fertilité.

(2): Limitation de labourage.

(3): Quand le ruissellement est intense et concentré (i) la surface du sol est érodé.

(4): Quand le ruissellement est diffuse (d) il n'y a pas une concentration de l'eau et les cultures obtiens moins de l'eau dans cette région. La présence des tache indique une drainage imparfait.

Cela peut donner des problème pour les cultures. Figure 5.3 donne le clé pour le proprement par culture par unité. Maïs a besoin des sols plus profond et fertile comme mil/sorgho. Les sols le plus apte pour maïs sont aussi apte pour mil/sorgho. Les sols sableux ne sont pas très apte pour maïs et mil/sorgho à cause d'une structure pouvre. Cela n'est pas le cas chez les arachides, parce que les racines des arachides ont des problèmes avec le pénétration dans une texture trop argilleux.

	Propre	Peu propre	Pas propre
maïs	S11, S12	S21, S22	le reste
mil/sorgho	S11, S12, S13 S21, S22	S23, S31, S32	le reste
arachide	tout les sols S, sauf avec A au surface	N11, N12	les sols avec A au surface et N21 et N22
élevage	N11, N12, N21	--	N22

Figure 5.3 Clé d'aptitude par culture pour les unités.

#### 5.5.4 La carte de l'évaluation de la terre.

Quand on vois la carte d'évaluation de la terre (annexe 6B), il y ont assez beaucoup des terres utile pour des cultures maïs, mil/sorgho et arachide. Il est le profondeur qui est distinctive dans ce cas. Les effets de l'érosion et de la fertilité du sol ne sont pas encore bien incorporé. On a besoin des résultats plus des analyses du sol, pour avoir des données plus détaillé pour une évaluation de la terre par culture.

#### 5.5.5 Conclusion.

L'évaluation de la terre fait ici n'est pas exacte. On a besoin des donnés des éléments chimiques du sol et des propriétés physiques plus. Avec cettes donnés une classification par culture plus détaillé est possible. Maintenant l'évaluation donne une premier vue générale des possibilités dans cette région. Les régions qui sont très dégradé par l'érosion, sont des régions très utile pour une recherche plus détaillé vers cette dégradation.



6.1 Introduction.

La deuxième partie de la recherche sont les analyses des images satellites et les mesurages de la réflectance de la surface. Les résultats de cette recherche peut donner d'information additionnel du terrain. L'information qui n'est pas visible ou possible de mesurer sur le terrain avec la recherche du sol traditionnel. Le changement pendant le temps par l'utilisation des images des différentes saisons et années. Cela donne d'information du dynamique du terrain. Avec l'information exacte du terrain il est possible de traduire les données des images vers une région plus grande. Le chapitre 6 discute les mesure du terrain avec le radiomètre "Cropscan" et la combinaison avec les données de TM. Le chapitre 7 discute les analyses des images satellite du Landsat Thematic Mapper. Dans cette chapitre la méthodologie et la discussion des résultats n'est pas séparé comme dans la partie du sol.

6.2 Le travail du terrain.

6.2.1 Mesurer la réflectance.

Chaque élément d'un paysage a sa réflectance spécifique. La réflectance d'une arbuste est différente de la réflectance d'une surface des graviers. On a mesuré la réflectance du terrain avec le 'cropscan'. Le cropscan fait des mesurages avec 8 senseur dans les bandes spectrales visibles et proche infra-rouge (tableau 6.1). L'appareil est développé spécialement pour mesurer les réflectances des végétations. La tête d'appareille est positionné environ 2 mètre au-dessus de la surface et mesure la réflectance d'une surface d'environ 1 sur 1 mètre. Il y ont 8 senseurs qui mesurent la radiation directe du soleil et 8 senseur qui mesurent la radiation réflécté par la surface. On calcule avec ces données le pourcentage du réflectance. Par élément par endroit on mesure 5 fois la réflectance de cette élément et l'appareille calcule la moyenne et la sauvegardé. Après quelques labourages on peut faire des courbes de la réflectance pour l'analyser.

Tableau 6.1 Les senseurs du cropscan.

Bande nr.	Filtre (µm)	Bande nr.	Filtre (µm)
1	490	5	740
2	550	6	780
3	670	7	870
4	700	8	1090

Ils ont fait des mesurages deux fois pendant le période du recherche pour avoir une idée du changement pendant le temps. Le première mesurage est fait dans la saison humide en aout et septembre et le deuxième mesurage à la commencement du saison seche à la fin d'octobre.

6.2.2 Combiner les positions du GPS avec l'image satellite.

Le fonctionnement du GPS est déjà explicé en chapitre 4. Le paragraph ici décrit l'utilisation du GPS en combinaison avec les images satellites. Pour combiner les positions de GPS avec les coordonnées des pixels de l'image satellite, nous avons fait des mesurages sur le terrain avec le GPS à des endroits apparaissent clairement sur l'image satellite. Ce sont des pixels qui sont vraiment possibles de retrouver sur le terrain; des endroits sur les cuirasses. Pour faire cette étude 15 mesurages ont été effectuées avec le GPS sur le terrain (à chaque point 10 mesurages). Les positions des coordonnées X et Y ont été comparées avec les coordonnées X et Y (colonnes et lignes) de l'image avec IDRISI. Les calculs ont été faits avec les moyennes de chaque observation des données du GPS sur le terrain. Les coordonnées de l'image satellite qui sont utilisées, sont des coordonnées définitives de la région de recherche. Il y a une relation linéaire entre les deux coordonnées de X et Y. Pour la coordonnée X la formule est la suivante:

$$\text{Colonne}_{\text{image}} = -28174 + 0,04025 * X_{\text{GPS}} \text{ avec } R^2 = 0,999745. \quad (6.1)$$

Pour la coordonnée Y la formule est la suivante

$$\text{Ligne}_{\text{image}} = 58196 - 0,03989 * Y_{\text{GPS}} \text{ avec } R^2 = 0,999884. \quad (6.2)$$

Les figures 6.1A et 6.2B donnent la relation linéaire entre le GPS et l'image.

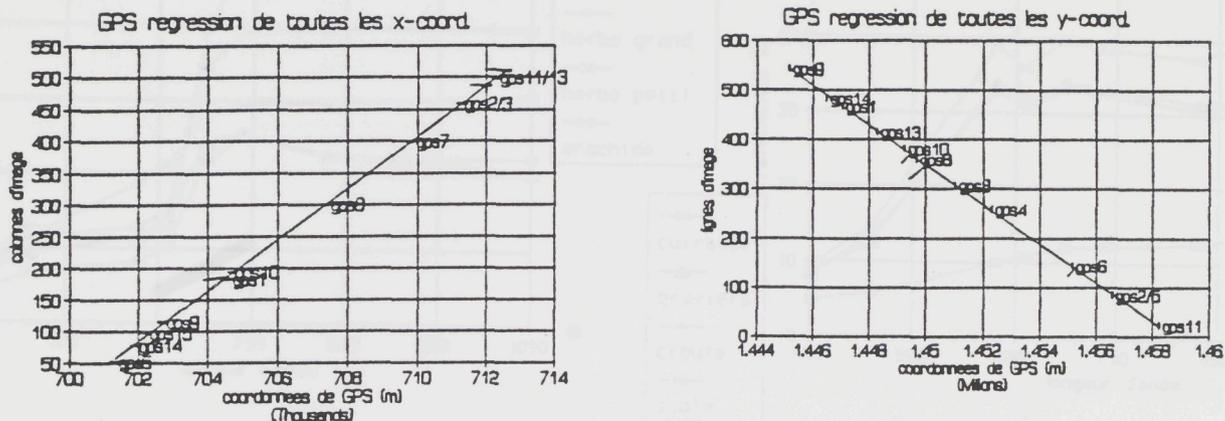


Figure 6.1 Relations entre les données des coordonnées du GPS et l'image satellite; A: des coordonnées-X et des colonnes; B: des coordonnées-Y et des lignes.

Avec ces deux relations, il est possible de calculer les positions sur l'image satellite avec les données du GPS sur le terrain. Les relations sont seulement valides pour cette partie de l'image satellite qui est choisie comme région de recherche. Les  $r^2$  des deux engagements sont très élevés. Quand on regarde à les positions des pixels sur l'image (en colonnes et lignes) et les positions calculées par les formules 6.1 et 6.2, il y a des variations. Pour la coordonnée-X il y a une variation maximale de 5 pixels (150m. sur le terrain) et une variation moyenne de 2,11 (65m.) et pour la coordonnée-Y, il y a un variation maximale de 6 (180m.) pixels et un variation moyenne de 1,61 (50m.). Les relations linéaire sont très exacte, mais ils sont mesuré dans un espace grand (15 à 15 km.) et pour cela l'erreur est aussi 'grande'. Il y a aussi une problème avec le mesurage du position avec le GPS sur le terrain. Un pixel correspond une surface (de 30 sur 30 mètres) et le mesurage du GPS est seulement un point. Cela veut dire qu'il y a déjà une erreur d'environ 15 mètres par mesurage; on ne sait pas exacte sur le terrain le centre du pixel. Avec l'erreur de l'appareil de GPS de 36.25m, toutes les erreurs ensemble donnent une erreur pour le X-pixel et le Y-pixel de 3 à 4 pixels (90 à 120 mètre).

### Conclusions.

Il n'est pas possible d'utiliser les données du GPS pour combiné une position sur le terrain avec un position d'un pixel sur l'image satellite. L'erreur de 3 à 4 pixels est trop grande. Quand l'unité sur le terrain ou le mesurage du croscan est situé est assez élevée (environ 100 par 100m), on peut utiliser les relations linéaires calculées (formules 6.1 et 6.2).

## 6.3 Quelques résultats des mesures du croscan.

### 6.3.1 Les courbes de la reflectance.

Dans la région de recherche on a mesuré la réflectance des quelques éléments du paysage; la cuirasse, les cailloux et les graviers, le sol nu (croûté et sableux), les arbustes, les plantes rampantes et des différentes types des herbes. Les figures 6.2A et B donnent les courbes de la réflectance pour quelques éléments.

Il y a de variation dans chaque élément et pour cela dans chaque courbe de la réflectance. Il y a toujours des différences entre chaque mesurage par la phase du soleil, les nuages, l'humidité après la pluie et les variations dans les unités de la surface lui-même. Les figures donnent des moyennes. Les courbes de réflectance des plantes ont des formes caractéristiques. On voit que la forme de la courbe des arbustes et des plantes rampantes ressemble. La différence entre les herbes grandes et petits est effectuée par une influence plus grandes du sol chez les herbes petits.

L'influence des graviers ferritique dans les courbes de la réflectance sur les surfaces est grandes. Sur chaque surface il y ont des graviers, petite (2mm-5mm) ou grandes (plus de 5mm). Surtout sur la surface crousté, où les particules fins sont disparu par le ruissellement. Le fer ( $Fe^{2+}$ ) dans les cuirasses

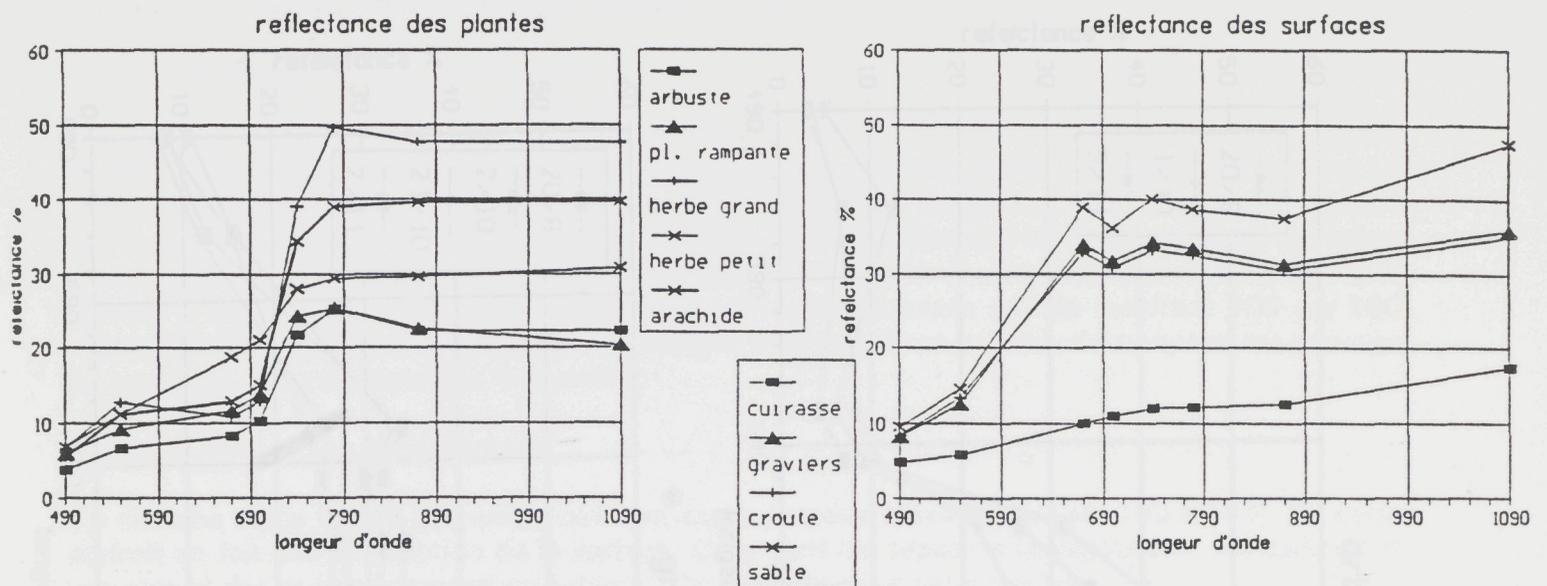


Figure 6.2 Courbes de la réflectance (%) A: des plantes et B: des surfaces.

ses absorbe la radiation du soleil [Mulders, 1987] et pour cela la courbe de la réflectance d'une cuirasse survivant (sans graviers) a des pourcentages de réflectance basse.

L'influence de la dessèchement de la végétation pendant le changement de la saison humide vers la saison sec est bien visible chez les herbes. Des courbes de la réflectance dans la période sec est plus utile pour la recherche, parce que cela ressemble plus l'image satellite en Janvier. Les surfaces des cuirasses ne donnent pas beaucoup d'influence de dessèchement. Les herbes et les arbustes, mais aussi les surfaces nues (humidité du sol) ont plus de changement de la dessèchement. La figure 6.3 donne quelque exemples. Les courbes présenté ici ne sont pas parfaite, parce que ils ne sont pas pris au même endroit et avec des conditions climatiques qui sont la même.

Des plantes (arbuste ou herbes) lesquelles sont vert (pendant la saison humide) ont une réflectance (%) plus bas, parce que il y a d'humidié dans les feuilles lesquelles absorbent la radiation du soleil. Experiments par le dessèchement des herbes [Mulders & van Logchem, 1992] présente une décroissance dans la bande 4 du TM (760-900nm). On ne vois pas cela ici, probablement parce que il y a des grandes differences entre les endroits des mesurages et la recouvrement des herbes mesurés. L'influence du dessèchement en les surfaces (graviers et sableux) n'est pas grande.

### 6.3.2 Les erreurs des mesurages.

Les mesurages de la réflectance sont particulièrement fait pour avoir une idée des valeurs digitales d'image satellite. Malheureusement il n'y a pas une image pendant la période de la recherche. L'image qui ressemble plus est du 8 Janvier. C'est presque toujours impossible de faire des mesurages de la réflectance sur le terrain au même temps quand le satellite passe la région. Normalement cela n'est pas trop grave. Mais une difference entre une saison sec et une saison humide peut donner des difference inacceptable. Les relations entre le pourcentage de la réflectance mesuré sur le terrain n'est pas bien comparable avec le valeur digitale de l'image satellite sur cette endroit. Pour cela une recherche du sol est importante, parce que cela donne l'information plus exacte pour l'interpretation des images satellite. Cette interpretation est explicé en chapitre 7.

Les mesurages sur le terrain ne sont pas pris toujours au moment optimale. Les mesurages avec nuages et pendant le matin tôt donne des pourcentages de la réflectance different. Pendant la recherche il y a été beaucoup des nuages.

Il est difficile de faire un mesurage exacte d'une élément du paysage petite (<2m), comme une arbuste. La milieu directe autour cette élément donne une addition de réflectance, parce que chaque élément a une réflexion diffuse [Lillesand & Kiefer, 1987]. Une autre problème est le mesurage de la réflectance d'un arbre. Ce n'est pas possible, parce que la barre du cropscan n'est pas assez grande. On a pris les valeurs de la réflectance d'une arbuste. Le position des feuilles, la distribution et la surface totale des feuilles ressemble le plus de cela.

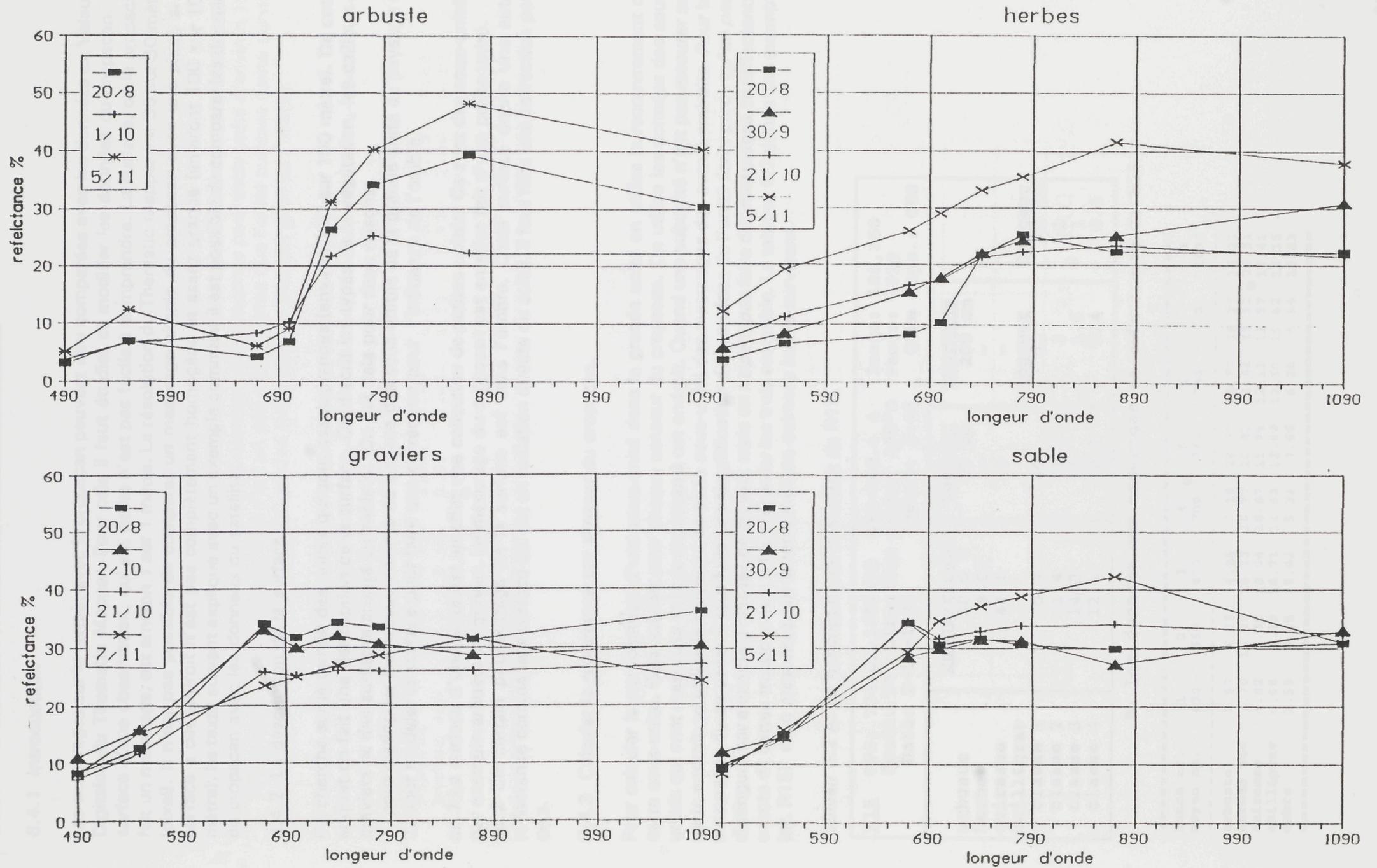


Figure 6.2 L'influence du secheresse A. des arbustes, B. des herbes, C. des graviers et D. du sable.

6.4 L'interprétation des données du crosscan vers le TM.

6.4.1 Introduction.

Les mesurages sur le terrain avec le crosscan peuvent être comparées avec les données en Valeurs Digitales du Thematic Mapper. Pour cela il faut étudier et modifier les données du crosscan. La surface d'une observation, qui est écrite n'est pas facile à comprendre. La surface, où le crosscan fait un mesurage, est environ 1 sur 1 mètre. La résolution du Thematic Mapper est 30 sur 30 mètre (pixel). Il n'est pas possible de comparer un mesurage simple du crosscan avec une pixel, si la surface à cet endroit n'est pas complètement homogène et assez grande (environ 100 sur 100 mètre). Le texte suivant explique avec un exemple comment il est possible de comparer les données du crosscan avec les données du satellite.

6.4.2 La description de la surface.

On cherche sur le terrain des unités qui sont assez grandes (environ 100 sur 100 mètre). De cette endroit on fait une description de la surface. On d'écrit les types de la végétation, les cailloux et graviers et des surfaces crouté ou sableux. On fait cela pour deux raisons:

1. pour distinguer les recouvrements de surface des sous-unités de la grande unité de paysage et
2. pour modeler la surface pour faire une correction pour l'influence de l'ombre.

*ad.1* La surface d'une unité est en effet une collection de petites unités. Ce sont des sous-unités, par exemple arbuste ou gravier. Le mesurage du crosscan est en effet fait d'une petite unité.

*ad.2* Un certain pourcentage de la surface est dans l'ombre. Cette surface donne une autre réflectance comme une surface qui est en radiation directe du soleil. Il faut faire une correction pour cela.

6.4.3 Calculer la reflectance par senseur du crosscan.

Pour calculer la participation d'une sous-unité dans la grande unité on utilise le recouvrement de cette sous-unité. Cela est fait pour chaque senseur du crosscan. On utilise les données des sous-unités qui sont mesurées avec le crosscan à cet endroit. Quand une subunité n'est pas mesurer sur cette endroit on utilise la moyenne de cette sous-unité des mesurages des autres endroits. Pour les mesurages du crosscan il faut faire une simplification de la surface de l'unité écrit, parce qu'on peut distinguer par exemple 3 classes de gravier, mais on ne peut pas faire des mesurages de réflectance exacte de cetttes trois classes. Il faut regarder les trois ensemble. La tableau 6.2 donne une exemple (nr. R15) d'un mesurage sur le terrain d'une cuirasse haute survivant.

Tableau 6.2 A. La description de la surface de R15.

R15 GPS: 704402,1452313 GPS-Ref.: 4 Image: 185,260				
Pente: 5% Direction pente: 170°S Photo: 7929				
Date: 2-10-1992 Heure: 8:45 Code Phys.: CHS				
	<u>recouvrement</u>	<u>hauteur</u>	<u>couronne</u>	
arbuste	20.0 %	80 cm	200 cm	
herbes	9.0	-	-	
cuirasse	42.6	-	-	
caill&grav			<u>longueur</u>	<u>largeur</u>
classe 1	0.7	50	90	60 cm
classe 2	1.4	1.5	3	2
classe 3	14.2	1	1.5	1
classe 4	12.1	0.2	0.4	0.3

B. Les données des mesurages de reflectance de R15.

bande nr.	1	2	3	4	5	6	7	8
moyen nm.	490	550	670	700	740	780	870	1090
arbuste	2.57	6.39	4.25	7.16	28.07	35.77	38.27	35.23
herbes sec	7.70	10.26	16.13	16.77	20.81	22.68	23.52	26.51
cuirasse	4.82	5.85	10.04	10.87	11.98	12.13	12.57	17.41
caill&grav	4.68	5.59	10.71	11.68	12.68	12.50	10.62	12.35
ombre	2.58	4.35	5.03	5.93	7.66	6.26	6.84	10.83

Le mesurage de l'ombre n'est pas un mesurage réelle. Cette une combinaison des autres mesurages de l'ombre à d'autres endroits. On a pris les valeurs le plus basses de ces mesurages. Ce sont des mesurages des quelques différents endroits avec des différentes surfaces e.g. graviers, sol nu etc. Cela a été fait, parce qu'il n'y a pas de bons mesurages de l'ombre à endroit R15.

On calcule maintenant le pourcentage de réflectance par sous-unité par senseur du cropsan et calcule, par addition, le pourcentage de la réflectance par senseur pour l'unité en total. Par exemple pour le senseur 1; Arbuste 20 % \* réflectance 2.57 % + Herbe 9 % \* réflectance % etc. = réflectance % total de 4.59. Tableau 6.3 donne le résultat de tous les calculs.

Figure 6.4 donne les courbes de réflectance des sous-unités et la moyenne pesé calculée pour toute la surface. Les moyennes sont des pourcentages de réflectance pour cette unité d'environ 100 sur 100 mètres. Dans le cas de R15 c'est un peu moins, parce que l'unité cuirasse haute survivant à cet endroit a seulement 30 sur 30 mètres (assez grande pour un pixel de l'image).

Tableau 6.3 Calcul définitif des réflectance par senseur du cropsan.

bande nr.		1	2	3	4	5	6	7	8
moyen nm.		490	550	670	700	740	780	870	1090
recouvrement %									
arbuste	20.0	0.51	1.28	0.85	1.43	5.61	7.15	7.65	7.05
herbes sec	9.0	0.69	0.92	1.45	1.51	1.87	2.04	2.12	2.39
cuirasse	42.6	2.05	2.49	4.28	4.63	5.10	5.17	5.35	7.42
caill&grav	28.4	1.33	1.59	3.04	3.32	3.60	3.55	3.02	3.51
totale	100.0	4.59	6.28	9.62	10.89	16.19	17.19	18.14	20.36

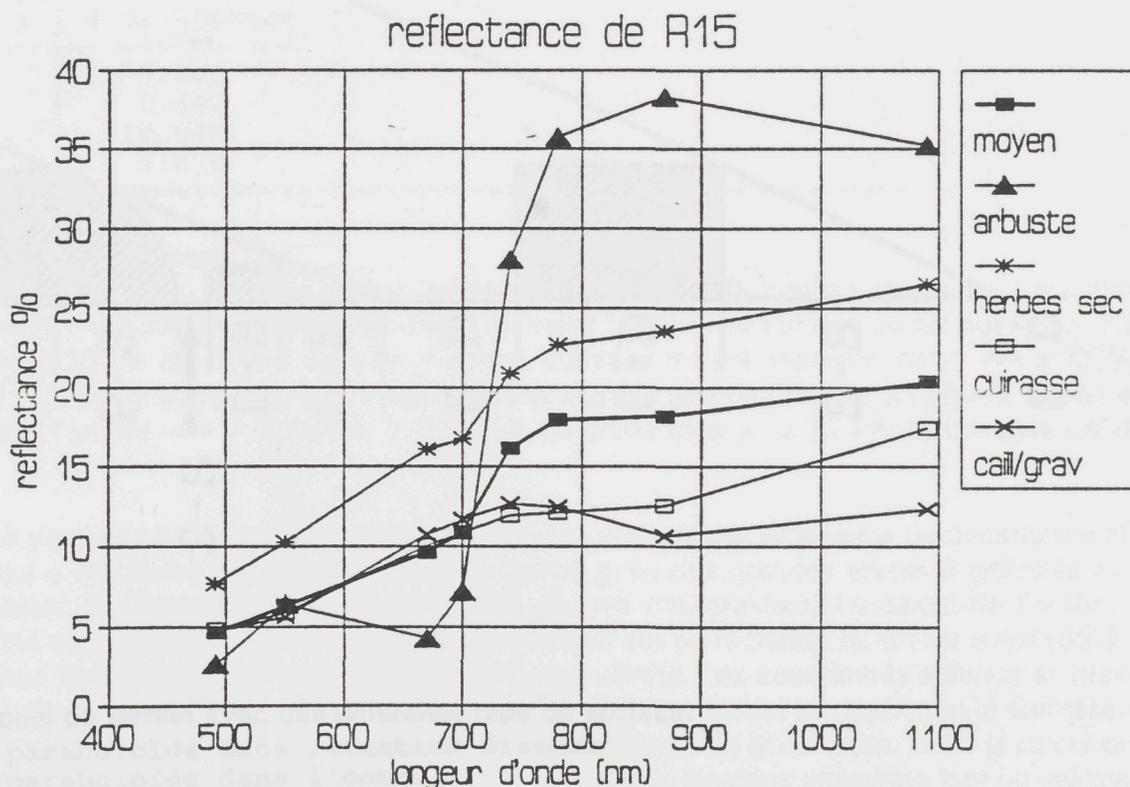


Figure 6.4 Les courbes de réflectance des sous-unités de l'unité R15.

6.4.4 La correction pour l'ombre.

*Théorie.*

Tous les objets qui sont à la surface d'une unité donnent de l'ombre. L'ombre donne une réduction de réflectance des sous-unités qui sont dans l'ombre et l'unité du paysage en total. On peut calculer l'influence de l'ombre des sous-unités exprimé en pourcentages des recouvrements de l'ombre sur la surface. Cette surface peut contenir d'autres sous-unités, qui donnent encore de l'ombre. Pour cela il faut modeler la surface. Cela a été fait avec le programme GeoREM (Geometric REflection Model) de l'Université Agronomique de Wageningen [Mulders et al, 1992]. Ce programme modèle la surface d'un terrain comme suit:

- des arbustes; dans le modèle ils sont des parabololoïdes,
- des cailloux et graviers; dans le modèle ils sont des blocs.
- des ondulations comme des dunes [Mulders et al, 1992].

Les herbes ne sont pas possible à modeler. Il n'est pas nécessaire de la faire, parce que dans la sous-unité "herbe", l'influence de l'ombre est conclue avec le mesurage de réflectance. Parfois l'influence de l'ombre des herbes est négligeable. Il est possible de modeler les arbres, mais à ce moment cela n'est pas possible avec le programme.

Avec les simplifications des sous-unités en parabololoïdes et blocs la surface du terrain est modeller. La programme calcule le pourcentage de recouvrement des sous-unités qui sont dans l'influence de l'ombre des autres sous-unités. La figure 6.5 donne un exemple comment cela a été fait pour une surface avec des parabololoïdes et des blocs.

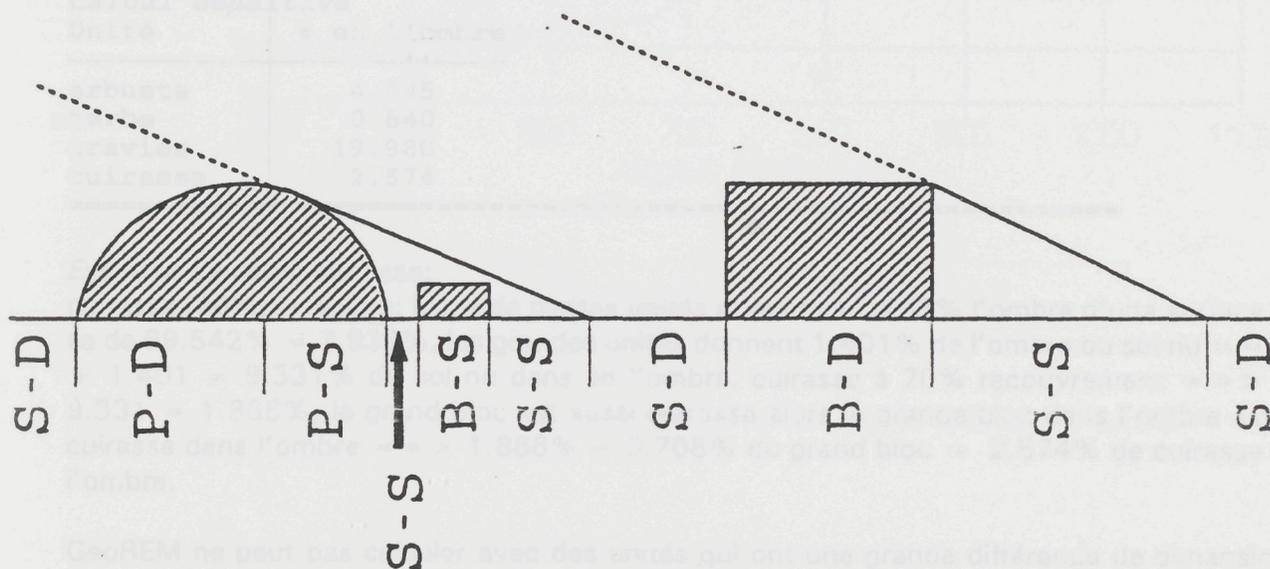


Figure 6.5 La model du terrain avec des differente type de surface.

- avec:
- P-D; parabololoïde dans radiation directe
  - P-S; parabololoïde dans l'ombre
  - B-D; bloc dans radiation directe
  - B-S; bloc dans l'ombre
  - S-D; sol nu dans radiation directe
  - S-S; sol nu dans l'ombre

(Il est possible de reconnaître plus des unités de parabololoïdes ou des blocs.)

Modeler le terrain pour calculer l'effet de l'ombre donne quelques problèmes.

1. Normalement il faut mesurer tous les pourcentages de réflectance de chaque objet d'une sous-unité. Avec une correction pour l'ombre il faut mesurer aussi tous les objets des sous-unités dans l'ombre. Les mesurages d'un objet dans l'ombre est difficile. Quand le soleil est en haut il n'y a pas beaucoup de l'ombre. Il faut être sûr que l'objet est vraiment dans l'ombre.

2. Quand on fait un mesurage de l'ombre d'un arbre il y a la possibilité d'une erreur de l'influence de cet arbre. La tête du croscan est aussi dans l'influence de l'ombre de l'arbre et il n'obtiens pas de radiation directe du soleil.

3. La surface qui est dans l'ombre d'un arbe ou arbuste n'est pas complètement dans l'ombre, parce que les arbres et arbustes ont de transparence. Les feuilles des arbres et arbustes ne couvrent pas la surface dans l'ombre total. Les mesurages de réflectance de l'ombre d'un arbe ou arbuste sont en effet un mesurage de réflectance mixtés de l'ombre et radiation directe. Cette transparence varie par arbe ou arbuste et peut donner une différence accidenté. Il faut toujours faire une description du pourcentage du transparance.

*L'exemple.*

Pour calculer l'effet de l'ombre il faut faire d'abord le modelage du terrain avec GeoREM pour calculer les pourcentages de surface dans l'ombre. Le tableau 6.4 donne les résultats des calculs de l'ombre pour le moment que le Thematic Mapper passe la région de recherche (7 janvier 1991 à 10:00h.).

Tableau 6.4 Les résultats du GeoREM pour R15 (en %).

Grandes Unités			Petites Unités		
[%]	Projected	Total	[%]	Projected	Total
B-D	0.727	1.463	B-D	25.562	28.731
B-S	0.000	0.708	B-S	1.288	28.410
P-D	17.691	22.802			
P-S	2.747	4.085			
S-D	77.279	69.542	S-D	53.689	31.457
S-S	1.556	1.401	S-S	19.461	11.403

*Calcul définitive*

Unité	% en l'ombre
arbuste	4.085
herbe	0.840
gravier	19.980
cuirasse	2.574

*Exemple de calul: cuirasse;*

cuirasse (20%) = sol nu; blocs de petites unités donnent 11.403% l'ombre d'une surface lumineuse de 69.542% = 7.930%, les grandes unités donnent 1.401% de l'ombre du sol nu == > 7.930 + 1.401 = 9.331% du sol nu dans en l'ombre, cuirasse à 20% recouvrement == > 20% de 9.331 = 1.866%, le grand bloc est aussi cuirasse alors le grande bloc dans l'ombre est en effet cuirasse dans l'ombre == > 1.866% + 0.708% du grand bloc = 2.574% de cuirasse est dans l'ombre.

GeoREM ne peut pas calculer avec des unités qui ont une grande différence de dimensions. Pour cela le calcul a été divisé en deux parties. Une partie avec des grandes unités d'arbustes et des grands cailloux. Et l'autre unité avec les autres classes des graviers. Le calcul de l'ombre des petites unités est seulement valable pour cette partie du sol en radiation direct du soleil (69.5 %). Dans le calcul de réflectance il y a maintenant 4 sous-unités. Les sous-unités arbuste et graviers sont claires. Dans le sol nu il y a trois sous-unités: les grands cailloux, les herbes et la cuirasse. Les grands cailloux ont une grandeur qui ressemble à la réflectance de la cuirasse. Dans le calcul on dit que ce grands cailloux sont comme la cuirasse et on regarde les deux ensamble (sol nu cuirasse). L'influence n'est pas trop grande parce que c'est un recouvrement très petite (0.7%). Maintenant l'influence de l'ombre sur le sol nu est divisée entre les unités cuirasse et herbes. De cette manière l'influence de l'ombre est intégrée. Le tableau 6.5 donne le résultat pour R15.

Dans ce tableau la première colonne donne les pourcentages de l'influence de l'ombre calculé et la dernier ligne donne l'influence en pourcentage de correction. La figure 6.6 donne le résultat pour les courbes de réflectance des unités de l'endroit R15. Pour l'illustration la courbe de réflectance de l'ombre qui est utilisée est représenter aussi.

Tableau 6.5 L'intégration de l'influence de l'ombre pour R15.

bande nr.		1	2	3	4	5	6	7	8
moyen nm.		490	550	670	700	740	780	870	1090
ombre	%								
arbuste	4.1	0.60	1.40	1.02	1.62	5.70	7.12	7.62	7.20
herbes sec	0.8	0.71	0.95	1.48	1.55	1.92	2.08	2.16	2.45
cuirasse	2.5	2.07	2.54	4.30	4.66	5.17	5.20	5.39	7.50
caill&grav	19.8	1.58	2.13	3.43	3.83	4.40	4.09	3.77	4.95
totale	27.2	4.04	5.76	8.37	9.54	13.87	14.74	15.07	17.76
influence (%)		11.9	8.4	13.0	12.4	14.3	17.7	16.9	12.7

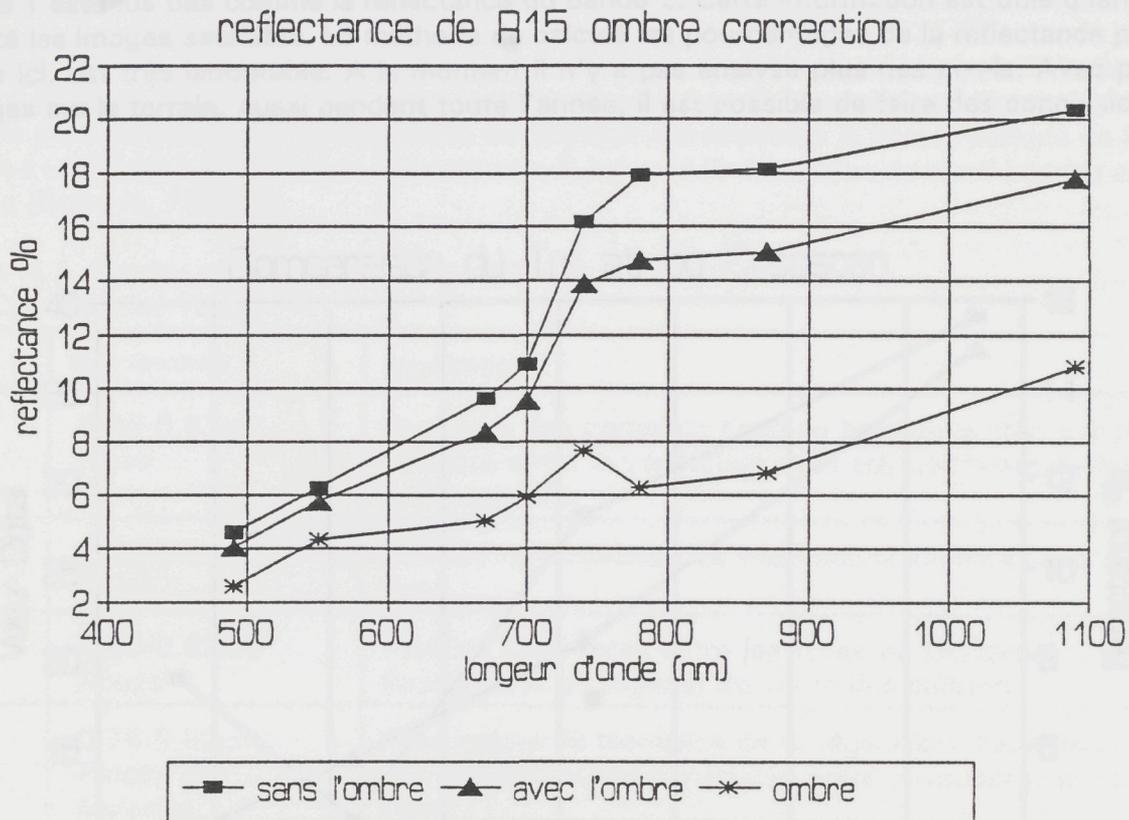


Figure 6.6 Correction de l'ombre intégré dans le calcul pour la réflectance totale.

#### 6.4.5 Combiner les données du croscan avec l'image satellite.

Quand les pourcentages de réflectance sont connus on peut comparer ces données avec les valeurs digitales de l'image satellite. Pour cela l'image satellite est corrigée pour l'influence de l'atmosphère. Cette technique est expliquée en chapitre 7. Avec les mesurages de réflectance sur le terrain on peut traduire les valeurs digitales en pourcentage de réflectance. On prend les valeurs digitales du même pixel sur les différentes bandes du TM, qui représente l'endroit des mesurages le croscan. On utilise pour cela les formules qui sont dérivées des calculs du GPS. Les valeurs digitales ont été écrites de ce pixel pour chaque 6 bandes du Thematic Mapper. Les images sont déjà corrigées pour l'influence de l'atmosphère (voir chapitre 7). Malheureusement les bandes du Thematic Mapper ne sont pas les mêmes que les filtres du croscan. Il y a seulement les 4 premières bandes du Thematic Mapper qui sont comparables avec les "bandes" du croscan. On combine quelques bandes du croscan avec une bande de TM.

Bande du TM avec filtre(s) du croscan;		
1	-	1
2	-	2
3	-	3
4	-	6 et 7

Les centres de réflectance des croptscan bandes 4, 5 et 8 se trouvent en dehors de l'intervalle des bandes du TM. Quand il y a plus qu'une bande du croptscan par bande du TM on prend la moyenne de ces mesurages. Pour la comparaison on trouve pour R15:

bande (nm)	485	560	660	830
T.M. (valeur Digital)	19	11	28	39
croptscan (% réflectance)	3.97	5.68	8.20	14.47

La figure 6.7 donne le graphique de ces valeurs. Les valeurs digitales ne sont pas directement compatible avec les pourcentages de la réflectance. Les valeurs du croptscan, qui sont traité avec GeoREM peut être utilisé comme une référence, quand les situations du sol et de la végétation sont la même (humidité etc.). On voit maintenant que les valeurs digitales du bande 1 (490nm) ont des valeurs plus hautes comme les valeurs du bande 2 (560nm), mais le pourcentage de la réflectance du bande 1 est plus bas comme la réflectance du bande 2. Cette information est utile quand on va interpréter les images satellites. La méthode de calculé les pourcentages de la réflectance par pixel présente ici, est très labourable. A le moment il n'y a pas analysé plus des pixels. Avec plus des mesurages sur le terrain, aussi pendant toute l'année, il est possible de faire des conclusions plus détaillé.

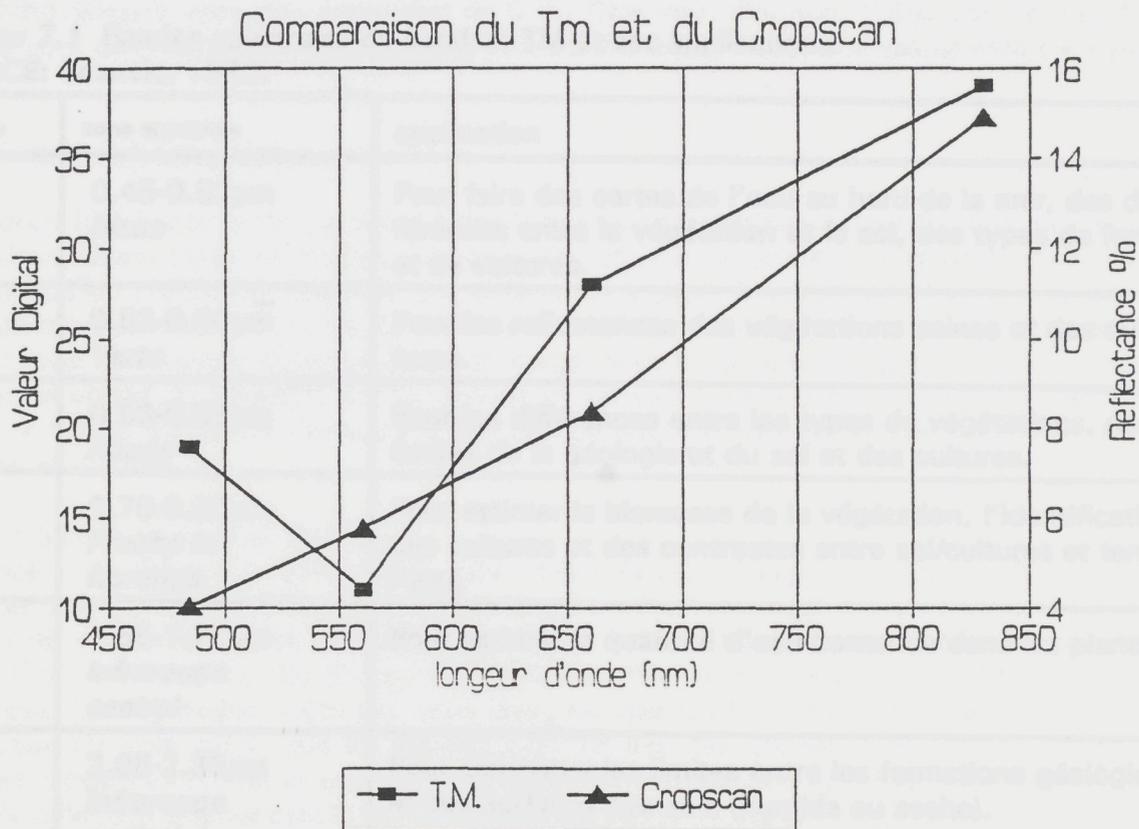


Figure 6.7 Les réflectances du croptscan par rapport aux les Valeurs Digital du TM pour R15.

### 6.5 Conclusions.

Les mesurages vers la réflectance du terrain donne l'information détaillé des propriétés spectrales des unités. Chaque élément du paysage a des courbes de la réflectance spécifique. L'influence de la dessèchement pendant la période de recherche est bien visible dans les plantes. Le radiomètre (croptscan) mesure des élément avec une surface de 1 m<sup>2</sup>. On a essayé de traduire les mesurages du croptscan vers une surface de 30 sur 30 mètres, pour une combinaison avec les données du TM. Pour cela, l'influence de l'ombre est introduit et calculé avec le program GEOREM. Cette influence est assez grande; 8,4 - 17,7%. Les mesurages sont utile chez l'interprétation des données digitales des images satellites.

7.1 Introduction.

Une image satellite ressemble d'une photo aeriene. Dans une photo aeriene il y a combiné les bandes spectrales blue, vert et rouge en teinte gris. Une combinaison des bandes spectrales dans la même intervalles spectrales donne, en effet, la même. On peut regarder à les images satellites à la même manière comme les photos aeriennes. Il manque seulement l'effet de stéréo. On voit les cuirasses, les vallées, les basfonds, les lacs et Kaya. L'image satellite n'est pas détaillé comme une photo. On peut faire une interpretation directe, mais on est intéressé à d'information qui n'est pas directement visible. Une combinaison spécifique entre les bandes ou des analyses multispectrales peut donner plus d'information. Pour cela IDRISI donne une scala des méthodes pour analyser et interpreter les données du satellite.

Les images satellites utilisé dans la recherche sont du Landsat Thematic Mapper (TM). Ils sont pris au 7 Mai 1988 et 8 Janvier 1991. Dans le rapport ici il y a seulement discuté l'image du 8 Janvier 1991, le plus recente, avec une situation du paysage qui ressemble le plus la periode de la recherche. On a utilisé les bandes 1-5 et 7. Le tableau 7.1 donne l'information de ces 6 bandes spectrales utilisées [Scanvic, 1983].

*Tableau 7.1* Bandes spectrales du Landsat TM et ses applications.

SOURCE: Scanvic, 1983.

bande	zone spectrale	application
1	0.45-0.52µm <i>Bleue</i>	Pour faire des cartes de l'eau au bord de la mer, des différences entre la végétation et le sol, des types de forêts et de cultures.
2	0.52-0.60µm <i>Verte</i>	Pour les reflectances des végétations saines et des cultures.
3	0.63-0.69µm <i>Rouge</i>	Pour les différences entre les types de végétations, des limites de la géologie et du sol et des cultures.
4	0.76-0.90µm <i>Proche Infrarouge</i>	Pour estimer la biomasse de la végétation, l'identification des cultures et des contrastes entre sol/cultures et terre/l'eau.
5	1.55-1.75µm <i>Infrarouge central</i>	Pour estimer la quantité d'eau contenue dans les plantes.
7	2.08-2.35µm <i>Infrarouge central</i>	Pour distinguer les limites entre les formations géologiques et des surfaces des sols (humide ou seche).

Les bandes spectrales donnent d'information spécifique. Une combinaison des bandes spectrales ou des analyses peut donner des autres informations. Chaque élément d'un image (pixel) a une surface sur le terrain de 30 à 30 mètre. La région de recherche a ainsi 590 par 590 pixels.

*Des problèmes.*

Il y ont quelque problème avec cette recherche. Premièrement le temps de la recherche du terrain (septembre-octobre) n'est pas la même comme la date des images (janviers et mai). Dans une région humide cela n'est pas une problème très grande. Au Burkina il y a des grandes differences dans la réflexion de la terre entre la saison humide (juin-octobre) et sec (novembre-mai). Les conclusions avec les mesurages ne sont pas digne de fois.

Une autre problème est le combinaison des données du cropscan et le TM. Le cropscan mesure seulement 1 par 1 mètre de la surface du terrain. Il faut traduire l'information de quelques mesurages avec le cropscan pour une pixel. Cette problème est discuté dans chapitre 6. Une autre problème est le combinaison des bandes spectrales du cropscan et le TM. Ils sont difficile à comparé.

## 7.2 Préparation des images satellites.

Avant les analyses et l'interprétation des images satellites il est nécessaire de préparer les images. Il faut corriger les images pour l'influence de l'atmosphère. Quand la radiation du soleil comprend l'atmosphère, une partie est déjà réfléchi. Cette partie donne une valeur digitale mesurée par le satellite additionnel [Lillesand & Kiefer, 1987]. La calcul de l'influence de l'atmosphère est difficile et pour cela on dit que la valeur la plus basse d'une bande de réflectance dans l'eau est la valeur digitale de l'influence de l'atmosphère. En théorie l'eau absorbe toutes les radiations solaires. En pratique ce n'est pas vrai, quand il y a par exemple beaucoup de particules fines dans l'eau qui donnent de la réflectance. Au région de recherche cela est parfois le cas, parce que l'eau présente (Lac de Dem où l'eau du barrage) n'est pas très profond avec beaucoup des particules fines en suspension. La valeur la plus basse des bandes 1, 2 et 3 (et 4) on se trouve dans des zones de ombre chez des cuirasses hautes. Les valeurs la plus basse de bande (4) 5 et 7 on se trouve dans l'eau. Ces valeurs basses sont distraire de toutes les valeurs digitales pour chaque bande.

Pour avoir une image plus belle. Ce sont des méthodes de "stretching". Les bandes de l'image donnent des valeurs digitales entre 0 et 255. Presque toujours sont les valeurs digitales une partie de cette intervalle. Avec stretching il est possible de utiliser toute la valeur digitale entre 0 et 255. Avec cette option toutes les couleurs de l'ordinateur sont utilisées optimalement. On a utilisé l'option d'un stretching linéaire avec une saturation de 5%. Cela veut dire que, 2,5% des valeurs digitales à chaque côté de l'histogramme d'image (des valeurs digitales), obtiennent la valeur zéro (= noir).

## 7.3 Discussion des bandes.

Le programme IDRISI donne des couleurs à des valeurs digitales présentes dans l'image: noir et bleu pour une valeur basse, violet et rouge pour une valeur moyenne, jaune et vert pour une valeur haute, 16 couleurs en totale. Les couleurs des différentes images (par exemple bande 1 et bande 2) ne sont pas directement comparables. Ce sont seulement des indications pour la valeur digitale comparée avec le reste des valeurs digitales de cette image. Mais il est possible que les couleurs ressemblent les mêmes unités du paysage. Sur les photos en annexe 7, la région de recherche n'est pas représentée en totale, parce que l'image est trop grande pour l'écran d'ordinateur. Il manque une partie du Nord et du Sud.

### *bande 1 (photo en annexe 7A)*

La bande 1 du TM est la bande de la zone spectrale bleue (rouge et verte est absorbé). On peut s'attendre que les régions des cuirasses, les régions avec beaucoup de graviers à la surface et les régions de végétation verte ont des valeurs basses (noir et bleu), parce que ces couleurs sont absorbées. Il y a deux bandes d'absorption faible de  $Fe^{2+}$  en bande 1 du TM [Mulders, 1987]. Cela est le cas. La végétation verte est située dans les bas-fonds et dans la région des buttes métavolcaniques. On voit aussi, que les régions avec un peu de graviers à la surface ont des valeurs digitales moyennes (violet et rouge). Les régions avec beaucoup de sols nus sableux ont beaucoup de réflexion et pour cela la valeur digitale est haute (jaune et verte). Les régions dans l'ombre des cuirasses et le lac chez Kaya ont des valeurs basses.

### *bande 2 (photo en annexe 7B)*

La bande 2 du TM est la bande de la zone spectrale verte (bleu et rouge est absorbé). On s'attend à la même pour les cuirasses comme avec la bande 1. Il y a aussi deux bandes d'absorption faible de  $Fe^{2+}$  en bande 1 du TM [Mulders, 1987]. Les réflectances de la végétation verte n'est pas assez haute de donner des valeurs digitales la plus haute. Les sols nus sableux donnent encore ces valeurs hautes. Le reste de l'image ressemble la bande 1.

### *bande 3 (photo en annexe 7C)*

La bande 3 du TM est la bande de la zone spectrale rouge (bleu et verte est absorbé). On peut s'attendre, que les cuirasses rouges ont des réflectances hautes. Mais les cuirasses sont en effet très noir-rouge et cela donne des valeurs digitales basses. Le reste de l'image ressemble la bande 1.

### *bande 4 (photo en annexe 7D)*

La bande 4 du TM est indicative spécialement pour la végétation. Les surfaces nus sableux ont encore une réflectance haute. Les bas-fonds avec les grands arbres ont des valeurs digitales moyennes, parce que il y a encore quelques grands arbres verts. On voit maintenant très claire

les petites buttes des cuirasses moyennes dans la région de l'est. On voit aussi très clair la différence entre la zone géologique des granites (Nord-est) et la zone des méta-volcanites/sédimentaire (Sud-ouest).

**bande 5 (photo en annexe 7E)**

La bande 5 du TM est pour estimer l'humidité de la surface de la terre. L'image est de janvier, dans la saison sec. On voit les régions qui restent le plus humide, e.g. les bas-fonds, très clair. Les cuirasses ont des valeurs basses et les sols nus sableux des valeurs hautes. L'effet de l'ombre chez les cuirasses est diminué et il y a plus des distinctions dans la région des buttes des méta-volcanites. C'est une image très belle pour discriminer les différents types de paysage.

**bande 7 (photo en annexe 7F)**

Il n'y a pas beaucoup de différences avec la bande 5 du TM. Ce sont des bandes très utiles pour faire des limites des différents types de sol.

**7.4 Les combinaisons des bandes du TM.**

**7.4.1 Introduction.**

On a fait deux combinaisons des bandes du TM; la combinaison couleur vraie 1-2-3 et les bandes avec la corrélation la plus basse 1-4-7. En annexe 8A/B il y a des photos des images utilisées.

**7.4.2 Les combinaisons 1-2-3 et 1-4-7 du TM.**

IDRISI fait une combinaison entre trois bandes à la manière suivante (DN = Valeur Digitale):

$$1 \cdot \text{DN 1er bande} + 6 \cdot \text{DN 2me bande} + 36 \cdot \text{DN 3me bande},$$

[IDRISI Manual] et après une redistribution entre les valeurs 0-255 (byte format). L'image satellite avec la combinaison 1-2-3 peut regarder la même comme une photo couleur, mais ici cela n'est pas le cas. IDRISI donne des autres couleurs à les valeurs digitales. Mais les paysages sont plus bons à distinguer comme avec une seule bande. La distinction des cuirasses et buttes méta-volcanites est un problème.

La combinaison entre 1-4-7 donne plus des différences comme 1-2-3. Cette combinaison est la combinaison avec la corrélation la plus basse entre ces bandes. Le tableau 7.2 donne la matrice de corrélation calculée par IDRISI pour la région de recherche. Quand on prend une région plus grande, cette matrice peut regarder différentes. Cela est le cas dans la préparation des images avec ERDAS. On a trouvé une combinaison la plus basse des bandes 3-4-5. L'image 1-4-7 donne très clairement les régions qui ont des surfaces nues, des champs et bas de pentes seulement utilisés par l'élevage.

**Tableau 7.2 Matrice des corrélation.**

	bande1	bande2	bande3	bande4	bande5	bande7
bande 1	1.000					
bande 2	0.706	1.000				
bande 3	0.920	0.691	1.000			
bande 4	0.612	0.850	0.640	1.000		
bande 5	0.792	0.631	0.910	0.631	1.000	
bande 7	0.777	0.613	0.911	0.587	0.960	1.000

**7.5 Les analyses.**

**7.5.1 Introduction.**

IDRISI donne une grande scala de méthodes d'analyser les images ou de faire des calculations avec les images. Ils sont trop de discuter tous. On a pris seulement quelques, qui sont les plus intéressantes et utiles pour la recherche. Il y a l'option de calculer les composantes principales, de faire une analyse des clusters et de calculer l'index de végétation.

7.5.2 Les composants principales.

**Théorie**

Le théorie d'analyse des composants principales est trop étendu pour le rapport ici. Je vous diriger vers le littérature, par exemple Webster & Oliver [1990], Davis [1986] et Lillesand & Kiefer [1987]. Le principe des composants principales est de trouver une distribution nouveaux des données des 6 bandes par des nouveaux axes (composants). Le première composant a la variation, de la variation en totale, la plus haute. Figure 7.1 donne une exemple avec seulement 2 bande. Dans l'analyse des images satellites cela veut dire, qu'il est possible de combiner presque tous l'information des 6 bandes dans deux composants principales (CP 1 et 2).

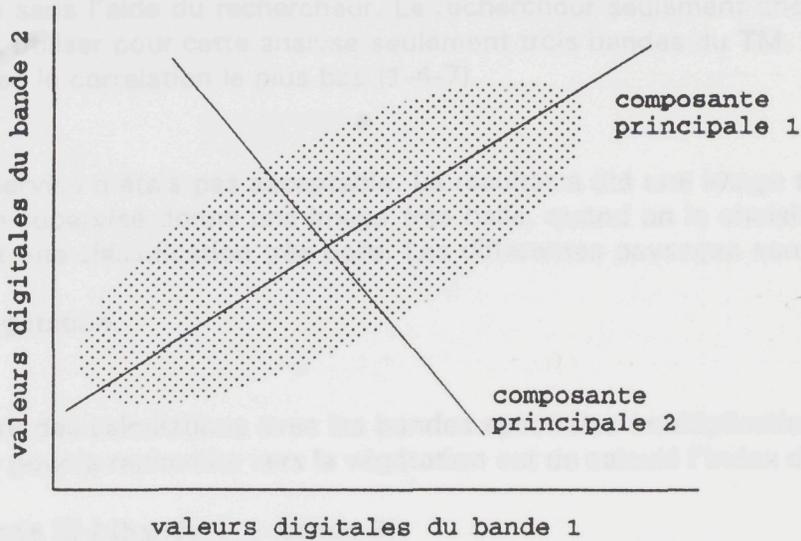


Figure 7.1 Exemple des composants principales avec deux bandes. SOURCE: Lillesand & Kiefer, 1987.

Le projection perpendiculaire des positions des données sur les nouveaux axes s'apelle "loadings" et donnent les valeurs digitales pour les composants principales. Chaque composant a un pourcentage de la variance totale, que cette composante expliqué. Quand le pourcentage du première composant est haute, cela veut dire que cette composant expliqué beaucoup de la variance du totale des six bandes. Mulders et al [1991] a utilisé cette méthode pour discriminer des différentes types de la végétation, qui ne sont pas été visible sur l'image avec une seule bande ou une combinaison de trois bandes.

**Résultats**

Pour la région de kaya à 8 janvier 1991 les résultats d'analyse des composants principales sont:

composant	1	2	3	4	5	6
% variance	86.59	8.24	2.83	1.18	0.79	0.37

Une photo de la première composant et d'une combinaison entre les composants principales 1, 2 et 3 est en annexe 8C et 8D. Les différentes unités du paysage sont plus bon visible sur l'image du première composant, par exemple la différence entre les buttes de méta-volcanites et les cuirasses. L'image de la composition des composants principales 1-2-3 n'est pas très belle. Il est une image très disserter, avec beaucoup des petites unités. On vois dans la tableau 7.3 des "loadings" et lesquelles sont significants par composant principale. Ce sont des bandes qui explique la variation pour ce composant principale.

Tableau 7.3 "Loadings" des bandes du TM par composant principale. (Le \* indique les loadings significants)

	Comp. 1	Comp. 2	Comp. 3
Bande 1	0.850	0.105	-0.469*
Bande 2	0.715	0.569*	-0.116
Bande 3	0.951*	-0.001	-0.279*
Bande 4	0.706	0.688*	0.134
Bande 5	0.985*	-0.110	0.094
Bande 7	0.971*	-0.156	0.039

### 7.5.3 L'analyse des clusters.

#### *Théorie.*

Dans IDRISI il y a deux options pour classifier une image. Il y a la classification supervisée. Dans cette classification, le chercheur sélectionne des régions sur l'image. Ce sont des régions qui sont représentative pour un paysage discriminé par le chercheur dans une autre recherche. Les programmes d'IDRISI utilisent ces régions pour faire une classification avec les données de toutes les six bandes du TM.

Une autre option est la classification non-supervisée. Il est l'analyse des clusters. Le programme fait les clusters lui-même sans l'aide du chercheur. Le chercheur choisit seulement la quantité des clusters. IDRISI peut utiliser pour cette analyse seulement trois bandes du TM. Dans l'analyse, on a pris les bandes avec la corrélation la plus basse (1-4-7).

#### *Résultats.*

La classification supervisée n'était pas acceptable. Le résultat a été une image très morcelée. La classification non-supervisée donne une image très belle, quand on choisit 9 clusters (photo en annexe 8E). Il est une classification très belle. Les différents paysages sont bien distingués.

### 7.5.4 L'index de végétation.

#### *Théorie.*

Il est possible de faire des calculs avec les bandes spectrales (multiplication, additionner etc.). Une option très utile pour la recherche sur la végétation est de calculer l'index de végétation. Il est un calcul simple:

$$\frac{\text{bande 4} - \text{bande 3}}{\text{bande 4} + \text{bande 3}}$$

Escadafel & Huete [1991] ont trouvé un calcul spécialement pour des zones avec pas beaucoup de végétation et avec un ajustement pour le sol. Mais cela est une recherche elle-même.

#### *Résultats.*

L'image de l'index de végétation (annexe 8F) donne en effet des endroits qui sont le plus humide e.g. où la végétation reste verte le plus longtemps. Ce sont les bas-fonds et la région des buttes méta-volcanites.

### 7.6 Conclusions.

Une interprétation des images satellites est très utile dans une recherche du sol. Les images donnent d'information additionnelle. Les limites des unités du sol sont bien distinguées. Une extrapolation vers une région plus grande comme la région de la recherche originale est possible. Avec une analyse bien et l'information dans les images connues, il est très facile de regarder les changements du terrain pendant le temps. Par exemple l'expansion des terres dégradées avec des sols nus. Ce sont des idées très utiles pour des recherches prochaines.

8.1. Introduction.

La question centrale dans le chapitre ici est, ou les données des images satellites ressemblent les données de la recherche du sol. Est-ce que on peut traduire l'information dans les images satellites vers les sols et l'utilisation de la terre? Quand cela est possible, on peut traduire cette information vers une région plus grande et on peut utiliser cette information avec des autres images, pour regarder à un changement dans le temps.

8.2. Comparaison avec la carte de sol.

PARTIE 4

8.2.1. Les limites des unités.

Les limites des paysages et les unités de sol sont bien à discriminer sur les images satellites (par exemple Figure 5 ou la Figure 6). Les limites dans le monde sont plus claires, comme les unités dans la Figure 3. Les limites et données sont plus claires. Il y a une grande variation des limites et cette dispersion est due à la différence des données de terrain. On doit résoudre ce problème. Une analyse comparative peut être faite. Les données de terrain sont plus précises que les données des images satellites. On a une bonne idée de la relation entre les données de terrain et les données des images satellites.

CONCLUSIONS

8.2.2. La surface des sols. Les données de terrain sont plus précises que les données des images satellites. On a une bonne idée de la relation entre les données de terrain et les données des images satellites.

Les sols sont bien à discriminer sur les images satellites (par exemple Figure 5 ou la Figure 6). Les limites dans le monde sont plus claires, comme les unités dans la Figure 3. Les limites et données sont plus claires. Il y a une grande variation des limites et cette dispersion est due à la différence des données de terrain. On doit résoudre ce problème. Une analyse comparative peut être faite. Les données de terrain sont plus précises que les données des images satellites. On a une bonne idée de la relation entre les données de terrain et les données des images satellites.

8.2.3. La dégradation de sol.

La dégradation des sols est bien à discriminer sur les images satellites (par exemple Figure 5 ou la Figure 6). Les limites dans le monde sont plus claires, comme les unités dans la Figure 3. Les limites et données sont plus claires. Il y a une grande variation des limites et cette dispersion est due à la différence des données de terrain. On doit résoudre ce problème. Une analyse comparative peut être faite. Les données de terrain sont plus précises que les données des images satellites. On a une bonne idée de la relation entre les données de terrain et les données des images satellites.

8.3. Comparaison avec la carte de sol. Les données de terrain sont plus précises que les données des images satellites. On a une bonne idée de la relation entre les données de terrain et les données des images satellites.

8.4. Conclusions. La comparaison des images satellites et la recherche du sol est possible. Les unités de sol, en types de paysages et couverture de la surface (texture et graviers), sont bien à discriminer. Des recherches plus détaillées sont nécessaires pour avoir une idée plus exacte de la relation entre la texture de la surface et les graviers avec la réflectance. Plusieurs recherches plus détaillées vers l'utilisation de la terre est nécessaire. Mais le plus important est une recherche plus détaillée dans les régions dégradées, vers la dégradation du sol. Il faut regarder à les différentes courbes de la réflectance sur des endroits dégradés pour traduire l'information des images plus exacte.

### 8.1 Introduction.

La question centrale dans le chapitre ici est, ou les données des images satellites ressemble les données de la recherche du sol. Est-ce que on peut traduire l'information dans les images satellites vers les sols et l'utilisation de la terre? Quand cela est possible, on peut traduire cette information vers une région plus grande et on peut utiliser cette information avec des autres images, pour regarder à un changement dans le temps.

### 8.2 Comparaison avec la carte de sol.

#### 8.2.1 Les limites des unités.

Les limites des paysages et les unités de sol sont bien à discriminer sur les images satellites (par exemple bande 5 ou la classification supervisée). Les unités dans le Nord-Est sont plus grandes comme les unités dans le Sud-Ouest. Ce paysage des buttes et cuirasses est plus dissecté. Il y a une grande variation des sols et cette dispersion est aussi visible sur les images. Les cuirasses ne donnent pas des problèmes à distinguer. Les sols des roches méta-volcanites donnent des problèmes à distinguer. Une analyse plus détaillée peut être utile.

#### 8.2.2 La surface des sols.

Les sols sableux ont une réflectance plus haute comme des sols argileux (voir le Nord-Est, la différence entre le sol V/ et Va1). Il y a aussi une relation visible entre le pourcentage des graviers à la surface et la réflectance. Beaucoup de graviers diminuent la réflectance, parce que la radiation est réfléctée plus diffus. Les graviers et cailloux sont plusieurs de latérite ou ferritique, lesquelles absorbent beaucoup de la radiation.

#### 8.2.3 La dégradation du sol.

La dégradation des sols est, pour le moment, seulement visible par des surfaces nues avec une réflectance haute. Ce sont des sols avec un ruissellement intense et concentré par lequel le sol est érodé. Les sols avec une surface sableuse (sable, sablo-limoneux ou limono-sableux) sont le plus sensibles.

### 8.3 Comparaison avec l'utilisation de la terre.

L'image est prise dans la saison sèche. Les champs ne sont pas utilisés sont jachères. Celes donnent des sols nus, qui réfléchissent beaucoup de la radiation (comme déjà expliqué en chapitre 7). Il n'y a pas eu de recherche vers l'utilisation de la terre, alors il est difficile de dire quelque chose de définitive. Il est seulement possible de dire que l'utilisation de la terre, par l'agriculteur ou par l'élevage, est visible. Les champs ont plusieurs des valeurs digitales plus hautes.

### 8.4 Conclusions.

La comparaison des images satellites et la recherche du sol est possible. Les unités du sol, en types de paysages et couverture de la surface (texture et graviers), sont bien à discriminer. Des recherches plus détaillées sont nécessaires pour avoir une idée plus exacte de la relation entre la texture de la surface et les graviers avec la réflectance. Plusieurs recherches plus détaillées vers l'utilisation de la terre sont nécessaires. Mais la plus importante est une recherche plus détaillée dans les régions dégradées, vers la dégradation du sol. Il faut regarder à les différentes courbes de la réflectance sur des endroits dégradés pour traduire l'information des images plus exacte.

## CHAPITRE 9 CONCLUSIONS DEFINITIVES ET RESUME

### 9.1 Les buts de la recherche.

Dans la région de la recherche il y ont deux grandes types de dégradation du sol. Il y a la formation des croûtes. La recherche vers les différents types des croûtes, les conditions de la formations et les effets sont examiné par des autres chercheurs du projet. On a regardé à la nature et l'extension de l'érosion par le ruissellement. Cette dégradations est très forte et il n'y a pas de régénération présent. Les sols avec une ruissellement intense et concentré faut être protéger.

### 9.2 La recherche du sol et l'évaluation de la terre.

On a vu que, dans la région de recherche il y ont trois paysages. Il y a le paysage des cuirasses. C'est un paysages avec trois niveaux de latérite induré, e.g. supérieure, moyenne et inférieure. Cette paysage est caractérisé avec une topographie élevé (différence d'altitude jusqu'au 30 m.) avec une végétation des arbustes et herbes. Le paysage est utilisé, si il y a d'utilisation, par l'élevage. Il y ont des sols pas profonds, avec plus de 15 % des cailloux ou des graviers sur la surface. Sur les cuirasses survivantes il y ont souvent des dunes éoliennes. Il n'y a pas de dégradation du sol présente. Il y a seulement une érosion naturelle. Il est possible de trouver des endroits sans végétation où il y a été une utilisation par l'élevage trop intensive et sur cette endroits il y a l'érosion plus rapide. Sur les bas de pentes des cuirasses il y a une utilisation par l'élevage trop intensive accompagné par une érosion forte. Il faut protégé cette pentes.

Le paysage des buttes de méta-vulcanite est un paysage découpé (différence d'altitude jusqu'au 50m.). Il y a des sols pas profonds utilisé par l'élevage et des sols profonds avec des cultures. Ce sont des sols argileux avec beaucoup des graviers à la surface (>15%). Dans ce paysage, il n'y a pas de dégradation du sol. Les sols argileux sont plus résistant contre l'érosion.

Le paysage des glacis et les bas-fonds a une topographie pas élevé. Il y ont des nombreux différentes sols: profond et pas profond, sans ou avec graviers et un texture argileux, limoneux ou sableux. Les sols profonds sont utilisé pour des cultures et des sols pas profonds ne sont pas utilisé. Il y a d'élevage, mais par la présence des nombreux champs cela peut donner des problèmes avec l'agriculteur. Les bas-fonds ne sont pas utilisé intensive, parce qu'il y a des débordements fortes, quand il fait de pluie. La dégradation du sol, chimique et physique, est très forte sur nombreux endroits. Par l'absence de la végétation sur les champs, il y a la formation des croûtes et une érosion intensive par le ruissellement. Il faut enlever cette croûtes pour la pénétration d'humidité pour la production des cultures. Régénération naturel dans le paysage des glacis et bas-fonds n'est pas présent.

L'évaluation de la terre donne des classes d'aptitude pour les sols examinées. Les limitations indiqué, donne l'information pour des dispositions à prendre. Ce sont des mesures importantes contre la dégradation du sol. Les résultats de cette évaluation donne des régions qui sont très dégradé par l'érosion, mais aussi des régions qui sont utile pour l'agriculture. Il faut protégé cette région dégradé et cette régions sont intéressante pour des recherches plus détaillé dans le future.

### 9.3 La recherche de la télédéction.

Pendent la période de la recherche il y avait des mesures de la reflectance avec une radiomètre (cropsan). Cette recherche a donné des courbes de la réflectance pour les différentes élément du paysage, comme arbuste, herbes, graviers, cuirasse etc. Cettes données sont calculé vers une certain unité du paysage, qui est homogène. Cette unité a une surface assez grandes pour une comparaison avec les pixels du satellite (Landsat Thematic Mapper). Dans ce calcul, l'influence de l'ombre est calculé avec GeoREM (influence environ 15%).

Dans la recherche du sol et l'analyse avec les images satellites, on a utilisé un appareil pour localiser le position sur le terrain (GPS). On a trouvé que l'appareil à une erreur de 35 mètre. On à essayer de localiser les positions sur l'image satellite. Pour cela, une surface d'unité de paysage de 100 sur 100 mètre est nécessaire.

Il y a été quelques analyses des images satellite. Les différentes paysages sont bien visible. L'image utilisé de janvier n'est pas bien à comparer avec le situation du terrain pendant la période de recherche (septembre-novembre). Il y ont trop des différences entre la saison humide et sèche. Mais les images aident avec l'interpretation et division des paysages, comme déjà fait par l'analyses des photos aeriennes.

Les images donnent d'information pour des recherches dans le future.

- Les images donnent des régions qui sont difficile à analyser et pour cela interessante pour des recherches plus détaillé.
- Il y a des autre applications au sujets de la végétation, utilisation de la terre, hydrologie et dégradation de la terre.
- Avec la difference entre l'image de janvier et l'image de mai il est possible d'inventariser la déssechement.
- Les bandes 5 et 7 donnent d'information qui est intéressant pour des recherches vers la hydrologie de la région.
- Avec une combinaison d'information des images satellites, une GIS et l'information du terrain, il est possible, avec des programmes d'ordinateur (e.g. SOTER, SWEAP) de faire une analyse vers la dégradation du terrain qualitative et quantitative.

#### 9.4 Recherches du future.

Le paragraphe passé à déjà donné quelques options pour des recherches du futures avec les images satellites. Sur le terrain il reste aussi des nombreux questions. Sur quelques endroits la dégradation du sol est très sérieux. L'érosion a éliminé la surface totale. Seulement avec des mesures très intensives et cher et de patience, les sols peuvent être utilisé encore. Une recherche détaillé dans cette régions est nécessaire. On a besoin d'information précis des facteurs de l'érosion et quelles mesures sont possible. L'utilisations des images satellites est très utile dans cette recherche. On peut comparé les images des différentes années et regarder à les changements. Une utilisation de la terre optimale peut être possible.

La dégradation de la terre est une combinaison des données d'utilisation de la terre potentiel, l'état du sol et la végétation potentiel, l'utilisation de la terre sur le moment et dans l'histoire avec l'état du sol et la végétation actuel. Cette recherche a donné l'information d'état du sol actuel et la recherche de A. Belemvire d'état de la végétation actuel. Maintenant on a besoin des données d'utilisation de la terre potentiel et la production. Cela à la base de l'état du sol et végétation actuel (évaluation de la terre quantitative) et à la base de l'état du sol et de la végétation potentiel. L'état potentiel est possible de mesurer dans des régions comparable en géogenèse, mais sans (ou un peu) une utilisation de la terre par l'homme. Ensuite on a besoin d'information d'utilisation de la terre dans l'histoire.

BIBLIOGRAPHIE

- BARROW, C.J., 1991, Landdegradation: Development and breakdown of Terrestrial Environments, Cambridge University Press.
- BLEUMINK, A.F.J., 1992, La goutte d'eau qui fait déborder de surface, Antenne Sahélienne, Université Agronomique Wageningen (en préparation).
- BONKOUNGOU, E.G., 1985, Rupture d'équilibres écologiques et lutte contre la désertification au Burkina Faso, Rivista di agricoltura subtropicale 79 1-2 pp. 327-343.
- BOULAIN, J., 1975, Géographie des sols, Presses Universitaire de France.
- BOULET, R., 1968, Carte pédologique de reconnaissance de la République de Haute-Volta; Centre Nord, centre O.R.S.T.O.M. de Dakar, L'Institut Géographique National, Paris.
- BUITEN, H.J., et J.G.P.W. CLEVERS (red.), 1990, Remote sensing, theorie en toepassing van landobservatie, Dynamiek, inrichting en beheer van landelijke gebieden 2, Pudoc.
- BUNASOL, 1989, Etude Pedologique des "35 sites de Barrages en Terre dans la Provinces du Bazega, Boukiemde, Naouri, Oubritenga, Sissili, Zoundweogo et Sanguie", Rapport Technique nr. 64, Projet BKF/87/020, Ministère de l'Agriculture et de l'élevage.
- CASENAVE, A. et C. Valentin, 1989, Les états de surface de la zone sahélienne; influence sur l'infiltration, Editions de l'ORSTOM.
- C.P.C.S., COMMISSION de PEDOLOGIE et de CLASSIFICATION des SOLS, 1967, Classification des sols, Laboratoire de Géologie-pédologie E.N.S.A, Grignon Multi. C.R.P.A., 1990, Plan Régional du secteur Agro-pastoral; Région du centre Nord, tome 1, 2 et 3, Ministère de l'Agriculture et de l'élevage.
- DAM van, O., 1992, Bodemdegradatie bij Kaya (Burkina Faso), Een bodemkundig onderzoek m.b.v. Remote Sensing, Landbouw Universiteit Wageningen.
- DAVIS, J.C., 1986, Statistics and Data Analysis in Geology, ec. édition, John Wiley & Sons inc.
- DREGNE, H.E., 1987, Soil Erosion: cause and effect, Land Use Policy, 4(4) 412-18.
- DRIESEN, P.M. & N.T. KONIJN, 1992, Land-use System Analysis, Agricultural University Wageningen.
- DUCHAUFOR, Ph., 1970, Précis de pédologie, Editions successives, Masson Paris.
- ELTOM, O.A.M., 1989, Land Qualities used in Sudanese Land Evaluation System. In: Land Qualities in Space and Time, edi. J. Bouma and A.K. Bregt, Pudoc Wageningen, pp. 273-276.
- ESCADAFAL, R. et A. Huete, 1991, Etude des propriétés spectrales des sols arides appliquée à l'amélioration des indices de végétation obtenus par télédétection, C.R.Acad. Sci. Paris, t. 312, série II, 1385-1391.
- F.A.O., 1976a, Soil conservation in developing countries, FAO Soils bulletin 30.
- F.A.O., 1976b, A Framework for Land Evaluation, ILRI publication nr. 22, FAO Soil Bulletin nr. 32.F.A.O., 1978,
- F.A.O., 1990, Guidelines for soil profile description (third edition, FAO of the UN. guide pour la description du profile du sol (troisième édition, FAO des NU.
- HIGGINS, G.M., 1988, Soil degradation and its control in Africa, Paper to first All-African Soil Science Conference, Kampala, Uganda 5-1- December, 1988 15 pp., University of Kampala.
- HOTTIN, G. et O.F. Ouedraogo, 1975, Carte Géologique du Burkina Faso et notice explicative (échelle 1:1.000.000), 2<sup>e</sup> édition Bureau des Mines et de la Géologie du Burkina Faso, 1992.
- ICRISAT, 1988, Agro-climatologie du Burkina Faso, Niamey.
- I.G.N., 1960, (Institut Géographique National - FRANCE, centre de Dakar), Carte Topographique du Burkina Faso 1:200.000, feuille Kaya ND-30-XI.
- JUNGERIUS, P.D., 1985, Soils and Geomorphology, Catena Supplement 6, Catena Verlag pp. 1-18.
- KIRKBY, M.J. and R.P. MORGAN (eds.), 1980, Soil Erosion, Chichester: John Wiley & Sons.
- LILLESAND, T.M., et R.W. Kiefer, 1987, Remote sensing and image interpretation, second édition, John Wiley & sons.
- LANDON, J.R.(edi.), 1984, Booker Tropical Soil Manuel, A handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics, Booker Agriculture International Limited.
- LONG, D.S., S.D. DeGloria et J.M. Galbraith, 1991, Use of the global positioning system in soil survey, Journal of soil and water conservation, Juillet/Août 1991, page 293-297.
- MÄRZ U., 1986, Wood consumption in traditional systems in the Sudano-Sahelian Zone of Burkina Faso, Quarterley Journal of Agriculture, Vol. 25, No 1, pp. 49-58.
- MEMENTO de L'AGRONOME, 1991, 4e édition 1984, Ministère de la Coopération et du Développement, Collection "Techniques rurales en Afrique".
- MULDERS, M.A., 1987, Remote Sensing in Soil Science, Devellopments in Soil Science, 15, Elsevier Amsterdam.
- MULDERS, M.A., S. de Bruin et B.P. Schuiling, 1991, Structured approach to land-cover mapping

- of the Atlantic zone of Costa Rica using single date TM data, International Journal of Remote Sensing.
- MULDERS, M.A., J.A. Den Dulk et R. Uijlenhoet, 1992, Description of land surfaces, reflectance measurements and modelling for correlation with remote sensing data, Science du Sol, Vol. 30, 3 169-184.
- OLSSON L., 1985, An integrated study of desertification, Applications of Remote Sensing, GIS and Spatial Models in Semi-Arid Sudan, Lund studies in Geography, ser. C General and mathematical Geography No. 13.
- POELS R.L.H., 1990, Lecture notes on degradation and conservation of soil and land, Agricultural University Wageningen.
- RIETKERK, M., 1992, Les différences locales du sol et la capacité de régénération: *Une étude pour la régénération des écosystèmes sylvo-pastoraux sahéliens, dans la Forêt Classée de Yabo (Burkina Faso)*, Antenne Sahélienne, Université Agronomique Wageningen.
- SIMONSON, R.W., 1959, Outline of a general theory of soil genesis, Proc. Soil, Sci. Soc. Am. 23 pp. 152-156.
- SCANVIC, J-Y., 1983, Utilisation de la télédétection dans les sciences de la terre, Bureau de recherches géologiques et minières, Manuels et méthodes nr.7, BRGM Orléans.
- STOOP W.A., 1987, Variations in soil properties along three toposequences in Burkina Faso and implications for the development of improved cropping systems, Agriculture, Ecosystems and Environment vol. 19 no. 3 pp. 241-264.
- THOMAS, M. F., 1974, Tropical Geomorphology, a case study of weathering and landform development in warm climates, Serie; Focal problems in Geography, The MacMillan Press Ltd.
- TRIMBLE Navigation, 1990, GPS Pathfinder Basic Manual, PFBASIC Release 1.00, Part Number 16848, Revision B, décembre 1990.
- U.A.W., 1991, Aménagement et gestion des terroirs sylvo pastoraux au Sahel, Programme de la recherche "Sahel" 1991-1996, Université Agronomique Wageningen.
- WEBSTER, R. and M.A.OLIVER, 1990, Statistical Methods in Soil and Land Resource Survey, Spatial Information Systems, Oxford University Press.
- WHITTOW, J, 1984, Dictionary of Physical Geography, Penguin London.
- YOUNG, A., 1976, Tropical soils and soil survey, Cambridge Geographical Studies, University Press.

ANNEXE 1

DESCRIPTION DES PROFILS DES SOLS.

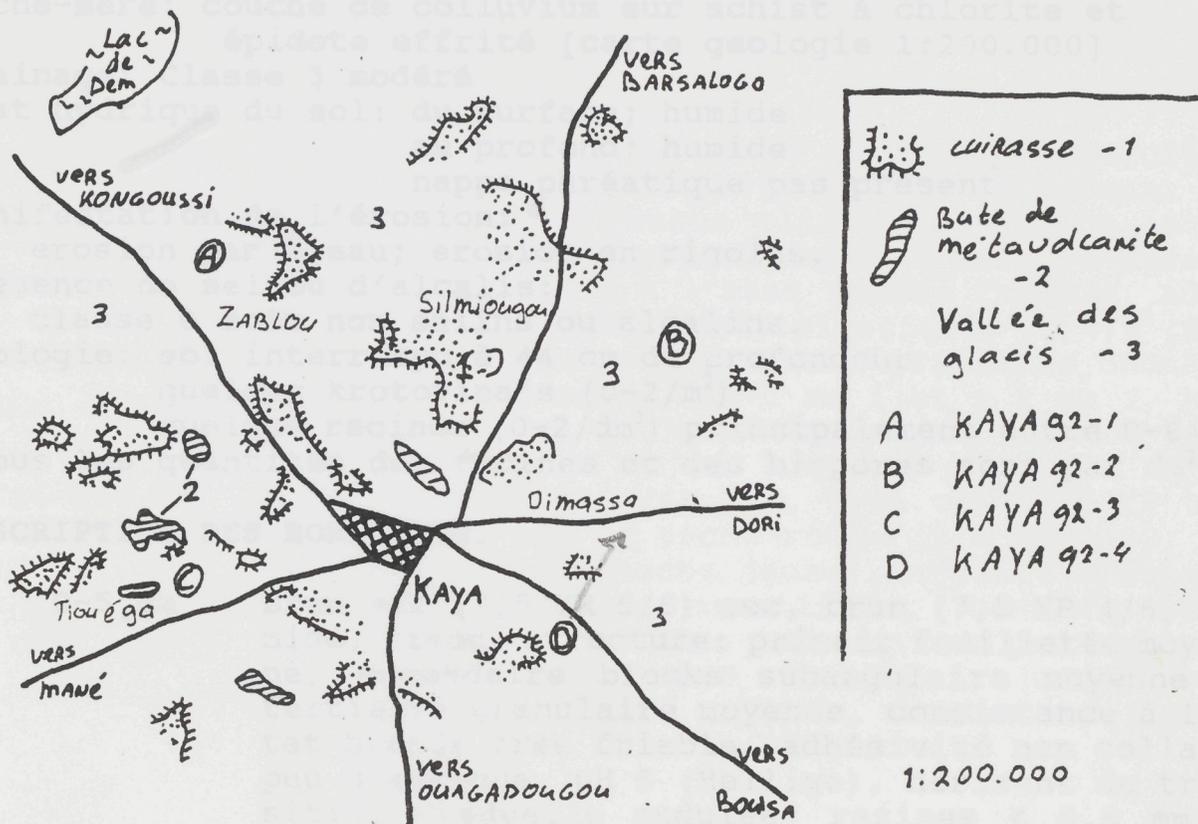
ANNEXES

	pag
Annexe 1 Description des profils des sol.	
1A Profil KAYA92-1 . . . . .	A3
1B Profil KAYA92-2 . . . . .	A7
1C Profil KAYA92-3 . . . . .	A10
1D Profil KAYA92-4 . . . . .	A13
1E Echantions des dunes eoliennes . . . . .	A16
Annexe 2A Legende de la carte de la physiographie . . . . .	A17
2B La carte de la Physiographie	
Annexe 3 La formule de description du sol . . . . .	A18
Annexe 4A Legende de la carte de code de sol . . . . .	A19
4B La carte de la code de sol	
Annexe 5A Legende de la carte de sol . . . . .	A20
5B La carte de sol	
Annexe 6A Legende de la carte de l'évaluation de la terre	A22
6B La carte de l'évaluation de la terre	
Annexe 7 Les photos des bandes spectrales des images satellites	
7A Bande 1 du TM, 7B Bande 2 du TM . . . . .	A23
7C Bande 3 du TM, 7D Bande 4 du TM . . . . .	A23/25
7E Bande 5 de TM, 7F Bande 7 du TM . . . . .	A25
Annexe 8 Les photos des combinaisons et analyses des images satellites.	
8A Combinaison des bandes 1, 2 et 3 . . . . .	A27
8B Combinaison des bandes 1, 4 et 7 . . . . .	A27
8C Composante principale 1 . . . . .	A27
8D Combinaison des composantes principales 1-2-3	A29
8E L'analyse des clusters . . . . .	A29
8F L'index de la végétation . . . . .	A29
Annexe 9 Additionel; La description d'un sol par Boulet	A31

Classification française: Sol brun eutrophe tropique.  
Location: Tablon, 11 km au NO du Kay, route vers les dunes.  
Coordonnées: 17° 40' N, 113° 25' E. Photo prise le 20/11/92.  
altitude: inconnue.  
date: 18 août 1992.  
temps des 14 jours passé: nuageux.  
description par: dr. M. Mulders, K. Balenvis et O. van Dan.  
Information de location de profile.  
Code physiographique: PSW  
Géomorphologie:  
position physiographique de la station: fond d'un vallée  
topographie de la zone environnante: ondulé  
microtopographie: irrégulier  
pente: classe 2 faible

## ANNEXE 1

### DESCRIPTION DES PROFILE DES SOLS.



Positions des fosses de profils.

#### ANNEXE 1A Profile KAYA92-1.

##### Information general.

Classification FAO: Eutric Regosol

Classification française: Sol brun eutrophe tropical

Location: Zablou, 11 km. au NO du Kaya (route ver lac Dem)

coordonnées: 1°7'43"LO, 13°8'55"LN, photo 1:30.000 7940.

altitude: inconnue.

date: 18 août 1992.

temps des 14 jours passé: nuageux.

description par: dr. M. Mulders, A. Belemvire et O. van Dam.

##### Information de location de profile.

Code physiographique: PBW

Géomorphologie:

position physiographique de la station: fond d'une vallée

topographie de la zone environnante: ondulé

microtopographie: irrégulier

pente: classe 2 faible

Végétation et utilisation du sol:  
herbeux avec quelque arbustes utilisé par élevage.

**Information general du sol.**

Roche-mère: couche de colluvium sur schist à chlorite et  
épidote effrité [carte geologie 1:200.000]

Drainage: Classe 3 modéré

Etat hydrique du sol: du surface; humide  
au profond; humide  
nappe phréatique pas present

Manifestation de l'érosion:

erosion par l'eau; erosion en rigoles.

Présence de sel ou d'alcalis:

classe 0 sols non salins ou alcalins.

Biologie: sol interrompu à 44 cm de profondeur

quelque krotovina's (0-2/m<sup>2</sup>)

quelque racines (0-2/dm<sup>2</sup>) principalement entre 0-64 cm

(tous les quantités des racines et des biopores sont par dm<sup>2</sup>)

**DESCRIPTION DES HORIZONTS.**

- A1 0-5 cm Brun vif (7,5 YR 5/6) sec, brun (7,5 YR 4/6) humide, limon, structure: primair feuilletée moyenne, secondaire blocks subangulaire moyenne et tertiaire granulaire moyenne, consistance à l'état humide très friable, adhésivité non collant, peu plastique, pH 5 (Hellige), horizon de transition graduelle ondulée, razines < 0,5 mm 9, 0,5-2 mm 10 et > 2 mm 1, graviers > 2 mm 30%.
- A2 5-21 cm Rouge brun (5 YR 4/6) sec et humide, limon argilleux, structure de blocks angulaire moyenne, consistance à l'état humide friable, adhésivité peu collant, (peu) plastique, pH 5 (Hellige), horizon de transition graduelle ondulée, razines < 0,5 mm 12, 0,5-2 mm 2 et > 2 mm 1, biopores 4, graviers > 2 mm 30%.
- BW 21-33 cm Rouge brun sombre (2,5 YR 3/6) sec, rouge brun (5 YR 4/6) humide, argille, structure de blocks angulaire fin, consistance à l'état humide très friable, adhésivité (peu) collant, (peu) plastique, pH 4,5 (Hellige), horizon de transition graduelle ondulée, razines < 0,5 mm 7, 0,5-2 mm 1 et > 2 mm 1, biopores 10, graviers > 2 mm 3%.
- BC 33-44 cm Rouge brun (5 YR 4/6) sec, rouge brun sombre (2,5 YR 3/6) humide, argille, structure de blocks angulaire fin, consistance à l'état humide très friable, adhésivité (peu) collant, (peu) plastique, pH 4,5 (Hellige), horizon de transition graduelle ondulée, razines < 0,5 mm 9, 0,5-2 mm 1 et > 2 mm 1, biopores 5, graviers > 2 mm 1%.

- C1 44-66 cm Rouge brun faible (5YR 4/4) sec, rouge brun vif (5 YR 5/8) humide, argille, structure de blocks angulaire très fin, consistance à l'état humide très friable, adhésivité (peu) collant, (peu) plastique, pH 5 (Hellige), horizon de transition graduelle ondulée, razines < 0,5 mm 5, 0,5-2 mm 1 et > 2 mm 1, biopores 4, graviers > 2 mm 5%.
- C2 66-84 cm Rouge brun (5 YR 4/6) sec et humide avec 2% de tache rouge (2,5 YR 5/8), argille limoneux, 50% de roche alteré (tache plinthite d=10 cm, stratification de schist), structure massive stratifiée, consistance à l'état humide friable, adhésivité peu collant, (peu) plastique, pH 4,5 (Hellige), horizon de transition graduelle ondulée, razines < 0,5 mm 5, 0,5-2 mm 1 et > 2 mm 1, biopores 3.
- C3 84-100 cm Rouge brun (5 YR 4/6) sec, brun vif (7,5 YR 5/6) humide avec 30% de tache rouge (2,5 YR 8/8), 70% de roche alteré (tache jaune), argille limoneux, structure massive stratifiée, consistance à l'état humide friable, adhésivité peu collant, peu plastique, pH 4,5 (Hellige), horizon de transition graduelle ondulée, razines < 0,5 mm 4, 0,5-2 mm 1 et > 2 mm 1, biopores 1.



N° D'ORIGINE

Texture

Argile <2µ %

Sable (50µ) %

C1 44-66 cm

Sable(250µ) %

Umon total %

Carbone Total %

CaCO3 %

pH (Eau) 1:2,5

pH (Kcl) 1:2,5

C2 66-84 cm

AL3+(échange)

P assimilable (P)

Potassium dispo

P Total (PPM P)

Fer Libre (Fe2O3)

Bases échange

Calcium (Ca+)

C3 84-100 cm

Sodium (Na+)

Somme de Bases

C.E.C. métrique

aux de la Jral

ANNEXES

Rouge brun faible (5YR 4/4) sec, rouge brun vif (5 YR 5/8) humide, argille, structure de blocks angulaire très fin, consistance à l'état humide très friable, adhésivité (peu) collant, (peu) plastique, pH 5 (Hellige), horizon de transition graduelle ondulée, razines < 0,5 mm 5, 0,5-2 mm 1 et > 2 mm 1, biopores 4, graviers > 2 mm 5%.

Rouge brun (5 YR 4/6) sec et humide avec 2% de tache rouge (2,5 YR 5/8), argille limoneux, 50% de roche altéré (tache plinthite d=10 cm, stratification de schist), structure massive stratifiée, consistance à l'état humide friable, adhésivité peu collant, (peu) plastique, pH 4,5 (Hellige), horizon de transition graduelle ondulée, razines < 0,5 mm 5, 0,5-2 mm 1 et > 2 mm 1, biopores 3.

Rouge brun (5 YR 4/6) sec, brun vif (7,5 YR 5/6) humide avec 30% de tache rouge (2,5 YR 8/8), 70% de roche altéré (tache jaune), argille limoneux, structure massive stratifiée, consistance à l'état humide friable, adhésivité peu collant, peu plastique, pH 4,5 (Hellige), horizon de transition graduelle ondulée, razines < 0,5 mm 4, 0,5-2 mm 1 et > 2 mm 1, biopores 1.

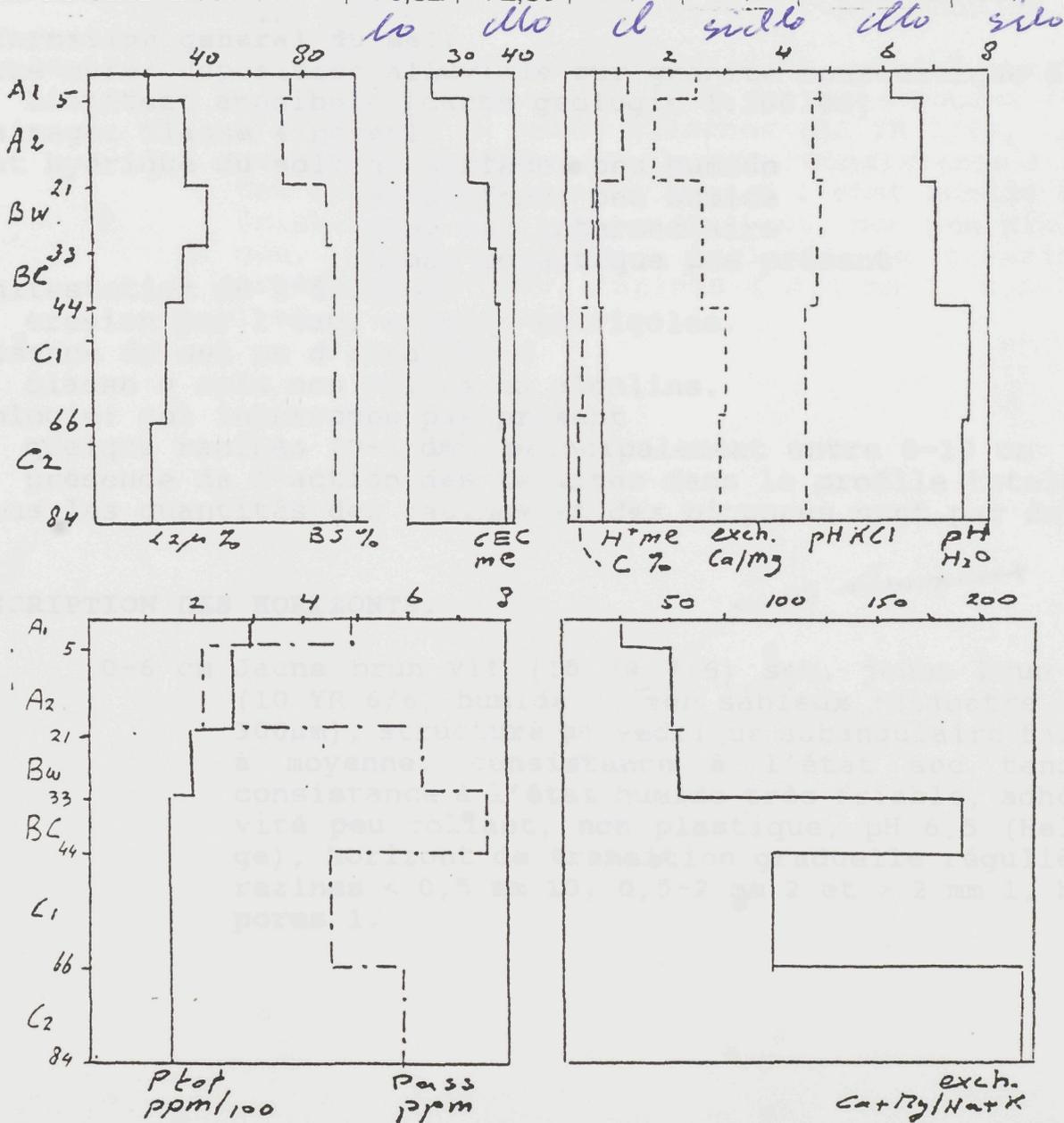




ANALYSES KAYA92-1

N° D'ORIGINE	A1	A2	Bw	BC	C1	C2
Texture						
Argile <2μ %	20,25	35,75	43,50	34,25	27,50	21,50
Sable (50μ) %	14,70	6,72	6,61	6,61	6,90	7,37
Sable(100μ) %	8,25	5,21	4,82	4,82	6,18	7,23
Sable(250μ) %	15,08	17,58	6,38	7,20	9,56	11,44
Limon totaux (2à50μ) %	41,72	34,75	38,69	47,12	49,86	52,46
Carbone Total %	1,16	1,04	0,57	0,26	0,17	0,12
CaCO3 %	1,47	0,37	1,40	1,55	1,92	2,21
PH (Eau) 1:2,5	6,20	6,76	7,00	7,26	7,65	7,50
PH (Kcl) 1:2,5	4,77	4,62	4,72	4,63	4,47	4,45
H+ (échange) még/100g	0,56	0,60	0,60	0,60	0,64	0,60
AL3+ (échange) még/100	0,04	0,08	0,08	0,04	0,04	0,04
P. assimilable (PPM P)	4,99	2,26	6,36	6,78	4,57	6,03
Potassium dispo (PPM K)	93,30	26,30	10,00	7,80	7,20	4,30
P. Total (PPM P)	306,30	268,00	191,40	153,10	153,10	153,10
Fer Libre(Fe2O3%)	2,86	3,44	3,49	3,19	2,85	2,88
Bases échange mé/100g						
Calcium(Ca++)	12,66	14,31	21,86	24,67	25,67	26,10
Magnesium(Mg++)	5,15	8,22	8,50	9,15	8,65	8,88
Potassium(K+)	0,33	0,08	0,03	0,01	0,01	0,01
Sodium(Na+)	0,34	0,37	0,52	0,21	0,34	0,15
Somme de Bases	18,48	22,98	30,91	34,04	34,67	35,14
C. E. C mé/100g	24,15	31,76	35,03	37,14	37,41	37,77
taux de saturation %	76,52	72,36	88,24	91,65	92,68	93,04

*Handwritten notes:*  
 Aug  
 Aug



A6

ANNEXE 1B Profile KAYA92-2.**Information general.**

Classification FAO: Dystric Fluvisol

Classification française: sol minéraux brut d'apport alluvial

Location: Silmiougou, 7 km. au Nord du Kaya

(route ver Barsalogo)

coordonnées: 1°3'17"LO, 13°7'39"LN, photo 1:30.000 7959.

altitude: inconnue.

date: 18 août 1992.

temps des 14 jours passé: changement de pluie et soleil.

description par: dr. M. Mulders, dr. P. Zombré, A. Belemvire  
et O. van Dam.**Information de location de profile.**

Code physiographique: PFI

Géomorphologie:

position physiographique de la station: plaine

topographie de le zone environnante: plat ou quasi plat

microtopographie: surface laborée

pente: classe 1 nulle ou quasi nulle

Vegetation et utilisation du sol:

millet chez petite village avec quelque grandes  
arbes (20 m)**Information general du sol.**Roche-mère: deposition alluviale sur granite mouzouitique à  
biotiteet amphibole [carte geologie 1:200.00]

Drainage: Classe 4 normal

Etat hydrique du sol: du surface; peu humide

au profond; peu humide

zone sec intermediaire

nappe phréatique pas présent

Manifestation de l'érosion:

erosion par l'eau; erosion en rigoles.

Présence de sel ou d'alcalis:

classe 0 sols non salins ou alcalins.

Biologie: sol interrompu pas présent

quelque racines (0-2/dm<sup>2</sup>) principalement entre 0-10 cm

présence de l'action des termites dans le profile totale

(tous les quantités des racines et des biopores sont par dm<sup>2</sup>)**DESCRIPTION DES HORIZONTS.**

- A1 0-6 cm Jaune brun vif (10 YR <sup>sable limoneux</sup> 7/6) sec, jaune brun vif (10 YR 6/6) humide, limon sableux (diamètre 210-300µm), structure polyedrique subangulaire faible à moyenne, consistance à l'état sec tendre, consistance à l'état humide très friable, adhésivité peu collant, non plastique, pH 6,5 (Hellige), horizon de transition graduelle régulière, razines < 0,5 mm 10, 0,5-2 mm 2 et > 2 mm 1, biopores 1.

*sable limoneux*

AC 6-43 cm Orange (7,5 YR 6/6) sec, brun (7,5 YR 4/6) humide, limon sableux (diamètre 105-150 $\mu$ m), structure polyédrique subangulaire faible à moyenne, consistance à l'état sec tendre, consistance à l'état humide friable, adhésivité peu collant, non plastique, pH 5,5 (Hellige), horizon de transition graduelle régulière, razines < 0,5 mm 5, 0,5-2 mm 1 et > 2 mm 1, biopores 1.

2C 43-89 cm Brun vif (7,5 YR 5/6) sec, orange (7,5 YR 6/6) humide, tache rouges (5 YR 5/8), limon sableux (diamètre 300-420  $\mu$ m), structure massif, consistance à l'état sec peu dur, consistance à l'état humide (très) friable, adhésivité peu collant, non plastique, pH 5,5 (Hellige), horizon de transition abrupte ondulée, razines < 0,5 mm 4, 0,5-2 mm 1 et > 2 mm 1, biopores 3.

*sable lim.*

89-90 cm Horizon induré (lessivé) très irrégulière, brun vif (7,5 YR 5/6) sec, brun vif (7,5 YR 5/8) humide, 20% de tache rouges (5 YR 4/4), limon (diamètre 210-300 $\mu$ m), consistance à l'état sec peu dur, consistance à l'état humide friable, adhésivité peu collant, non/peu plastique, pH 5 (Hellige), horizon de transition abrupte ondulée.

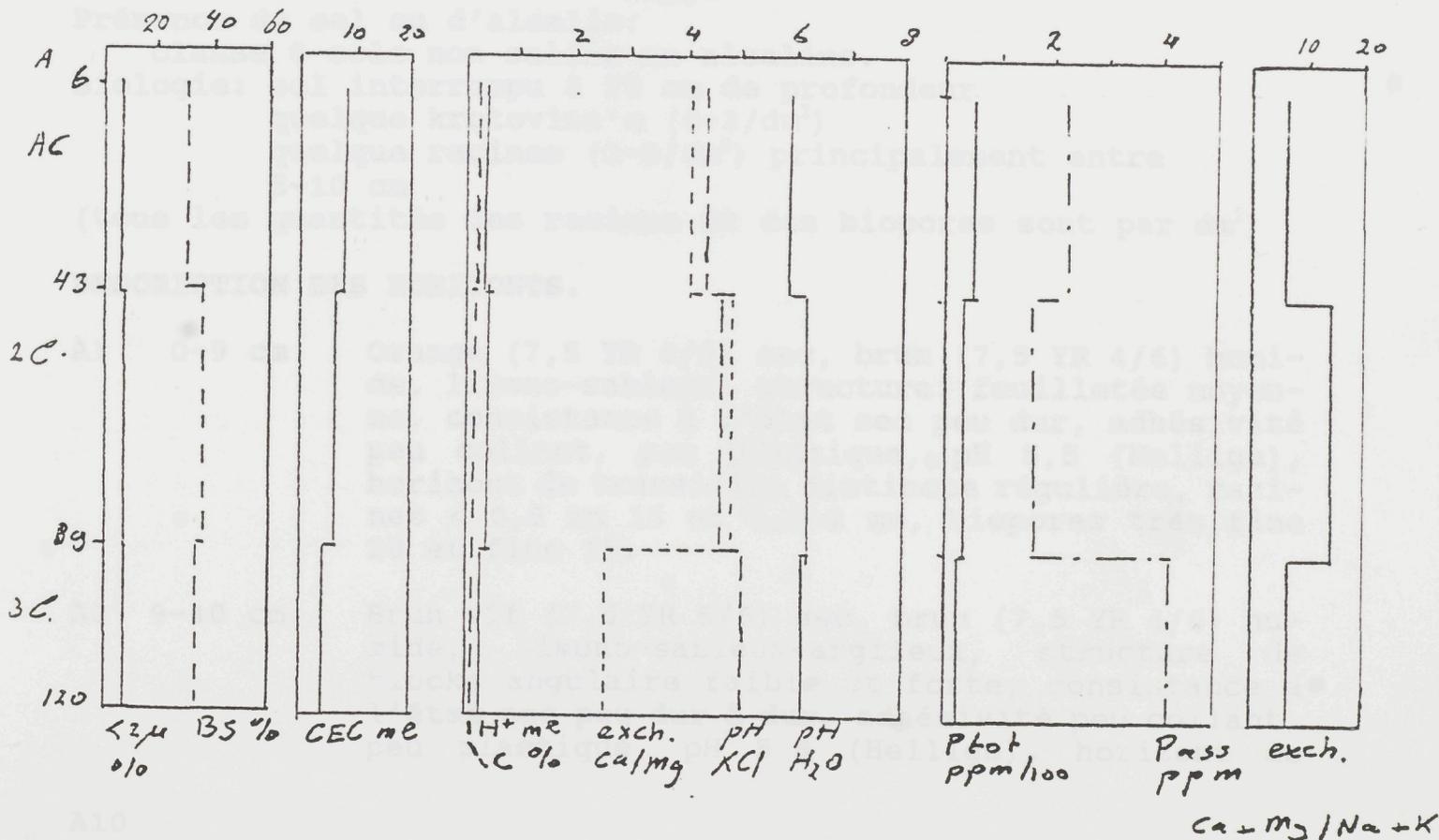
3C 90-120 cm Jaune orange faible (10YR 7/4) sec, jaune brun vif (10 YR 6/6) humide, 30% de tache rouges (5 YR 4/4) et 15% de tache blanches (10 YR 7/3), limon sableux, structure faislement, consistance à l'état sec tendre, consistance à l'état humide très friable, adhésivité peu collant, non/peu plastique, pH 5 (Hellige), horizon de transition graduelle ondulée, razines < 0,5 mm 1, 0,5-2 mm 1 et > 2 mm 1, biopores 2.

*sable lim.*

ANALYSES KAYA92-2

N° D'ORIGINE	AC	2C	3C
Texture			
Argile <2μ %	7,50	8,25	7,50
Sable (50μ) %	27,81	20,87	27,27
Sable(100μ) %	28,52	27,18	24,47
Sable(250μ) %	26,61	37,25	28,17
Limon totaux (2à50μ) %	9,57	6,45	12,59
Carbone Total %	0,23	0,16	0,13
CaCO3 %	2,21	0,81	0,88
PH (Eau) 1:2,5	5,88	6,21	6,18
PH (KCl)1:2,5	4,38	4,68	5,08
H+ (échange) még/100g	0,32	0,38	0,30
AL3+ (échange)még/100g	0,04	0,02	0,02
P.assimilable (PPM P)	2,21	1,60	4,10
Potassium dispo (PPM K)	53,50	34,90	20,60
P.Total (PPM P)	76,60	38,30	38,30
Fer Libre(Fe2O3%)	1,24	0,28	0,22
Bases échange mé/100g			
Calcium(Ca++)	1,54	1,70	0,82
Magnesium(Mg++)	0,38	0,35	0,32
Potassium(K+)	0,15	0,08	0,03
Sodium(Na+)	0,21	0,06	0,15
Somme de Bases	2,28	2,19	1,32
C. E. C mé/100g	7,26	5,95	4,00
taux de saturation %	31,40	36,81	33,00

*2050 2050 2050*



**ANNEXE 1C Profile KAYA92-3.**

**Information general.**

Classification FAO: Eutric Fluvisol

Classification française: sol peu évolué d'apport alluvial

Location: Tiouéga, 4 km. Sud-Ouest de Kaya

coordonnées: 1°7'43"LO, 13°8'55"LN, photo 1:30.000 7942.

altitude: inconnue.

date: 29 septembre 1992.

temps des 14 jours passé: clair.

description par: A. Belemvire et O. van Dam.

**Information de location de profile.**

Code physiographique: PFG, région de métavulcanites

Géomorphologie:

position physiographique de la station: plaine

topographie de la zone environnante:

plat ou quasi plat ondulé

microtopographie: régulier

pente: classe 1 nulle ou quasi nulle

Végétation et utilisation du sol:

champs de millet.

**Information general du sol.**

Roche-mère: deposition alluviale sur schist à chlorite et  
épidote [carte géologie 1:200.000]

Drainage: Classe 4 normal

Etat hydrique du sol: du surface; sec

au profond; sec

nappe phréatique pas present

Manifestation de l'érosion: érosion par l'eau; érosion en  
nappe.

Présence de sel ou d'alcalis:

classe 0 sols non salins ou alcalins.

Biologie: sol interrompu à 25 cm de profondeur

quelque krotovina's (0-2/dm<sup>2</sup>)

quelque racines (2-5/dm<sup>2</sup>) principalement entre

5-10 cm

(tous les quantités des racines et des biopores sont par dm<sup>2</sup>)

**DESCRIPTION DES HORIZONTS.**

A1 0-9 cm Orange (7,5 YR 6/6) sec, brun (7,5 YR 4/6) humide, limono-sableux, structure: feuilletée moyenne, consistance à l'état sec peu dur, adhésivité peu collant, peu plastique, pH 5,5 (Hellige), horizon de transition distincte régulière, razi-  
nes < 0,5 mm 18 et 0,5-2 mm, biopores très fine 20 et fine 15.

A2 9-40 cm Brun vif (7,5 YR 5/6) sec, brun (7,5 YR 4/6) humide, limono-sableux-argileux, structure de  
blocks angulaire faible et forte, consistance à l'état sec peu dur à dur, adhésivité peu collant,  
peu plastique, pH 5,5 (Hellige), horizon de

N° D'ORIGINE A<sub>1</sub> A<sub>2</sub> A<sub>3</sub> A<sub>4</sub> A<sub>5</sub>

Texture

Argile <2μ % 9,75 20,25 23,00 23,50 26,00

Sable (50μ)

Sable (100μ)

Sable (250μ)

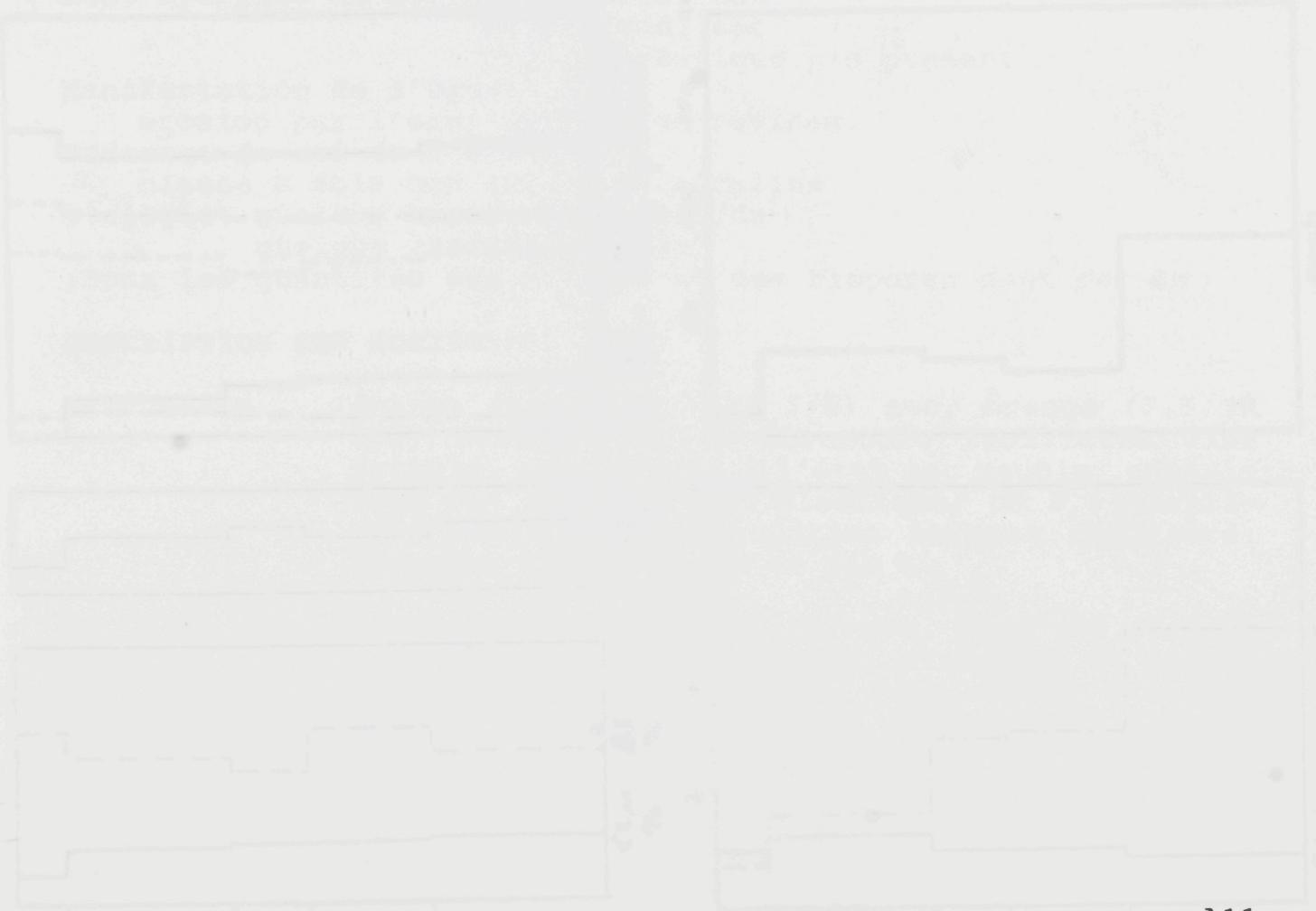
ANNEXES

transition graduelle ondulée, razines < 0,5 mm 36 et 0,5-2 mm 2, biopores très fine 220 et fine 20.

2C1 40-54 cm Brun vif (7,5 YR 5/8) sec, brun (7,5 YR 4/6) humide, limono-sableux-argileux, structure de blocs angulaire faible à forte, consistance à l'état sec dur très friable, adhésivité peu collant, peu plastique, pH 5 (Hellige), horizon de transition graduelle ondulée, razines < 0,5 mm 2 et 0,5-2 mm 5, biopores très fine 104 et fine 3.

2C2 54-77 cm Rouge brun vif (5 YR 5/8) sec, rouge brun (5 YR 4/6) humide, limono-sableux-argileux, structure de blocs angulaire moyenne, consistance à l'état sec (peu) dur, adhésivité collant, (peu) plastique, pH 5 (Hellige), horizon de transition graduelle ondulée, razines < 0,5 mm 2, biopores très fine 92 et fine 6.

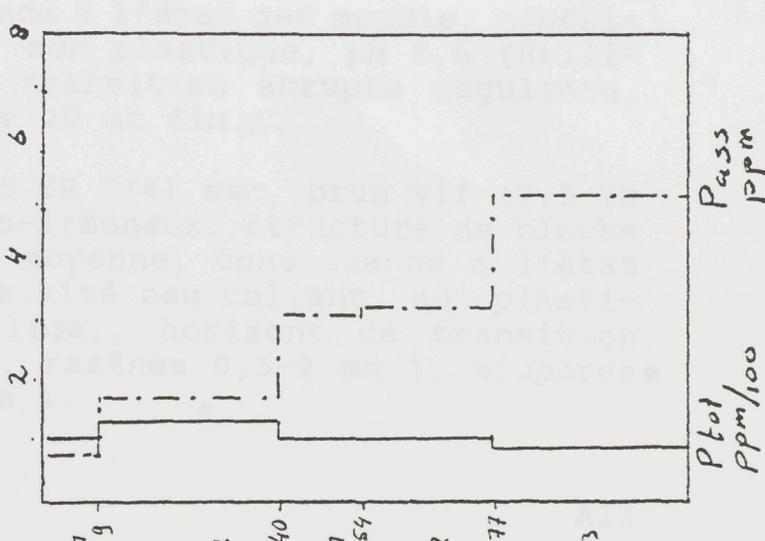
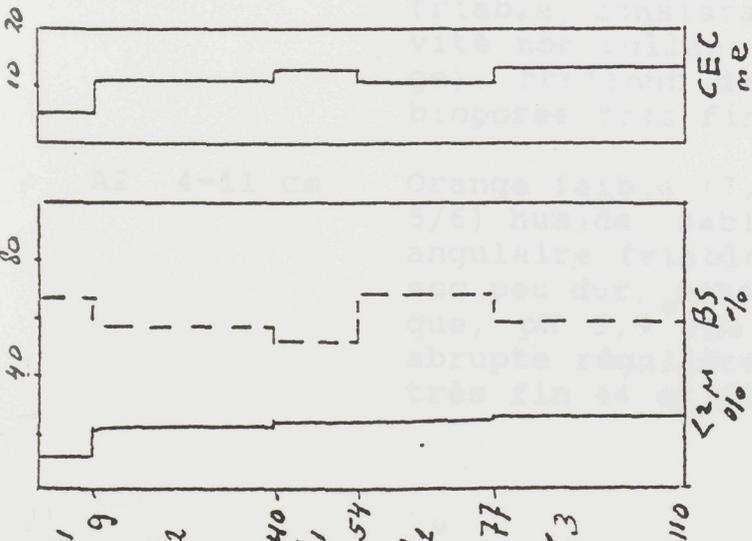
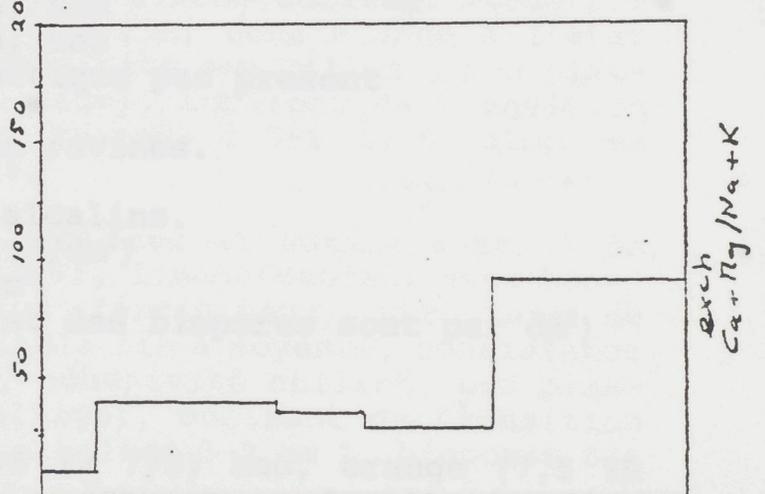
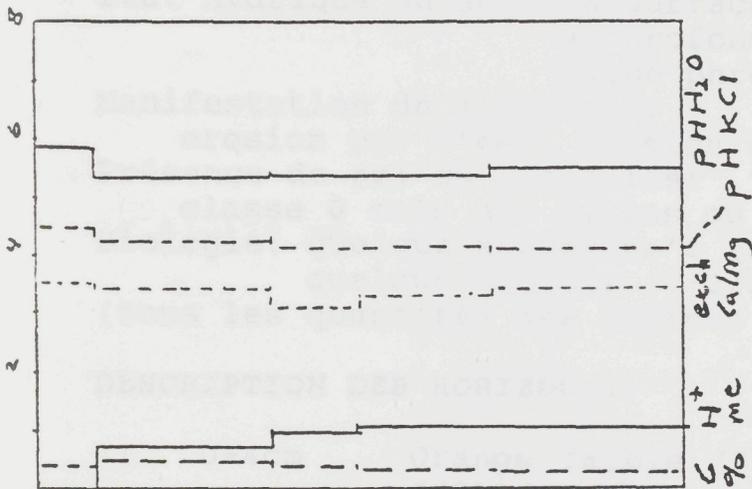
2C3 77-110 cm Brun vif (7,5 YR 5/8) sec, brun (7,5 YR 4/6) humide, limono-sableux-argileux, structure de blocs angulaire moyenne, consistance à l'état humide (très) friable, adhésivité collant, (peu) plastique, pH 5,5 (Hellige), razines < 0,5 mm 2, biopores très fine 92, fine 4 et moyenne 4.



ANALYSES KAYA92-3

N° D'ORIGINE	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	2C <sub>1</sub>	2C <sub>2</sub>	2C <sub>3</sub>
Texture					
Argile <2μ %	9,75	20,25	23,00	23,50	26,00
Sable (50μ) %	28,94	26,88	25,64	24,55	23,41
Sable(100μ) %	21,14	17,20	16,96	17,47	15,66
Sable(250μ) %	10,85	8,70	9,12	9,23	8,30
Limon totaux (2à50μ) %	29,32	26,97	25,29	25,24	26,64
Carbone Total %	0,35	0,47	0,37	0,30	0,24
CaCO3 %	1,77	1,06	0,96	1,06	1,25
PH (Eau) 1:2,5	5,81	5,34	5,33	5,35	5,48
PH (Kcl)1:2,5	4,48	4,25	4,12	4,12	4,08
H+ (échange) még/100g	0,04	0,68	0,88	0,96	0,96
AL3+ (échange)még/100	0,04	0,12	0,08	0,04	0,04
P.assimilable (PPM P)	0,80	1,84	3,16	3,30	5,32
Potassium dispo (PPM K)	54,70	19,80	17,20	18,60	15,90
P.Total (PPM P)	114,90	134,00	114,90	114,90	95,70
Fer Libre(Fe2O3%)	1,61	2,14	2,37	2,35	2,50
<i>clay</i> Bases échange mé/100g					
Calcium(Ca++)	2,21	4,77	4,74	5,30	5,72
Magnesium(Mg++)	0,63	1,41	1,51	1,61	1,69
Potassium(K+)	0,24	0,06	0,05	0,06	0,05
Sodium(Na+)	0,15	0,12	0,12	0,15	0,03
<i>clay</i> Somme de Bases	3,23	6,36	6,42	7,12	7,49
C. E. C mé/100g	4,89	11,22	12,57	10,58	12,71
taux de saturation %	66,05	56,68	51,07	67,30	58,93

*sable sable sable sable sable*



A12

ANNEXE 1D Profile KAYA92-4.**Information general.**

Classification FAO: Eutric Fluvisol

Classification française: sol peu évolué d'apport alluvial

Location: Dimassa, 4 km. Est du Kaya

coordonnées: 1°7'43"LO, 13°8'55"LN, photo 1:30.000 7940.

altitude: inconnue.

date: 30 septembre 1992.

temps des 14 jours passé: sec, mais ce matin un peu de pluie.

description par: A. Belemvire et O. van Dam.

**Information de location de profile.**

Code physiographique: PFI

Géomorphologie:

position physiographique de la station: concave

topographie de la zone environnante: ondulé

microtopographie: irrégulier

pente: classe 2 faible

Végétation et utilisation du sol:

région d'élevage, érosion forte.

**Information general du sol.**Roche-mère: deposition alluviale sur schist à chlorite et  
épidote [carte géologie 1:200.000]

Drainage: Classe 4 normale

Etat hydrique du sol: du surface; sec

au profond; sec

nappe phréatique pas present

Manifestation de l'érosion:

érosion par l'eau; érosion en ravines.

Présence de sel ou d'alcalis:

classe 0 sols non salins ou alcalins.

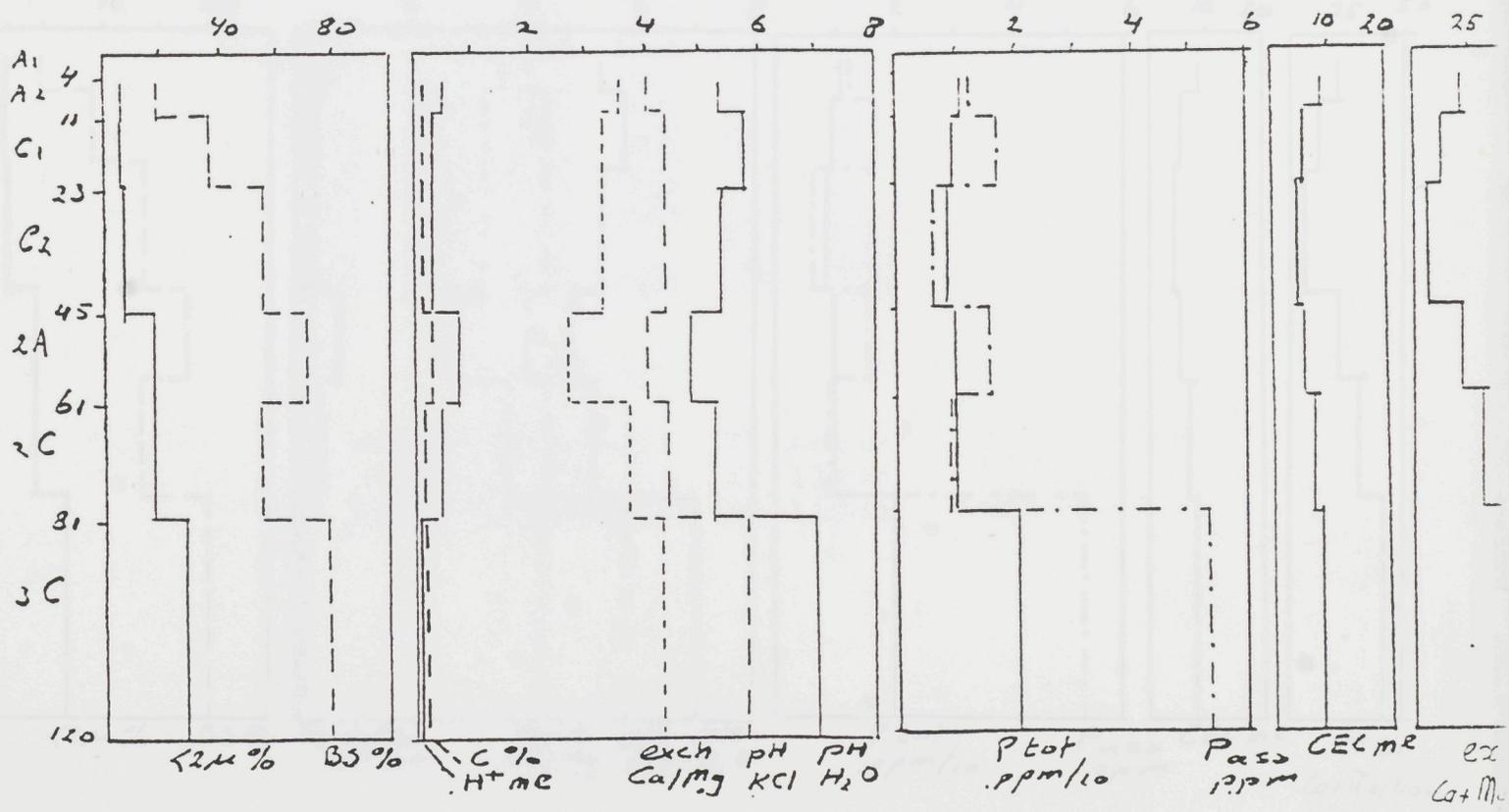
Biologie: quelque krotovina's (2-5/dm<sup>2</sup>)quelque racines (0-2/dm<sup>2</sup>)(tous les quantités des racines et des biopores sont par dm<sup>2</sup>)**DESCRIPTION DES HORIZONTS.**

- |    |         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A1 | 0-4cm   | Orange faible (7,5 YR 7/5) sec, orange (7,5 YR 6/8) humide, sable, structure feuilletée fine friable, consistance à l'état sec meuble, adhésivité non collant, non plastique, pH 5,5 (Hellige), horizon de transition abrupte régulière, biopores très fine 20 et fin 1.                                            |
| A2 | 4-11 cm | Orange faible (7,5 YR 7/4) sec, brun vif (7,5 YR 5/6) humide, sablo-limoneux, structure de blocks angulaire friable moyenne, consistance à l'état sec peu dur, adhésivité peu collant, non plastique, pH 5,5 (Hellige), horizon de transition abrupte régulière, racines 0,5-2 mm 1, biopores très fin 44 et fin 1. |

- C1 11-23 cm Orange (7,5 YR 6,5/8) sec, brun vif (7,5 YR 5/8) humide, sablo-limoneux avec 4% gravier ferrigineux, structure de blocks angulaire friable moyenne, consistance à l'état sec peu dur, adhésivité non collant, non plastique, pH 6 (Hellige), horizon de transition abrupte régulière, razines 0,5-2 mm 4, biopores fine 24.
- C2 23-45 cm Orange (7,5 YR 6/6) sec, brun vif (7,5 YR 5/6) humide avec 10% de tache rouge (5 YR 5/6 et 6/6), sablo-limoneux, structure de blocks angulaire friable moyenne, consistance à l'état sec peu dur, adhésivité peu collant, peu plastique, pH 5,5 (Hellige), horizon de transition graduelle régulière, razines 0,5-2 mm 5 et > 2 mm 1, biopores fine 72.
- 2A 45-61 cm Brun sombre (7,5YR 5/4) sec, brun (7,5 YR 4/4) humide avec 15% de taches rouge (5 YR 6/6), limono-sableux, structure de blocks angulaire dur fin, consistance à l'état dur, adhésivité peu collant, peu plastique, pH 5,5 (Hellige), horizon de transition abrupte régulière, razines 0,5-2 mm 3, biopores fin 48 et grand 5.
- 2C 66-81 cm Brun vif (7,5 YR 5/6) sec et humide avec 15% de tache rouge (5 YR 6/6), limono-sableux, structure de blocs angulaire dur fin, consistance à l'état sec (très) dur, adhésivité peu collant, peu plastique, pH 5,5 (Hellige), horizon de transition abrupte régulière, razines 0,5-2 mm 6, biopores fin 12 et grand 28.
- 3C 81-120 cm Brun vif (7,5 YR 5/8) sec et humide avec 3% de tache rouge (5 Yr 6/6), limono-sableux avec beaucoup de concretion ferrigineux, structure de blocs angulaire friable fin à moyenne, consistance à l'état très dur, adhésivité collant, peu plastique, pH 5,5 (Hellige), horizon de transition graduelle ondulée, razines 5-2 mm 1, biopores fin 48 et grand 6.

ANALYSES KAYA92-4

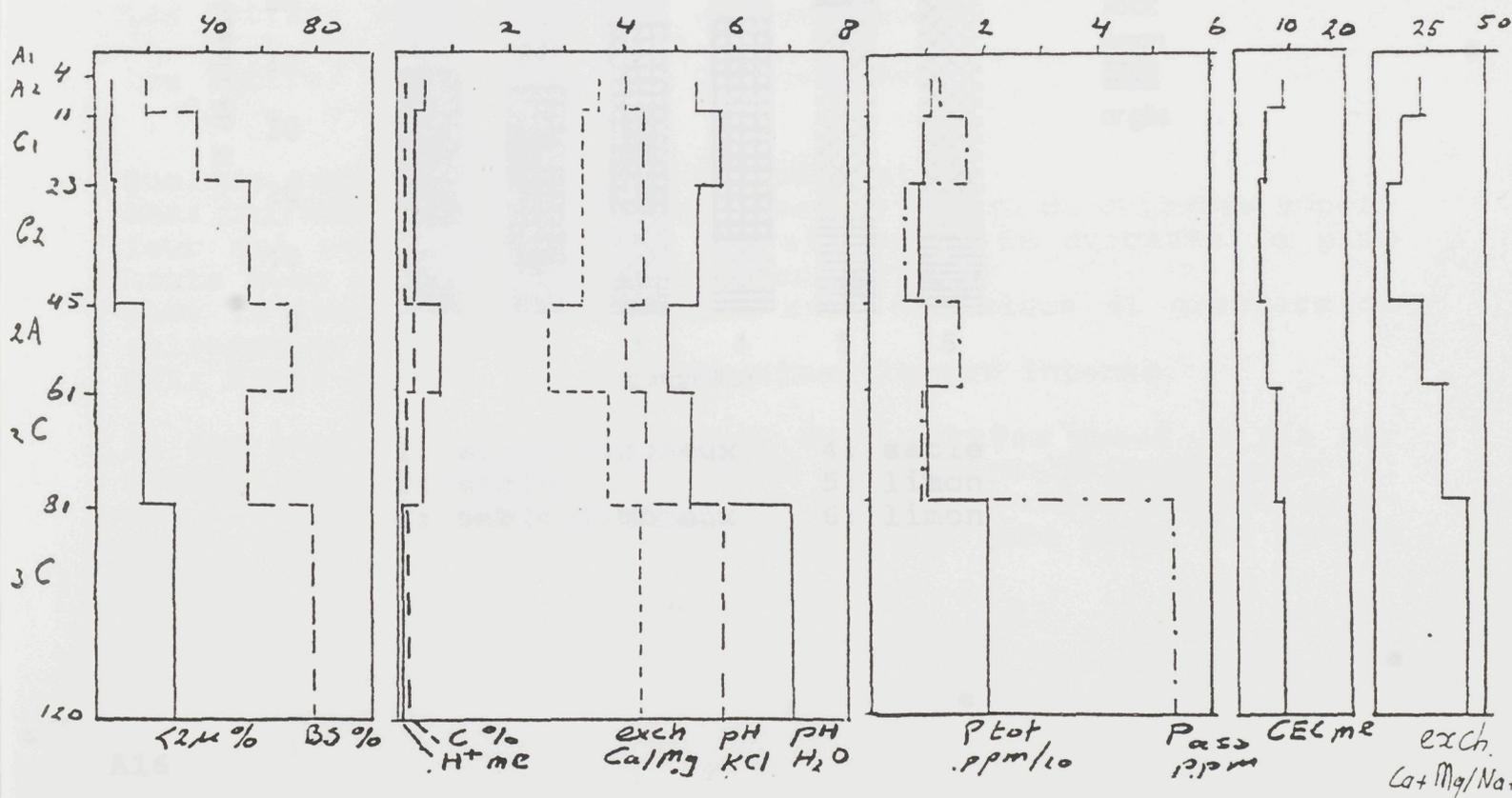
N° D'ORIGINE	A <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	2A	2C	3C
Texture						
Argile <2μ %	7,50	6,25	7,50	17,50	16,75	26,75
Sable (50μ) %	27,77	28,93	21,47	27,56	26,42	20,14
Sable(100μ) %	29,89	36,70	22,47	18,69	20,13	16,95
Sable(250μ) %	28,30	20,84	38,37	19,98	20,44	23,68
Limon totaux (2à50μ) %	6,54	7,28	10,20	16,28	16,26	12,48
Carbone Total %	0,16	0,15	0,15	0,37	0,28	0,24
CaCO <sub>3</sub> %	1,55	1,62	1,77	1,25	1,55	1,84
PH (Eau) 1:2,5	5,35	5,80	5,37	4,86	5,25	7,03
PH (KCl)1:2,5	4,05	4,39	4,44	4,04	4,46	5,83
H+ (échange) még/100g	0,48	0,28	0,32	0,76	0,48	0,12
AL <sub>3</sub> + (échange)még/100g	0,08	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
P.assimilable (PPM P)	1,27	1,72	0,64	1,55	0,94	5,37
Potassium dispo (PPM K)	11,80	9,20	8,40	9,80	9,20	20,60
P.Total (PPM P)	38,30	38,30	38,30	95,70	76,60	95,70
Fer Libre(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %)	0,98	0,82	0,95	1,57	1,61	1,45
Bases échange mé/100g						
Calcium(Ca++)	1,25	1,30	1,60	2,86	3,03	5,18
Magnesium(Mg++)	0,35	0,40	0,49	1,06	0,79	1,19
Potassium(K+)	0,02	0,03	0,06	0,03	0,03	0,06
Sodium(Na+)	0,06	0,12	0,34	0,15	0,09	0,09
Somme de Bases	1,68	1,85	2,49	4,10	3,94	6,52
C. E. C mé/100g	9,01	5,07	4,40	5,80	7,28	8,34
taux de saturation %	18,65	36,49	56,59	70,69	54,12	78,18



ANALYSES KAYA92-4

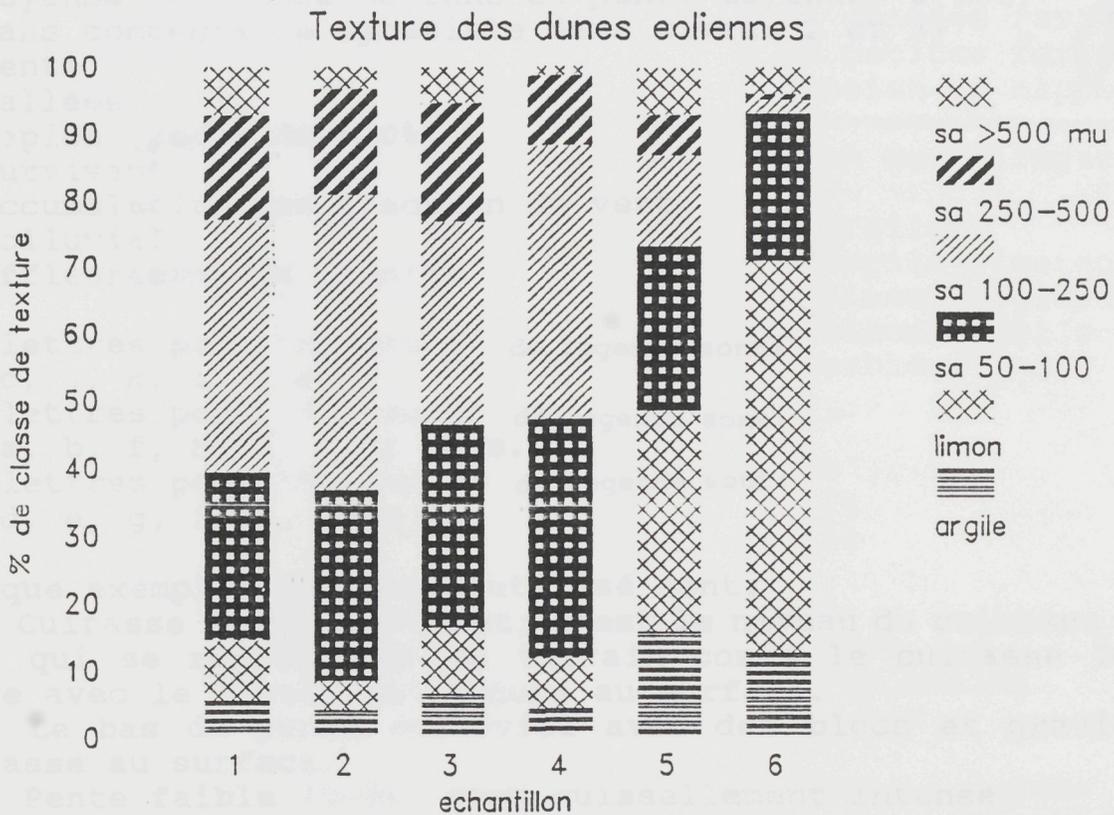
N° D'ORIGINE	A <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	2A	2C	3C
Texture						
Argile <2μ %	7,50	6,25	7,50	17,50	16,75	26,75
Sable (50μ) %	27,77	28,93	21,47	27,56	26,42	20,14
Sable(100μ) %	29,89	36,70	22,47	18,69	20,13	16,95
Sable(250μ) %	28,30	20,84	38,37	19,98	20,44	23,68
Limon totaux (2à50μ) %	6,54	7,28	10,20	16,28	16,26	12,48
Carbone Total %	0,16	0,15	0,15	0,37	0,28	0,24
CaCO <sub>3</sub> %	1,55	1,62	1,77	1,25	1,55	1,84
PH (Eau) 1:2,5	5,35	5,80	5,37	4,86	5,25	7,03
PH (Kcl)1:2,5	4,05	4,39	4,44	4,04	4,46	5,83
H+ (échange) még/100g	0,48	0,28	0,32	0,76	0,48	0,12
AL <sub>3</sub> + (échange)még/100g	0,08	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
P.assimilable (PPM P)	1,27	1,72	0,64	1,55	0,94	5,37
Potassium dispo (PPM K)	11,80	9,20	8,40	9,80	9,20	20,60
P.Total (PPM P)	38,30	38,30	38,30	95,70	76,60	95,70
Fer Libre(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %)	0,98	0,82	0,95	1,57	1,61	1,45
Bases échange mé/100g						
Calcium(Ca++)	1,25	1,30	1,60	2,86	3,03	5,18
Magnesium(Mg++)	0,35	0,40	0,49	1,06	0,79	1,19
Potassium(K+)	0,02	0,03	0,06	0,03	0,03	0,06
Sodium(Na+)	0,06	0,12	0,34	0,15	0,09	0,09
Somme de Bases	1,68	1,85	2,49	4,10	3,94	6,52
C. E. C mé/100g	9,01	5,07	4,40	5,80	7,28	8,34
taux de saturation %	18,65	36,49	56,59	70,69	54,12	78,18

*sa sa 1094 salo salo sand lo*



ANNEXE 1E ECHANTILLIONS DES DUNES EOLIENNES

N° D'ORIGINE	1	2	3	4	5	6
Texture						
Argile <2μ %	5,25	3,75	6,25	4,00	15,50	12,50
Limon(2 à 20μ) %	2,75	1,25	1,25	1,25	10,75	15,00
Sable (50μ) %	24,79	28,43	29,91	35,45	24,63	22,05
Sable(100μ) %	37,74	44,06	30,47	40,92	13,74	2,19
Sable(250μ) %	15,73	15,91	17,86	10,57	6,18	0,88
Sable(500μ) %	6,79	3,10	5,23	1,36	4,46	1,42
Sable(1000μ) %	0,58	0,22	0,24	0,05	2,71	2,60
Limon (20 à 50μ) %	6,39	3,27	8,79	6,40	22,03	43,37



- 1: sablo-limoneux      4: sable  
 2: sable                5: limon  
 3: sablo-limoneux    6: limon

## ANNEXE 2

### LA CARTE DE PHYSIOGRAPHIE

#### ANNEXE 2A LEGENDE

- a: plaine adjacente (en combinaison avec k)  
b: bas (pour la bas de pente ou le cuirasse inférieure)  
c: cuirasse  
d: ruissellement peu intense (érosion en nappe)  
e: érodée ou d'érosion  
f: faible (pente de 0-2%)  
g: ruissellement diffus intense généralisé (érosion en chainaux; <50 par 50 cm\* 50 cm)  
h: haute (cuirasse supérieure et des butes > 20m)  
i: ruissellement concentré (érosion en ravines; >50 par 50cm\* 50cm)  
j: collines pas arrangées ou en formes de haricots  
k: bas-fond  
l: alignement des buttes  
m: moyenne (cuirasse moyenne et pente moyenne; 2-10%)  
o: sans commentaire (possible dans niveau 2 et 3)  
p: pente  
q: vallées  
r: rapide (pente de >10%)  
s: survivant  
v: accumulation par l'action du vent  
w: colluvial  
x: affleurement de granite

Les lettres pour 'niveau 1' de legende sont:

c, j, k, l, p et x.

les lettres pour 'niveau 2' de legende sont:

a, b, f, h, m, q, r et s.

les lettres pour 'niveau 3' de legende sont:

d, e, g, i, o, v et w.

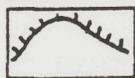
Quelque exemples des codes utilisé sont:

**chs:** Cuirasse haute survivant; c'est le niveau du cuirasse supérieur qui se représenter du terrain comme le cuirasse le plus haute avec le 'latérite' induré au surface.

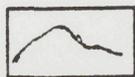
**pbw:** Le bas de pente colluvial avec des blocs et graviers du cuirasse au surface.

**pfi:** Pente faible (0-2%) avec ruissellement intense.

Il est possible d'avoir une code de 4 lettres quand il y a par exemple une cuirasse moyenne érodé avec accumulation du matériel par l'action de vent; **cmev**. Annexe 3 donne la carte du physiographie. Cette carte est utilisé comme une base pour les autres cartes.



escarpement d'une cuirasse



limite d'un paysage  
(cuirasse, butte, vallée ou bas-fond)



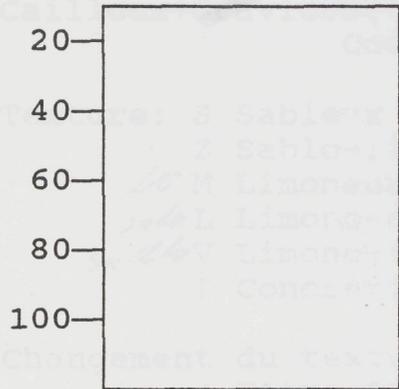
limite d'une unité de la physiographie

### ANNEXE 3

#### LA FORMULE DE DESCRIPTION DU SOL.

date: nom: temps: nr. photo:

nr. d observation:



humidité couleur

code sol:  
code physiographie:  
code végétation:  
code profil du sol:

% arbres: % champs:  
% arbuste: % sol nu:  
% herbes

% affleurement: type:  
% graviers:  
% blocks:

pente %: direction:

m de grandes ravines

m de petites ravines:

% érosion en nappe:

materiel d'origine:

remarques:

#### Les indications sur les formes de description des tirages.

Texture: sa	Sableux	arg	Argileux
sali	Sablo-limoneux	arli	Argilo-limoneux
li	Limoneux	liar	Limono-argileux
lisa	Limono-sableux	liarsa	Limono-argilo-sableux

#### concrétion ou gravier dans le profil:

•	concrétion < 2%	□	gravier < 2%
••	,, 2-10%	□□	,, 2-10%
•••	,, > 10%	□□□	,, > 10%

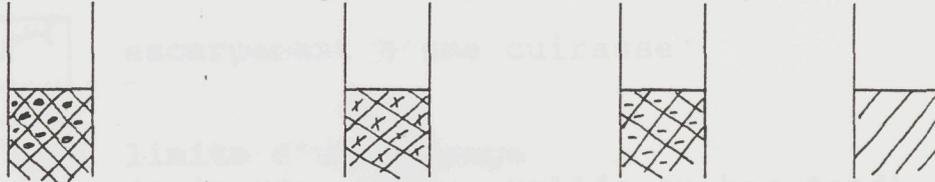
#### tâche rouges ou bruns:

U	< 2%
UU	2-10%
UUU	> 10%

#### humidité:

	humide
/	peu humide
;	sec

Blocage: concrétion Fe, granite, schiste, sèche



Transitions: texture: ——— couleur: -----



ANNEXE 5

LA CARTE DU SOL

ANNEXE 5A LEGENDE

**C Sols développés dans la paysage des cuirasses.**

**Ci** Lithosols dans les cuirasses survivantes.

Char: graviers et cailloux au surface.

**Cs** Complexe des sols minéraux bruts d'apport éolien et lithosols de cuirasse survivant.

Char: localement (20 %) dunes de sable, sablo-limoneux, limono-sableux ou limon pas profonds (< 30cm) sur cuirasse.

**Cr** Sols peu évolués lithiques et régosoliques des pentes rapides des cuirasses.

Char: sols pas profonds (< 10cm) de limono-argilleux et limono-sableux.

**Cb** Sols peu évolués d'apport colluvial de bas de pente des cuirasses.

Char: répétition de limon, sablo-limoneux ou limono-sableux avec des couches riches en graviers et cailloux et avec beaucoup de cailloux et graviers (>15 %) au surface.

**Ce** Sols peu évolués d'apport colluvial pas profond (< 30cm) des cuirasses érodées.

Char: pas profonds (< 30cm) dans limon, sablo-limoneux ou limono-sableux avec beaucoup de graviers au surface (> 15%).

**Cp** Sols peu évolués d'apport colluvial profond (> 30cm) des cuirasses érodées.

Char: profond (> 30cm) dans limon, sablo-limoneux ou limono-sableux.

**Cd** Complexe des sols minéraux bruts d'apport éolien et sols peu évolués d'apport colluvial de bas de pente des cuirasses.

Char: localement (20% de surface) dunes avec sable, sablo-limoneux, limono-sableux ou limon, avec cailloux et graviers (>15%) sur des bas de pentes.

indices: 1 lithosols dans cuirasse supérieur  
 2 " " " moyenne  
 3 " " " inférieure

**S Sols développés dans schistes dérivés de méta-vulcanites et sédiments.**

**S1** Lithosols et sols peu évolués régosoliques dans des affleurements des butes et collines des méta-vulcanites et sédiments.

Char: sols pas profond (<10 cm) avec beaucoup de cailloux et graviers (> 15%) au surface et présence du limono-argileux.

**Sa** Sols peu évolués d'apport colluvial de bas de pentes et vallées.

Char: sols profond (>30 cm) dans argile, argilo-limoneux, limono-argileux et limon-argile-sableux.

**Sc** Complexe des sols peu évolués d'apport colluvial (pas profond < 30cm) et collu-alluvial (profond >30 cm) de bas

de pentes des butes et collines des méta-vulcanites et sédiments.

Char: dépressions (10% de surface) avec sols argileux profonds avec une surface cailloueux d'apport colluvial (et résiduaire).

**V Sols développés dans les vallées avec les pentes faibles.**

Sols peu évolués d'apport colluvial avec assez (jusqu'à environ 15%) de gravier au surface.

**Vp** Char: sols pas profonds (< 30cm) de limon, sablo-limoneux ou limono-sableux avec des couches riches en cailloux et gravier.

**Vl** Char: sols profonds (> 30cm) de sable, limon, sablo-limoneux ou limono-sableux.

**Va** Sols profonds (> 30cm) développés dans une profile avec augmentation de pourcentage d'argille au profondeur.

Teneur d'argille > 30% commence;

- 1 entre 0 et 30 cm,
- 2 entre 30 et 60 cm,
- 3 plus de 60 cm.

indices: s sable au surface jusqu'à 30 cm,  
i ruissèlement intense,  
g ruissèlement peu intense,  
d ruissèlement pas intense.

(les définitions de ruissèlement sont la même comme au légende de physiographie.)

**B Sols développés dans ou chez les bas fonds; tous les sols adjacente des bas fonds d'environ 20 à 30 mètre.**

Sols peu évolués d'apport colluvial avec assez (jusqu'à environ 15%) de gravier au surface.

**Bp** Char: sols pas profonds (< 30cm) de limon, sablo-limoneux ou limono-sableux avec des couches riches en cailloux et gravier.

**Bl** Char: sols profonds (> 30cm) de sable, limon, sablo-limoneux ou limono-sableux.

**Ba** Sols profonds (> 30cm) développés dans une profile avec augmentation de pourcentage d'argille au profondeur.

Teneur d'argille > 30% commence;

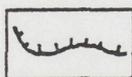
- 1 entre 0 et 30 cm,
- 2 entre 30 et 60 cm,
- 3 plus de 60 cm.

**Bc** Complexe des sols par l'action fluviatile.

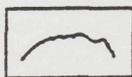
Char: changement de texture irrégulière.

indices: s sable au surface jusqu'à 30 cm,  
i ruissèlement intense,  
g ruissèlement peu intense,  
d ruissèlement pas intense.

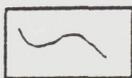
(les définitions de ruissèlement sont la même comme au légende de physiographie.)



escarpement d'une cuirasse



limite d'un paysage  
(cuirasse, butte, vallée ou bas-fond)



limite d'une unité de sol

## ANNEXE 6

ANNEXE 6A Legende de la carte de l'évaluation de la terre.

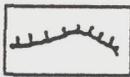
Clé d'aptitude par culture pour les unités.

	Propre	Peu propre	Pas propre
maïs	S11, S12	S21, S22	le reste
mil/sorgho	S11, S12, S13 S21, S22	S23, S31, S32	le reste
arachide	tout les sols S, sauf avec A au surface	N11, N12	les sols avec A au surface et N21 et N22
élevage	N11, N12, N21	--	N22

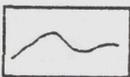
Limitations.

f: fertilité  
e: érosion  
h: humidité  
a: accessibilité du surface  
g: gravier au surface  
p: pente

(Il y a une explication complète en paragraphe 5.5)



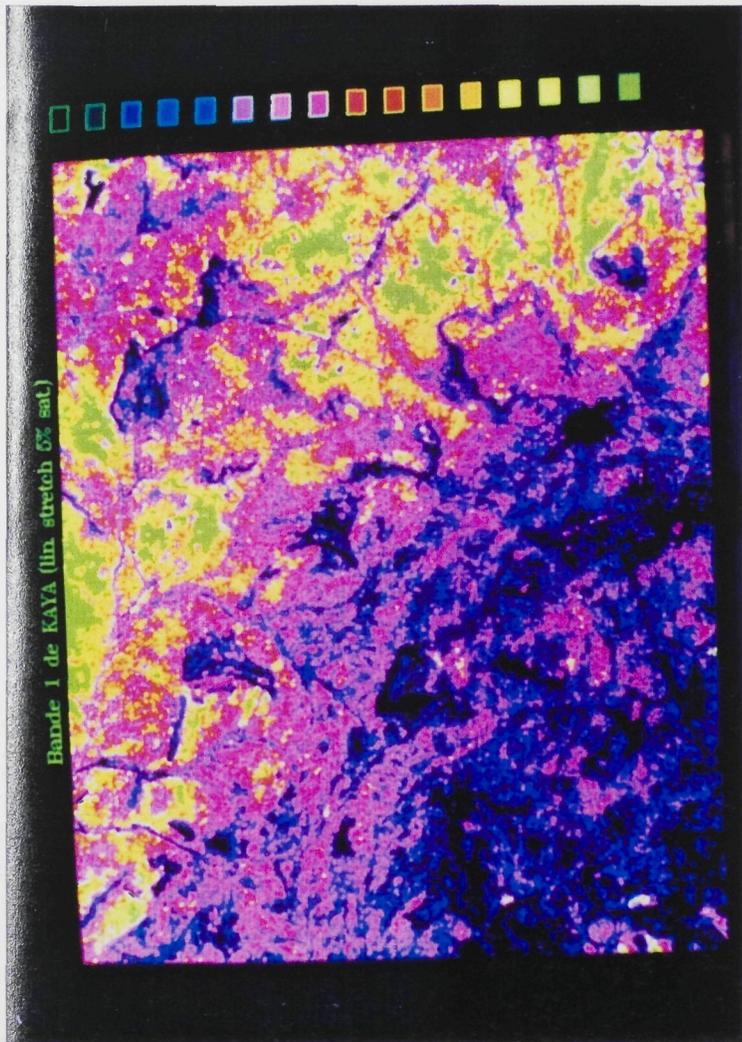
escarpement d'une cuirasse



limite d'une unité d'aptitude

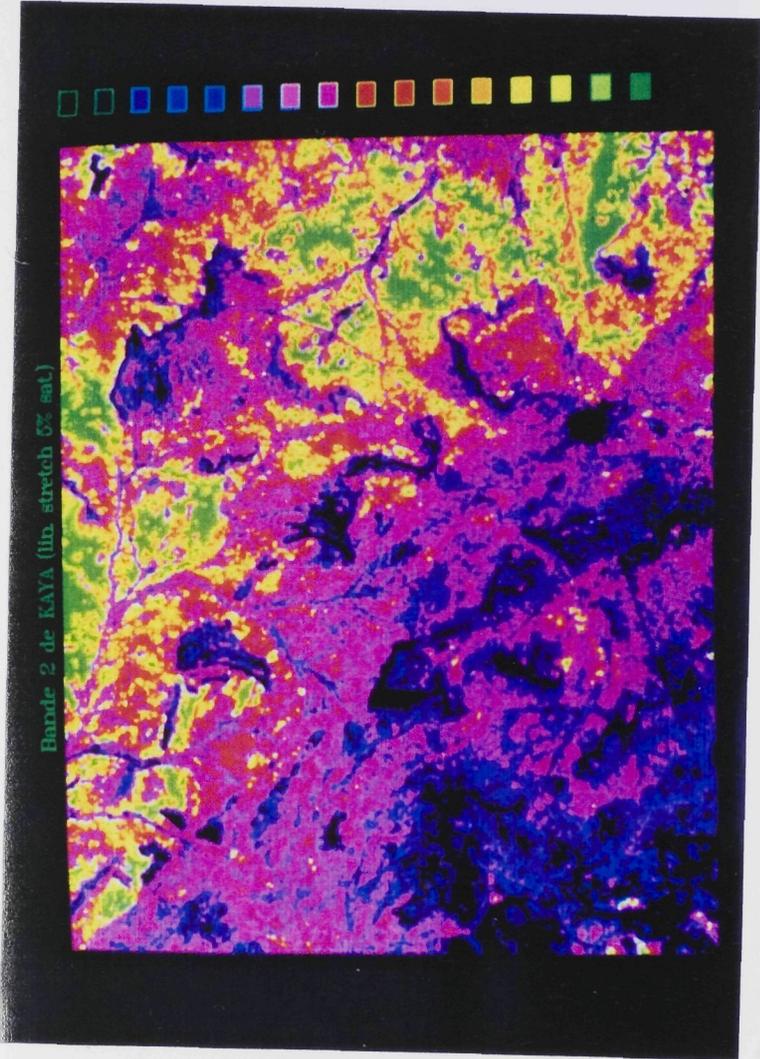
# ANNEXE 7

Les photos des bandes spectrales des images satellites.

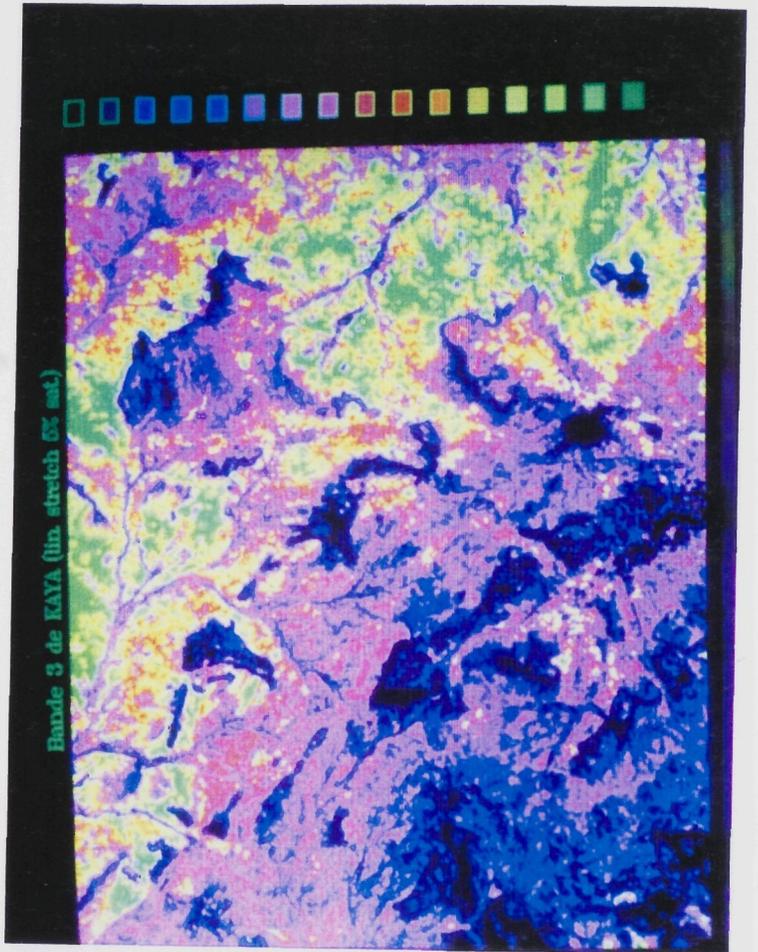


7A Bande 1 du TM

A23

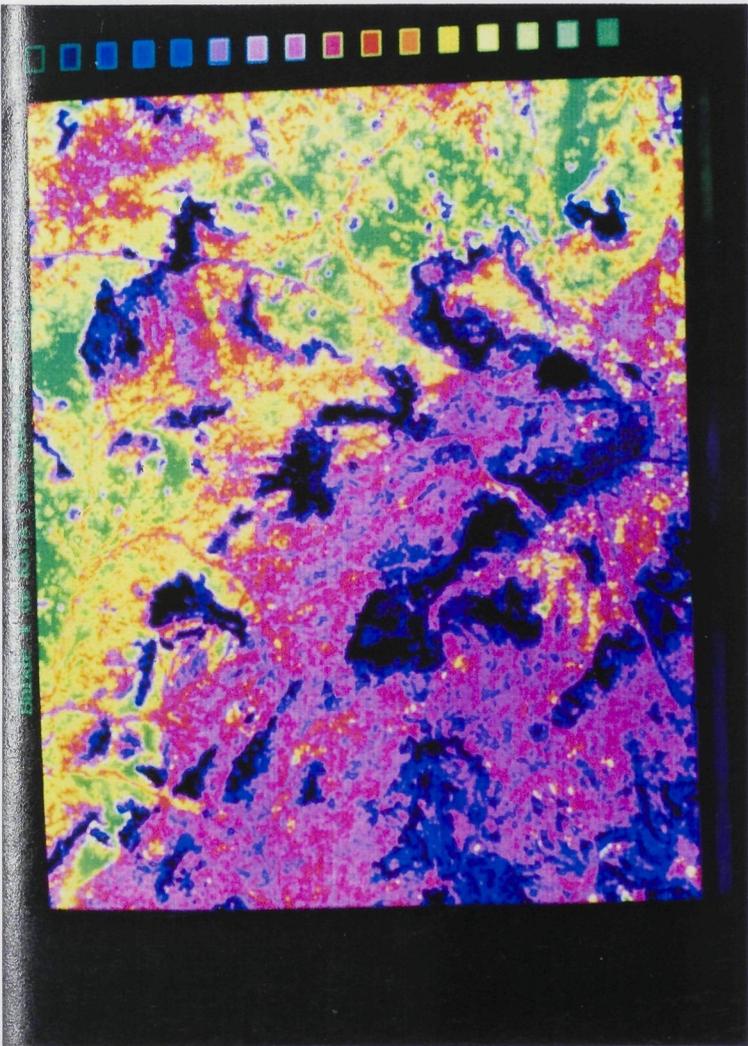


7B Bande 2 du TM

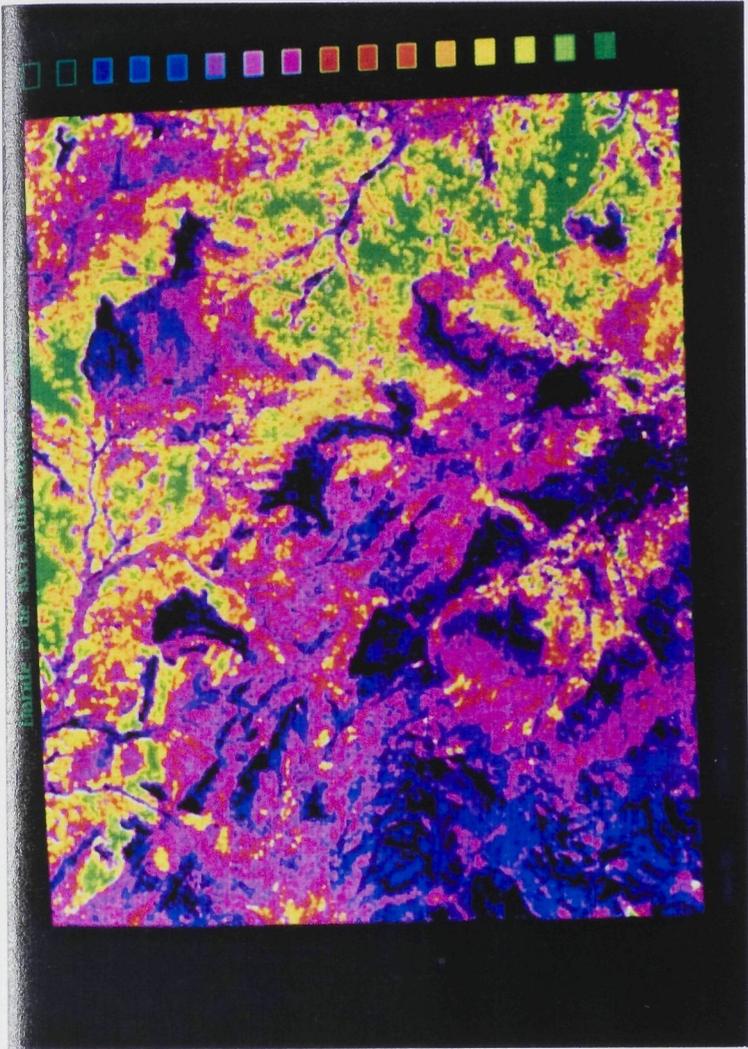


7C Bande 3 du TM

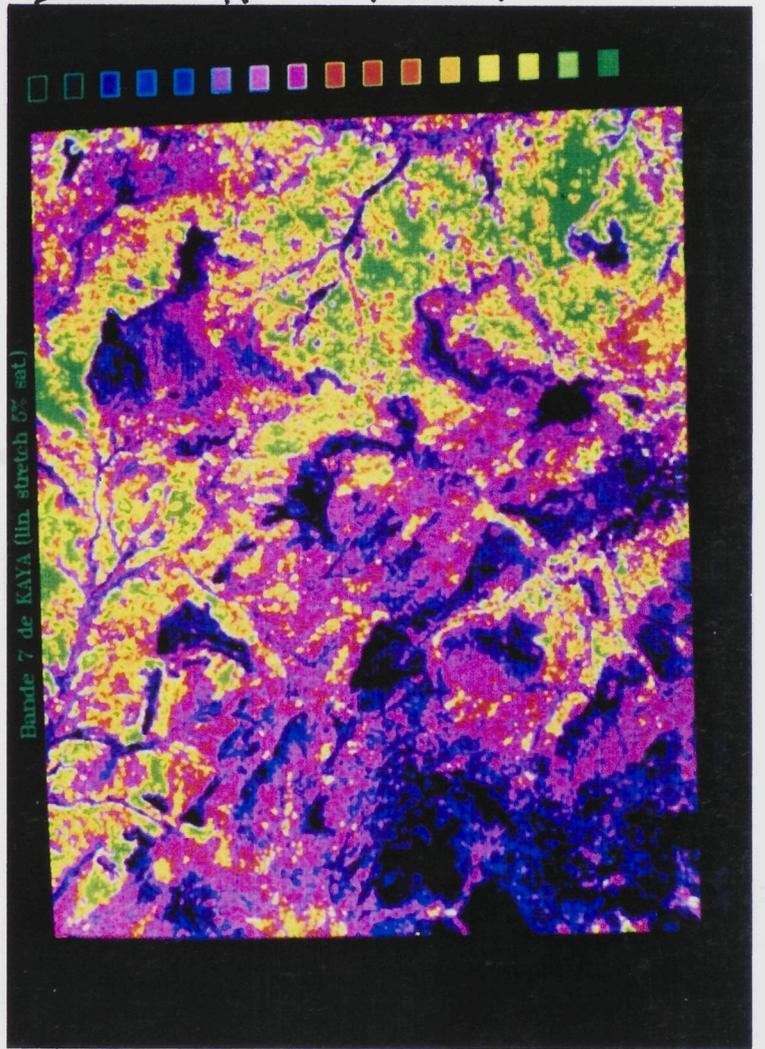
en générale  
 eau superficiel, surface en  
 surface avec fer noir l'ombre  
 cuirasse survivant et  
 surface graveleux  
 surface peu graveleux  
 surface blanc (sol nu sableux)



7D Bande 4 du TM



7E Bande 5 de TM



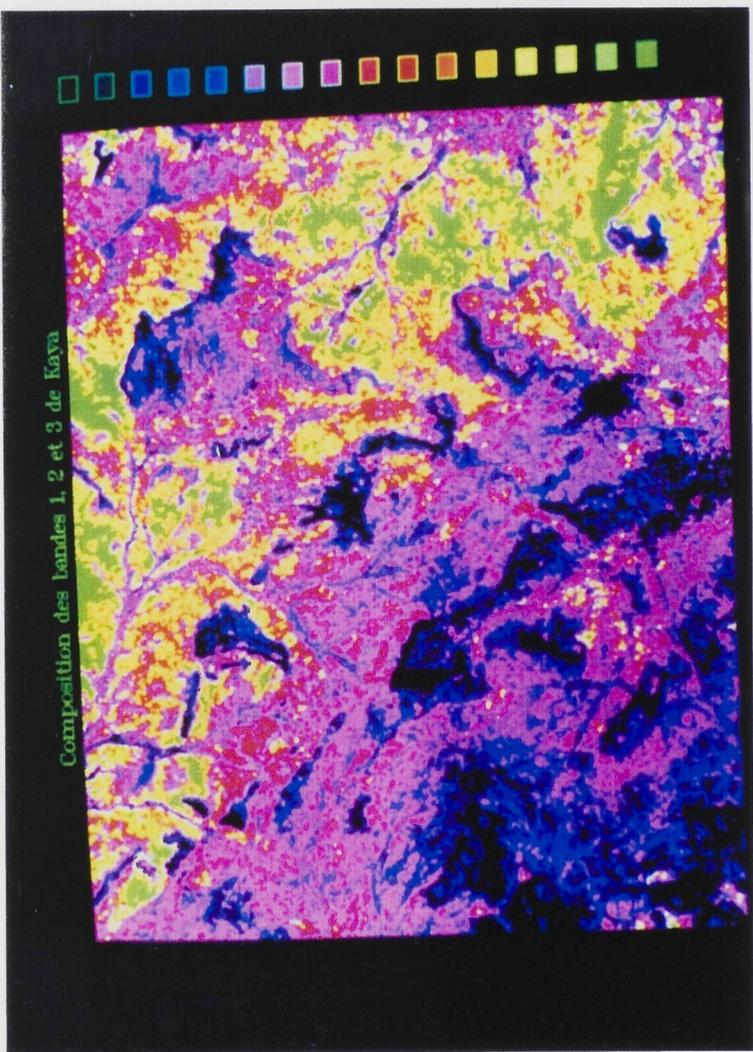
Bande 7 de KAYA (lin. strich 2% sat)

en générale  
 eau superficiel, surface en l'ombre  
 et surface avec fer noir  
 cuirasse survivant et  
 surface graveleux  
 surface peu graveleux  
 surface blanc (sol nu sableux)

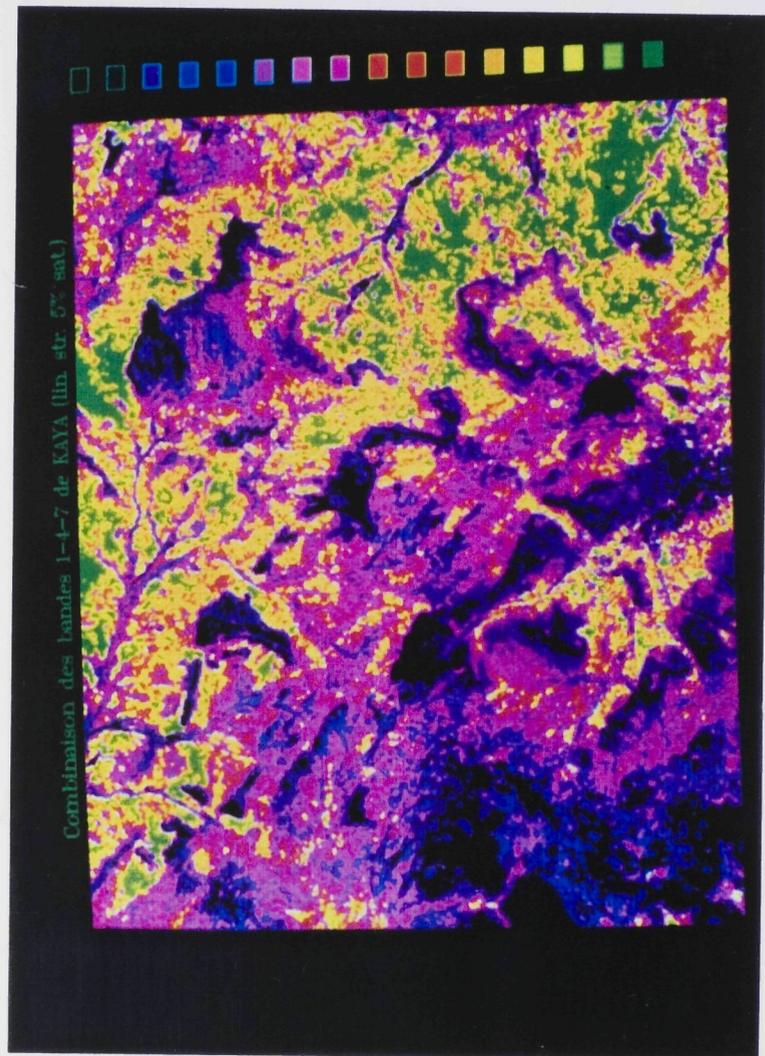
7F Bande 7 du TM

# ANNEXE 8

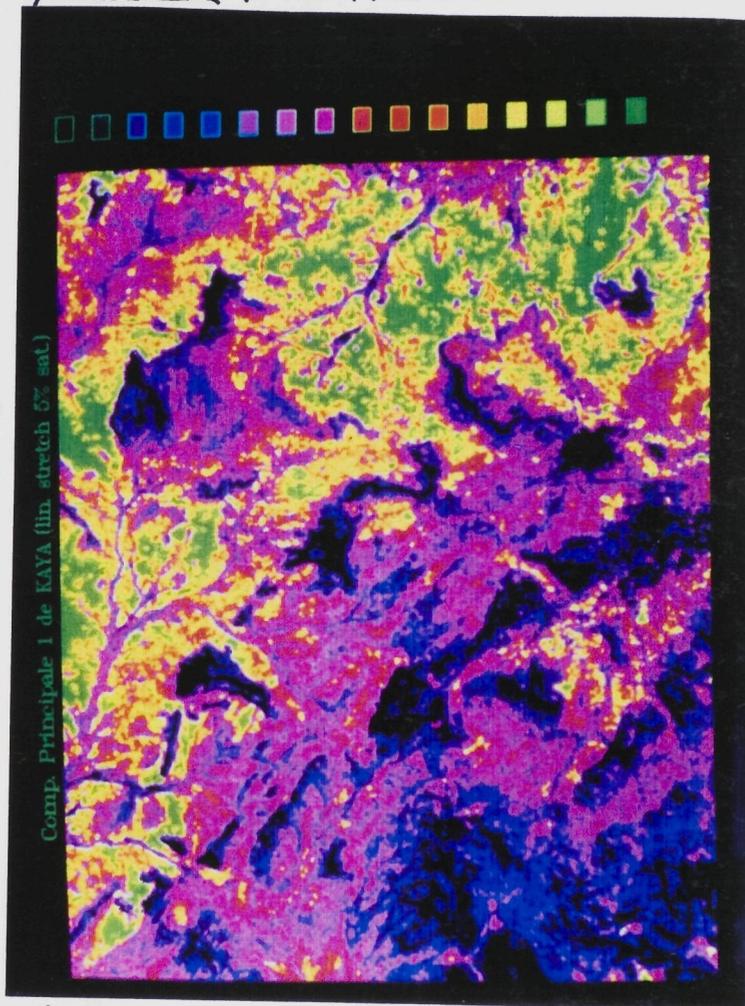
Les photos des combinaisons et analyses des images satellites.



8A Combinaison des bandes 1, 2 et 3



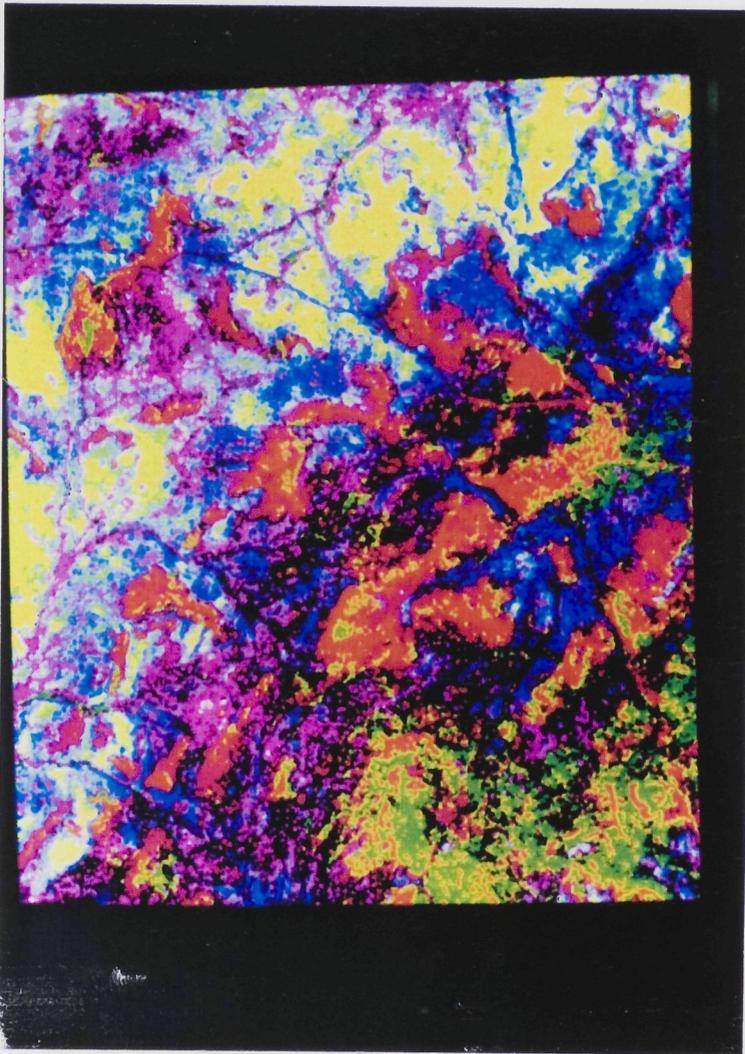
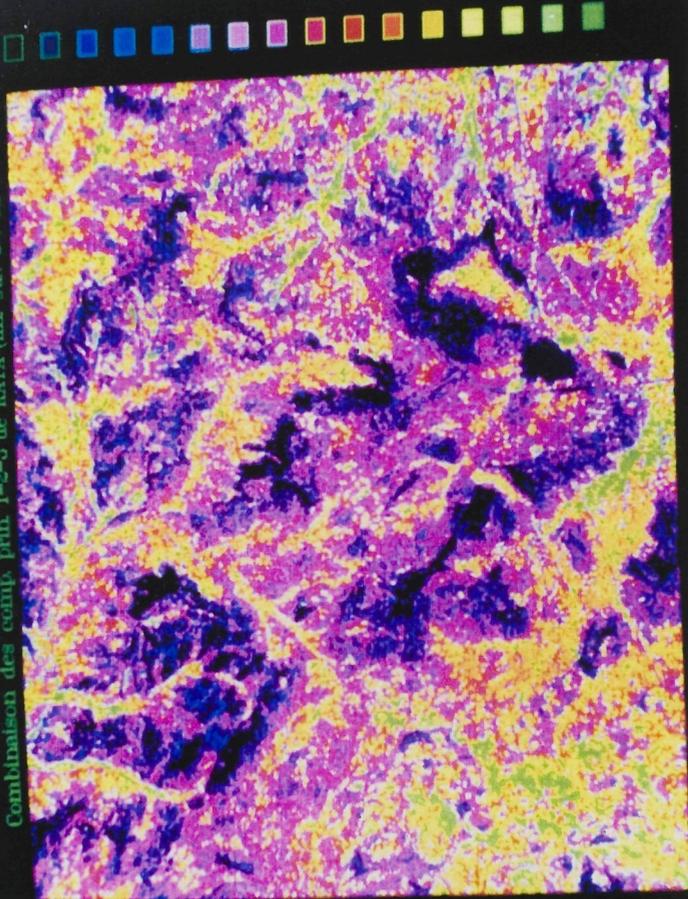
8B Combinaison des bandes 1, 4 et 7



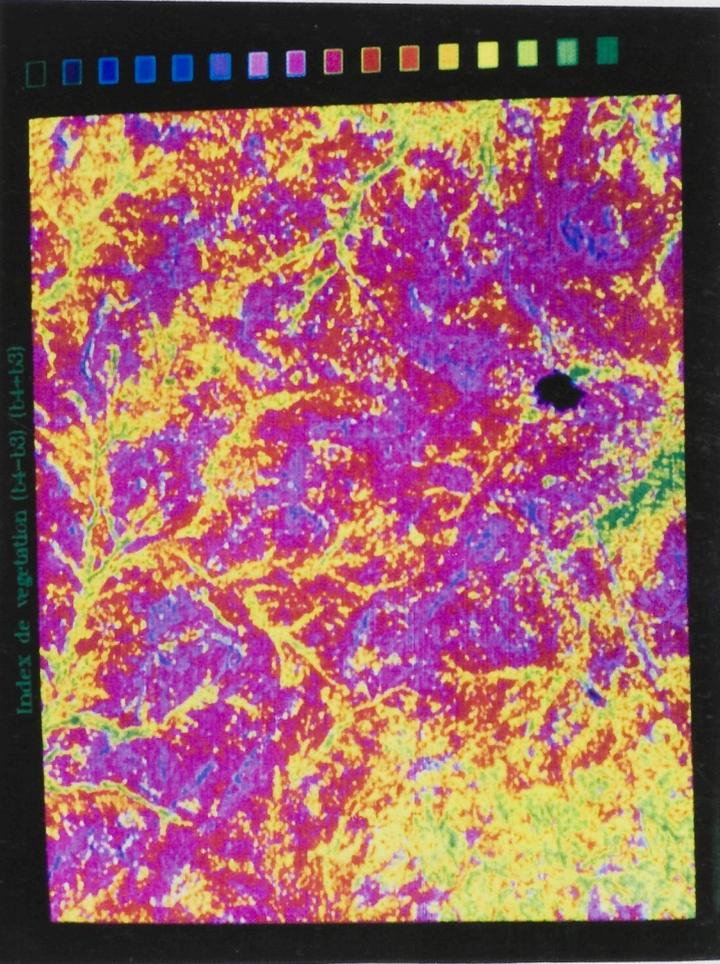
8C Composante principale 1

en générale  
 eau superficiel, surface en l'ombre  
 et surface avec fer noir  
 cuirasse survivant et  
 surface graveleux  
 surface peu graveleux  
 surface blanc (sol nu sableux)

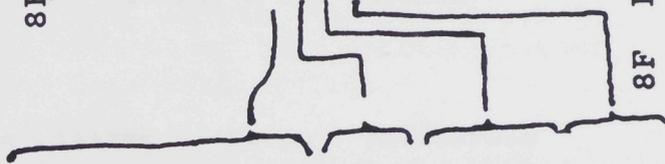
Combinaison des comp. prin. 1-2-3 de KAVA (lin. str. 5% sa



8D Combinaison des composantes principales 1-2-3



8E L'analyse des clusters



pas de végétation (sols nus)  
 champs récolté  
 végétation desséché  
 végétation encore verte  
 (sols encore assez humide)

8F L'index de la végétation

## ANNEXE 9

Additional; La description d'un sol par Boulet.

Profil type : HVD 75 KAYA : Coordonnées : 13°5'55" Nord  
1°6'20" Ouest.  
(Silmiougaou)

Topographie : "Plaine" sableuse passant vers le N.E. à une surface cuirassée.

Végétation : Culture (mil, sorgho) avec réserve d'arbres : *Faidherbia albida*, *Sterculia setigera*, *Kaya senegalensis*, repousses d'*hyphaene thobai-ca*. Haies d'*Andropogon gayanus*.

Aspect superficiel : Culture en petites buttes, entre les buttes, sables déliés rouge clair épais de 5 cm.

Enracinement : Assez abondant jusqu'à 120 cm, disparaît ensuite.

0 - 18 cm : 5 YR 4/4 - Brun légèrement rouge - Sableux à granulométrie étalée, riche en sables fins - Structure motteuse  
A<sub>1</sub> 5 à 10 cm, débit des mottes non orienté, peu mamelonné. Cohésion moyenne - Porosité intersticielle fine bien développée.

18 - 40 cm : Contraste faible, transition 5 cm - Brun un peu plus rouge - Sableux à sablo-argileux - Structure massive à débit polyédrique aisé, cohésion moyenne, noyaux à cohésion moyenne à forte - Porosité tubulaire et intragrégats plus grossière un peu plus développée.  
A<sub>2</sub>

40 - 80 cm : 5 YR 4/6 - Plus rouge - Contraste moyen à fort, transition 10 cm - Rouge - Sablo-argileux - Structure massive à débit très mamelonné, parfois polyédrique en assemblage compact, même cohésion - Porosité surtout tubulaire, également grossière, un peu moins développée.  
(B)

80 - 115 cm : 7,5 YR 5/6 - Contraste fort, transition 10 cm - Brun clair, fines plages réticulées jaunes, taches mouche-tées noirâtres à cerne rouge diffus - Plus argileux - Structure massive à débit polyédrique, cohésion un peu plus forte, mêmes noyaux durcis - Porosité tubulaire nettement plus faible.  
B<sub>21</sub>

115 - 150 cm : 10 YR 5/5 - Contraste fort, transition 10 cm - Brun jaune clair, concrétions ocre rouge à forme irrégulière, anguleuses ou arrondies, pas très indurées, abondance variable - Même texture - Structure polyédrique en assemblage compact 1 à 3 cm, même cohésion - Porosité tubulaire faible.  
B<sub>22Cn</sub>

150 - 160 cm : Contraste fort, transition linéaire - Carapace soudant des gravillons à section rouge violacé très durs, par un ciment brun ocre à plages rouges pas très induré.

160 cm : Transition linéaire - Cuirasse très dure, finement conglomératique, du glacis polygénique.

La nette différenciation structurale de ce profil contraste avec la faible décoloration de l'horizon A; il s'agit là d'un trait caractéristique de l'unité, lié aux propriétés du matériau; seule l'hydromorphie temporaire profonde parvient à en modifier la teinte.

La principale variation à partir de ce type concerne l'épaisseur du sol qui, dans une coupe transversale, passe de nulle à l'amont (biseau) à plus de 2 m en bas de pente. Avec l'épaisseur, diminue également le degré d'engorgement temporaire, les sols les plus minces étant également les plus sableux et les plus haut perchés, donc les mieux drainés. Ainsi, les sols épais de moins de 50 cm ne montrent ni taches ni concrétions et leur différenciation est celle de petits sols ferrugineux peu lessivés bien drainés.

Propriétés analytiques (Voir Tableau 28) :

Très cultivés (mil, sorgho et, parfois, coton), ces sols sont peu organiques, très désaturés, acides, surtout en surface. L'appauvrissement en argile de l'horizon A1, très accentué, est plus vraisemblablement dû à un entrainement superficiel des éléments fins, qu'au lessivage. A partir du deuxième horizon, les variations texturales sont très progressives. L'équilibre des bases est normal. Les taux de potassium sont faibles. Les teneurs en azote et phosphore sont moyennes à faibles en valeur absolue, mais bien équilibrées.

La capacité de rétention pour l'eau est assez élevée (210 mm d'eau retenue à pF 3, dont 60 utilisables dans la tranche exploitée par les racines, soit 1,2 mètre). Le régime hydrique du sol est d'autre part amélioré par le ralentissement du drainage en profondeur. La porosité pour l'air est suffisante, et il n'y a de risque d'asphyxie qu'à la base du profil. La stabilité structurale est moyenne dans tout le profil et, en particulier, le test de perméabilité donne des résultats assez élevés, malgré la forte prédominance des sables fins (rapport sables fins/sables grossiers variant de 2,3 à 3).

Conclusion :

Les propriétés physiques de ces sols, qui allient une texture assez fine (sablo-argileuse dès 15 cm) à une bonne porosité et à une dureté faible, en font, lorsque leur épaisseur est suffisante, de bons supports de culture. Ils sont faciles à travailler et la mise en pratique de méthodes simples de conservation (billonnage isohypse), ne nécessiterait que peu d'efforts supplémentaires. Leur fertilité chimique est par contre faible et ils répondraient certainement à des apports d'engrais complets, que leur complexe absorbant, relativement élevé, pourrait fixer.

TABLEAU 28

PROFIL TYPE HVD 75 KAYA					
Profondeur	0-10	25-35	55-65	90-100	140-150
Argile %	13,3	21,6	23,8	27,4	29,5
Limon fin %	1,5	1,6	2,3	3,2	2,4
Limon grossier %	77,1	8,1	8,5	8,4	7,6
Sable fin %	55,2	47,4	48,4	42,6	43,3
Sable grossier %	22,3	20,7	16,6	18,1	18,0
Matière organique %	0,64	0,64	0,37	0,29	0,20
Azote ‰	0,35	0,36	0,27	0,26	
C I N	10,6	10,3	8,2	6,5	
Phosphore total ‰	0,27				
Fer libre %	2,48	3,67	3,25	2,28	3,15
Fer total %	2,97	4,35	3,57	2,79	3,46
Fer libre/Fer total	83	84	91	82	91
Bases échangeables méq/100 g de terre					
Ca	1,48	2,11	1,89	2,82	2,09
Mg	0,29	0,76	0,93	0,53	1,29
K	0,15	0,09	0,12	0,09	0,08
Na	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Somme Bases éch. S	1,95	3,0	2,95	3,45	3,50
Capacité échange T	4,80	5,90	5,55	5,75	6,20
Coef. saturation S/T	41	51	53	60	56
pH Eau	5,4	5,4	5,5	5,6	5,4
Densité apparente	1,78	1,77	1,70	1,66	1,81
Porosité cm <sup>3</sup> /100 g terre	16,2	16,5	19	20,3	15,1
pF 3	6,9	9,9	10,0	12,5	12,9
pF 4,2	4,7	6,6	6,8	8,5	8,7
Eau utile	2,2	3,3	3,2	4,0	4,2
Instabilité structurale	1,33	1,53	2,19	3,04	2,58
Perméabilité Kcm/h	2,5	2,4	2,7	2,6	2,8

## AUTRES PUBLICATIONS:

Stroosnijder, L. et al. (1990). Bijdragen Saheldag LUW-KIT 1990: Aménagement du Terroir Villageois. LUW, Wageningen

Kessler, J.J. et J. Boni (1991). L'Agroforesterie au Burkina Faso; Bilan et analyse de la situation actuelle. Tropical Resource Management Paper No. 1, Ministère de l'Environnement et du Tourisme et UAW, Wageningen, Pays-Bas

Bognetteau-Verlinden, E., S van der Graaf et J.J. Kessler (1992). Aspects de l'aménagement intégré des ressources naturelles au Sahel. Tropical Resource Management Paper No. 2, SNV et AUW, Wageningen, Pays-Bas

Vlaar, J.C.J. (Ed.), 1992. Les techniques de conservation des eaux et des sols dans les pays du Sahel. Rapport d'une étude effectuée dans le cadre de la collaboration entre le Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH), Ouagadougou Burkina Faso, et l'Université Agronomique Wageningen (UAW), Wageningen, Pays Bas

Graaff, J. de (1993). Soil Conservation and sustainable land use, an economic approach. Development Oriented Research in Agriculture no. 4, Royal Tropical Institute, Amsterdam, Pays-Bas

## PUBLICATIONS DEJA PARUES:

### Documents du projet (rouge)

- |    |                                  |                                                                                                                        |
|----|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | B. van Koppen &<br>N. Groesz     | Research Proposal: "gender in the optimalization of tenure arrangements with regard to landesque capital"              |
| 2  | J. Oostveen (red.)               | Werkplannen juni 1991                                                                                                  |
| 3  | B. Lekanne dit Deprez            | Silvopastorale gebieden als sociale ruimte bij de Mossi van Burkina Faso                                               |
| 4  | E. Frederiks                     | Algemene informatie ten behoeve van bezoek aan de Universiteit van Ouagadougou                                         |
| 5  | E. Frederiks                     | Programme Sahélien UAW: Activités 1985 - 1992 et l'avenir                                                              |
| 6  | M. Bloemberg (red.)              | Rapport du premier atelier du programme de recherche SPS à Ouagadougou (du 14 au 18 décembre 1992)                     |
| 7  | A. de Wit                        | Manuel pour mesurer la sève des arbres avec le "Dynamax sap flow system flow32"                                        |
| 8  | L. Stroosnijder &<br>W. Hoogmoed | Zelfevaluatie VF-Sahel (VF 91.61), februari 1993                                                                       |
| 9  | A. Ran                           | Hoe, wat, waar in Burkina Faso: studentenhandleiding Steunpunt Sahel                                                   |
| 10 | M. Rietkerk & F. Hien            | Mesures de régénération au Sahel                                                                                       |
| 11 | A. Mando                         | Rôle des termites dans la régénération des sols dégradés au Sahel                                                      |
| 12 | L. Stroosnijder &<br>W. Hoogmoed | "Management of natural resources in the sahel", subprogramme of the VF-programme "Sustainable land use in the tropics" |
| 13 | M.A. Mulders                     | Rapport sur les activités de télédétection du programme SPS, juillet 1992 - mai 1993                                   |

### Publications de l'Antenne (vert)

- |       |                                                           |                                                                                                                                                                                                       |
|-------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 (3) | S. de Bie &<br>C. Geerling                                | IUCN-Paper: "Ecological Limits to the conservation and sustainable exploitation of natural resources"                                                                                                 |
| 2 (6) | W. van Driel &<br>A. Ran                                  | Risques et contraintes pour l'intensification de la riziculture dans deux bas-fonds aménagés de la province de la Comoë, Burkina Faso                                                                 |
| 3     | J.J. Kessler &<br>K.F. Wiersum                            | The multi-dimensional nature of silvo-pastoral areas in the Sahel region                                                                                                                              |
| 4     | L. Stroosnijder                                           | Afrika studiedag 16 december 1992: "Ecologisch kwetsbare gebieden in Afrika"                                                                                                                          |
| 5     | L. Stroosnijder,<br>W. B. Hoogmoed and<br>J.J.A. Berkhout | Séminaire International sur la gestion agroclimatique des précipitations, décembre 1991: "Modelling effects of water conservation tillage in the semi-arid tropics"                                   |
| 6     | W.B. Hoogmoed<br>J.J.A. Berkhout<br>L. Stroosnijder       | Séminaire Internationale sur le travail du sol en zones arides et semi-arides, organisé par l'ANAFID, 22-23 avril 1992: "Soil tillage options for water management under erratic rainfall conditions" |
| 7     | M. Rietkerk<br>F. Hien &<br>L. Stroosnijder               | "Dominance des caractères des croûtes sur les types de sols dans les terrains sylvo-pastoraux dégradés au Sahel"                                                                                      |

### Rapports des étudiants (violet)

- |    |                |                                                                                                                                                                                       |
|----|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | M. Rietkerk    | Les différences locales du sol et la capacité de régénération: une étude pour la régénération des écosystèmes sylvo-pastoraux Sahéliens, dans la Forêt Classée de Yabo (Burkina Faso) |
| 2  | S.J.T. Poutsma | Geografische Informatie Systemen en bodem- en waterconservering: een praktijkvoorbeeld                                                                                                |
| 3  | J. van Etten   | Mésures de rendement dans les Bas-fonds de Damana, Kawara et Moadougou, rapport de stage                                                                                              |
| 4  | A. de Wit      | L'effet du bilan hydrique sur la croissance des arbres tropicaux: une étude sur la distance optimale des diguettes à l'aide de quantité d'eau utilisée par l'Acacia Seyal             |
| 5  | A. Florijn     | Etude sur l'impact hydrologique des digues filtrantes sur l'humidité volumétrique du sol dans le bas-fond de Noh                                                                      |
| 12 | O. van Dam     | Recherche du sol et de la télédétection à Kaya, Burkina Faso                                                                                                                          |

( ) = ancienne numérotation