

INSTITUT DES SCIENCES AGRONOMIQUES DU BURUNDI

— I. S. A. B U. —



Divisions de l'Aménagement du milieu et des Productions végétales, Service de Biométrie—Informatique

Note technique

**INCIDENCES DES PROPRIETES DES SOLS DU
MUGAMBA SUR LES RENDEMENTS DU BLE
ET DU TRITICALE**

L. Opdecamp
J-J. Schalbrøeck
J. Gourdin
P. Hollebosch
C. Otoul

RESUME

Dans un réseau constitué d'une centaine de parcelles cultivées en blé et en triticales dans le Mugamba, on a procédé à la caractérisation des sols et aux mesures de rendements durant les saisons 84-B et 85-B. Divers groupes de sols aux propriétés spécifiques ont pu être distingués sur lesquels des différences significatives de rendements ont pu être détectées par analyse statistique. Les sols en bonne disponibilité en bases, localisés dans le Nord-Mugamba, permettent d'obtenir les meilleurs rendements de blé (1700 kg/ha en moyenne). Sur les sols à disponibilité plutôt moyenne en bases, profondément imprégnés de matière organique et localisés dans le Sud-Mugamba, les rendements du triticales sont significativement supérieurs à ceux du blé. Ce dernier est ainsi considéré comme une culture plus exigeante que le triticales. Il faut enfin signaler qu'il subsiste d'autres sources importantes de variation de rendement que les sols qui n'ont malheureusement pas pu être appréhendées.

SUMMARY

In a network formed by about hundred plots under wheat and triticales in the Mugamba natural region, soil characterization and yield measurements have been performed during 84-B and 85-B seasons. Several soil groups with specific properties were distinguished on which significant differences of yield were detected by statistical analysis. The best wheat yields (average values of 1700 kg/ha) were obtained on soils well supplied with bases, localized in North Mugamba. In South Mugamba where soils are supplied rather moderately with bases and deeply impregnated with organic matter, triticales yields were significantly higher than wheat yields. The latter crop can therefore be considered as a more demanding one than triticales. Finally, it should be noticed that important sources of yield variation other than soil nature are subsisting as well. However, it was not possible to apprehend these other sources by this experiment.

PLAN

INTRODUCTION

I. DISPOSITIF EXPERIMENTAL ET METHODOLOGIE

- I.1. Caractérisation pédologique des parcelles
- I.2. Données pluviométriques
- I.3. Mesures des rendements de blé et de triticales
- I.4. Stockage et analyses des données

II. PROPRIETES DES SOLS

- II.1. Ferrisols ou ferralsols suivant les faciès paysagiques
- II.2. Régimes pédoclimatiques et teneurs en matière organique
- II.3. Caractère cutanique ou typique
- II.4. Caractéristiques physico-chimiques

III. DONNEES PLUVIOMETRIQUES

IV. SOLS ET RENDEMENTS

V. CORRELATIONS ENTRE LES CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES SOLS ET LES RENDEMENTS

CONCLUSIONS

REMERCIEMENTS

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXE I : Liste des agriculteurs et localisation des parcelles

ANNEXE II : Identification des sols

ANNEXE III : Caractéristiques physico-chimiques des sols
(0-15 cm)

ANNEXE IV : Caractéristiques physico-chimiques des sols
(25-40 cm)

ANNEXE V : Rendements observés.

INTRODUCTION

La production agricole est la résultante d'un système d'interactions complexes entre divers facteurs comme le climat, le sol, le potentiel génétique des végétaux, les pratiques culturales, etc. Le sol constitue en soi un facteur de production qui peut être plus ou moins favorable suivant les propriétés qu'il développe : teneurs en éléments biogènes, conditions de drainage, profondeur, etc. Les propriétés des sols sont synthétisées par leur identification taxonomique qui sert de base à leur cartographie.

L'exploitation optimale des ressources naturelles pour la production agricole est importante dans un pays comme le Burundi, où les agriculteurs ne disposent que de petits revenus ne permettant qu'une utilisation limitée d'intrants. Aussi doit-on tenter de préciser quels sont les sols les plus aptes à la production d'une spéculation donnée, ainsi que les niveaux de rendement susceptibles d'être atteints, de manière à conseiller les exploitants dans l'allocation de leurs ressources. Dans le cadre d'une telle démarche, voici des résultats obtenus pour le blé (*Triticum aestivum*) et le triticales (*X.Triticosecale*) dans la région naturelle du Mugamba.

Des synthèses partielles antérieures ont été publiées sur ce sujet (OPDECAMP et SCHALBROECK, 1985 ; SCHALBROECK et OPDECAMP, 1985 ; SCHALBROECK, 1985), en classifiant les sols dans le système proposé par TAVERNIER et SYS (1965).

Une synthèse complète est maintenant proposée, tenant compte de tous les résultats disponibles, et en adoptant le prototype de classification des sols élaboré par OPDECAMP (1986) pour les régions tropicales humides non volcaniques.

De plus, les calculs statistiques ont été largement assistés par ordinateur pour le traitement des données.

I. DISPOSITIF EXPERIMENTAL ET METHODOLOGIE

Un réseau d'observations constitué de 98 parcelles cultivées en blé et en triticales a été installé dans le milieu rural du Mugamba en 1984.

Ces parcelles, situées sur des terres bien drainées, sont distribuées suivant 6 sous-régions représentées à la figure 1 :

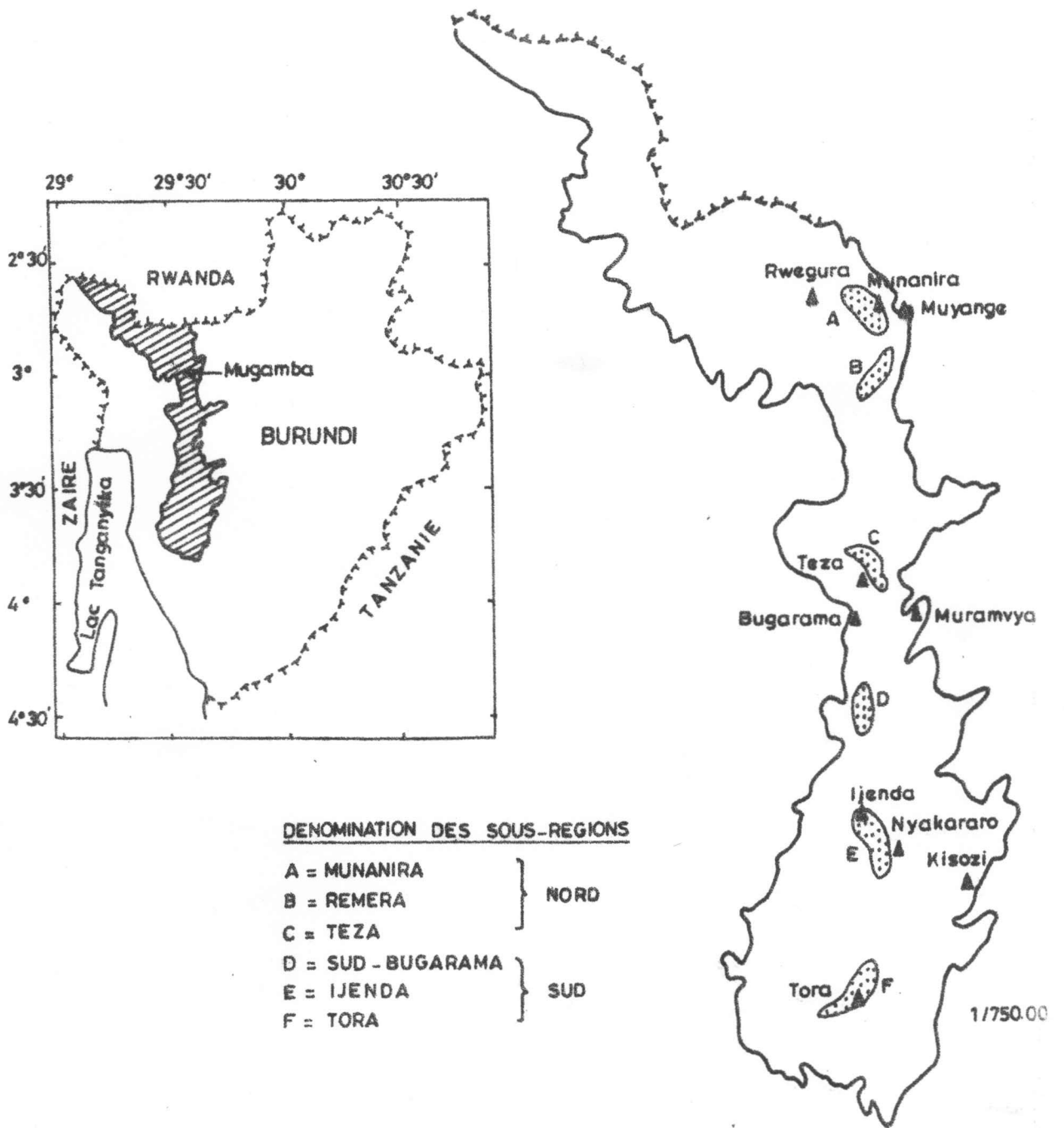


Figure 1 : Situation du Mugamba, localisation des stations climatologiques (▲) et des 6 sous-régions d'observations des rendements en blé et triticales (A, B, C, D, E, F)

Munanira, Remera, Teza, Sud-Bugarama, Ijenda et Tora. La liste des agriculteurs et la localisation des parcelles sont fournies en annexe I. On dispose ainsi d'un réseau réparti sur toute la région naturelle du Mugamba, à des altitudes comprises entre 1900 et 2200 m.

I.1. Caractérisation pédologique des parcelles

Chaque parcelle a été caractérisée du point de vue pédologique à l'aide d'une mini-fosse d'observation, de dimensions 60 x 60 x 60 cm, et d'un sondage à la tarière jusqu'à la profondeur de 120 cm. Un échantillonnage composite de 9 prises a été effectué pour l'horizon de surface (Ap, 0-15 cm) et la "tête" de l'horizon sous-jacent (B, 25-40 cm). Les échantillons ont été soumis à une caractérisation analytique de laboratoire : teneurs en carbone et en azote, pH, teneurs en bases et aluminium échangeables. Les sols ont ensuite été classifiés dans le prototype de taxonomie régionale élaboré par OPDECAMP (1986), qui s'appuie sur l'ancienne classification INEAC.

I.2. Données pluviométriques

Les données pluviométriques pour les saisons 84-B et 85-B ont été collectées auprès de l'IGEBU (Institut Géographique du Burundi, Gitega), dans les diverses stations climatologiques du Mugamba, localisées à la figure 1.

I.3. Mesures des rendements de blé et de triticales

Durant deux saisons culturales (84-B et 85-B), les rendements de blé et de triticales ont été mesurés sur les parcelles du réseau d'observation. En 1984, le cultivar de blé ROMANY et deux cultivars de triticales, MIZAR et BVR-Arm, ont été semés à la densité de 100 kg/ha, sans fumure, sur une superficie de 10 m² par cultivar. En 1985, le cultivar BVR-Arm n'a plus été utilisé du fait que le MIZAR était mieux accepté par les agriculteurs. Les cultivars ROMANY et MIZAR ont été semés à la densité de 120 kg/ha, toujours sans fumure, en 3 répétitions disposées en blocs aléatoires complets, sur une superficie élémentaire de 8 m² par cultivar. La saison B pour le blé et la triticales démarre fin mars - début avril, après le maïs de première saison, et s'achève en août avec la récolte.

1.4. Stockage et analyses statistiques des données

Un ensemble de 27 données par parcelle, relatives à la caractérisation ainsi qu'aux résultats des mesures de rendements pour les deux saisons culturales considérées, ont été mémorisées dans une "Banque de Données Agro-Pédologiques" (BDAP) sur micro-ordinateur IBM-PC.

Le stockage et le traitement des données ont été réalisés selon les étapes suivantes, schématisées à la figure 2 :

- Etablissement des fiches de données à stocker suivant une matrice 98 x 27 ;
- Encodage des données en utilisant le logiciel "DBASE 3", rassemblées dans un fichier comportant 98 enregistrements et occupant un espace disque de 13.6 K octets ;
- Transfert des données du fichier DBASE 3 vers d'autres types de fichiers utilisables par les logiciels "MICROSTAT", "SPSS-PC" et "LOTUS 1-2-3" ;
- Traitement des données par les différents logiciels :
 - * DBASE 3 (logiciel base de données) : édition, tris, totaux et moyennes sur les données ;
 - * MICROSTAT (logiciel statistique) : édition, diagrammes de dispersion, paramètres statistiques, gestion des données, analyse en composantes principales ;
 - * SPSS-PC (logiciel statistique) : édition, recodage, paramètres statistiques par type de sol, analyses de la variance et tests de comparaison de moyennes ;
 - * LOTUS 1-2-3 (logiciel tableur-graphique) : représentations graphiques et calculs des totaux, moyennes, etc...

II. PROPRIETES DES SOLS

L'identification taxonomique des sols du réseau d'observations est fournie en annexe II, qui précise également la nature de la roche-mère dont dérive le matériau parental des sols. Les résultats des analyses physico-chimiques sont consignés en annexe III pour l'horizon de surface (0-15 cm) et en annexe IV pour l'horizon sous-jacent (25-40 cm).

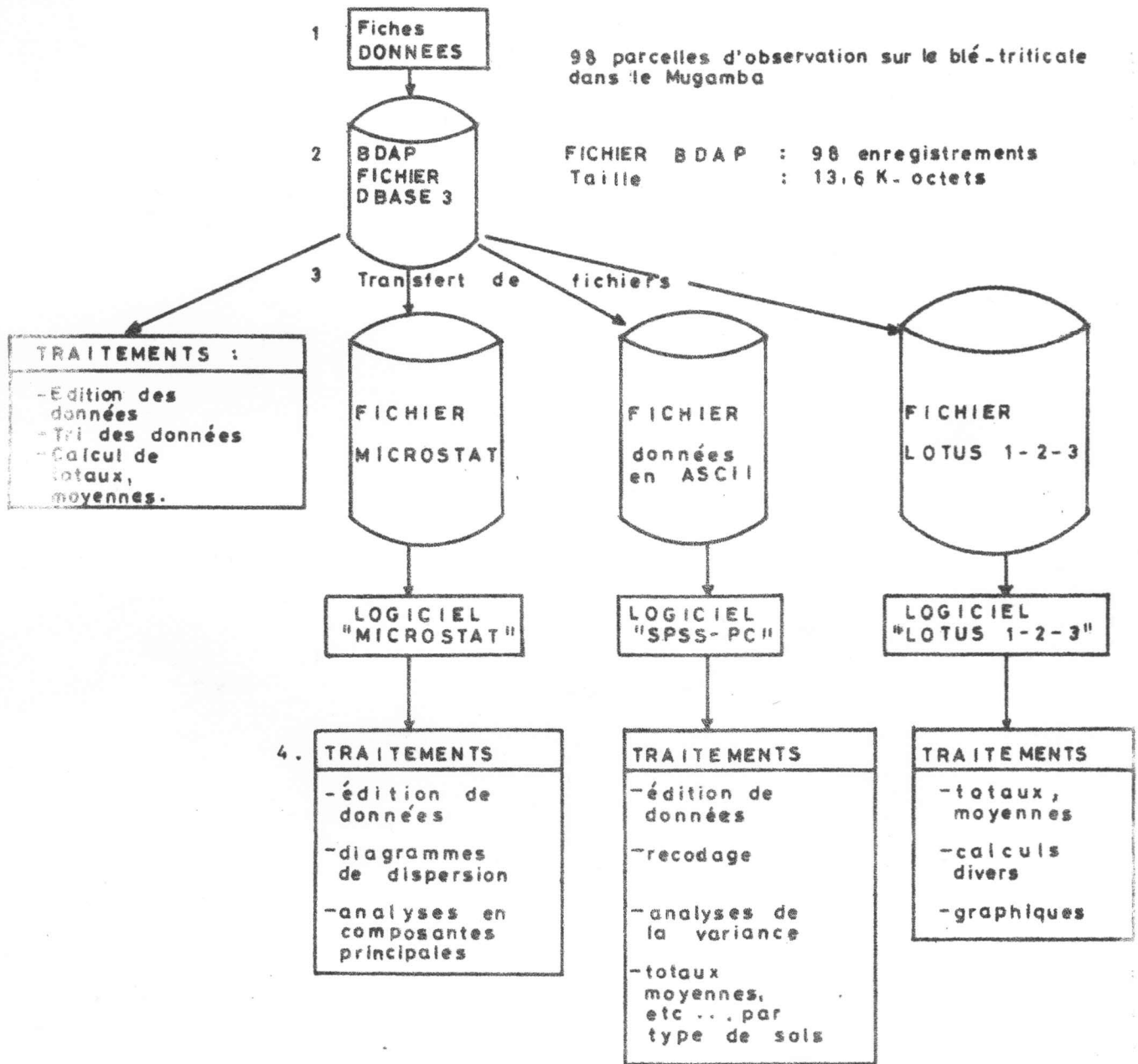


Figure 2 : Schéma du stockage et du traitement numériques des données

II.1. Ferrisols ou ferralsols suivant les faciès paysagiques

Il n'y a que deux ordres qui sont identifiés dans le réseau d'observations : les ferrisols et les ferralsols. Ils sont caractérisés tous deux par une faible capacité d'échange cationique effective (ECEC) sur argile, qui rend compte d'une minéralogie dominée par la kaolinite.

La majorité des sols sont développés dans un matériau parental dérivé de schistes à influence basique, caractérisé par une texture lourde à très lourde (65 à 85% d'argile). Certains matériaux des sous-régions "Sud-Bugarama" et "Ijenda" dérivent de roches micacées acides et sont moins lourds, argileux (45 à 60% d'argile). Les ferrisols se distinguent des ferralsols par leur contenu sensiblement supérieur en limons fins.

Ils se développent dans des paysages réjuvenés, principalement dans les sous-régions de Munanira, Remera et Teza, c'est-à-dire dans le Nord-Mugamba.

Dans les sous-régions du Sud-Mugamba, les ferrisols sont beaucoup plus rares à absents. Ces faits sont en accord avec la morphologie des paysages, de type accidenté au Nord et de type vallonné au Sud. La figure 3 illustre ces deux grands faciès paysagiques qui se distinguent non seulement par le relief, mais également par la densité d'occupation agricole, plus forte au Nord qu'au Sud.

Au Sud s'observent effectivement de grandes étendues de savanes steppiques à Eragrostis olivacea, réservées au parcours pour le bétail. Les paysages du Sud-Mugamba sont pénéplanés, marqués par des affleurements latéritiques et/ou quartzitiques beaucoup plus importants que dans les paysages du Nord-Mugamba.

II.2. Régimes pédoclimatiques et teneurs en matière organique

Au niveau du sous-ordre sont distingués les régimes pédo-climatiques "hygriques" et "hygrhumiques", qui caractérisent tous deux des sols sous climat humide, comportant moins de 3 mois secs (P inférieur à 50 mm) consécutifs par an.

Sous régime "hygrhumique" les sols sont fortement imprégnés de matière organique sur une grande épaisseur : ils sont représentatifs du Sud-Mugamba alors qu'ils sont quasi-absents dans le réseau Nord. Cette forte imprégnation de matière organique peut être interprétée comme une "fossilisation" du carbone accomplie dans un paysage pénéplané, à relief stabilisé. L'accumulation de matière organique aurait été inhibée au Nord par l'érosion (réjuvenation des sols).

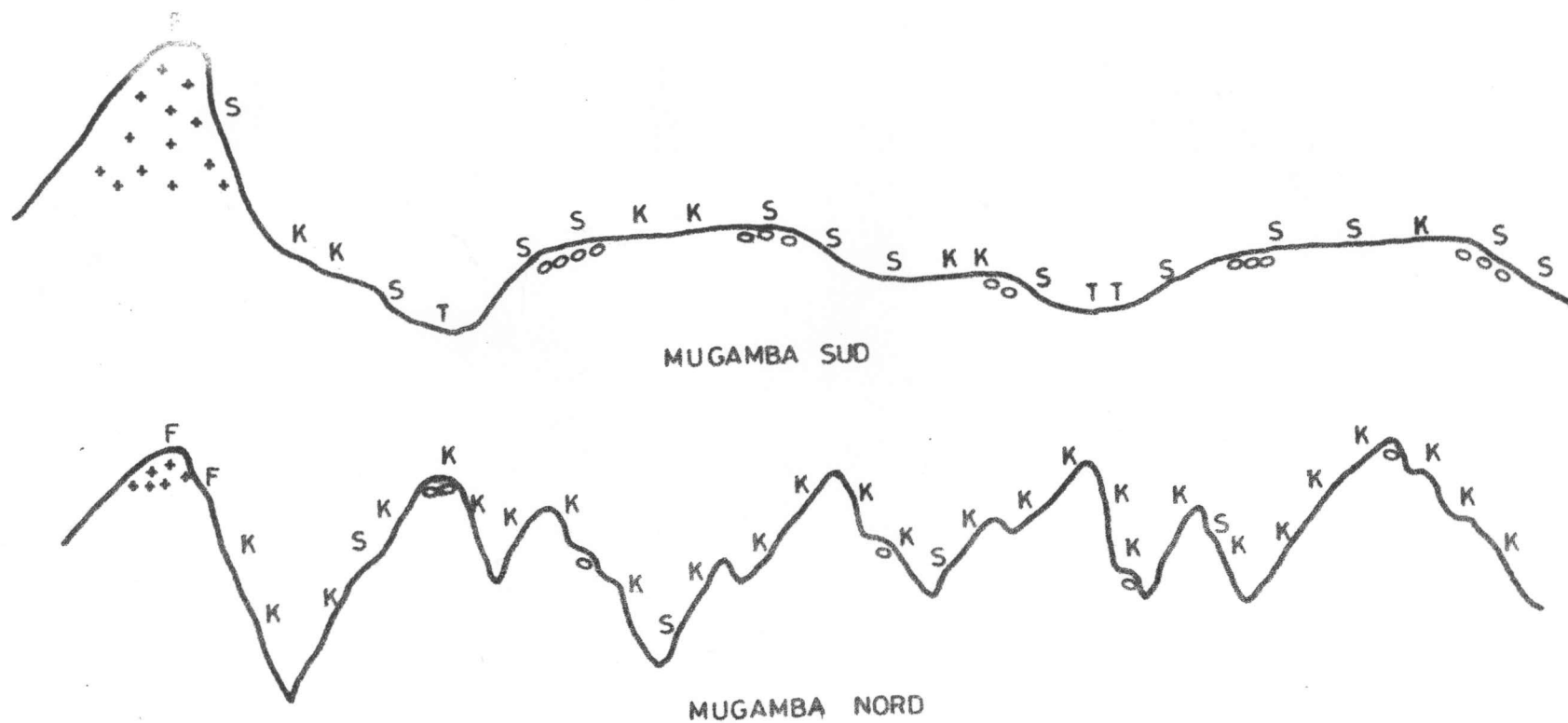


FIGURE 3 : Représentation schématique des deux faciès paysagiques du Mugamba (coupe transversale)

F = boisements , K = cultures ; S = savanes (steppiées) ; T = marais tourbeux ou minéraux

+++ affleurements rocheux ○○ affleurements latéritiques

Le grand groupe de sols est défini par les caractéristiques des horizons de surface, formant le bioximon (OPDECAMP, 1986). Deux grands types de bioximons caractérisent les sols du réseau d'observation : le bioximon "humique" à horizons humifères épais, foncés, et riches en carbone et le bioximon "tropical", à horizons humifères moins bien développés. Les sols sous régime "hygrhumique" du Sud bénéficient quasi-tous d'un bioximon humique tandis que dans le réseau Nord, sous régime "hygrique", les bioximons sont tantôt "humiques", tantôt "tropiques", selon l'intensité du décapage érosif.

II.3. Caractère cutanique ou typique

Le caractère cutanique ou typique rend compte de la présence ou non de surfaces luisantes ou colorées, assimilables à des revêtements argileux, sur les agrégats structuraux des horizons B. Cette propriété morphologique est interprétée comme une expression soit d'illuviation, soit de néoformation d'argile. Quoi qu'il en soit, la propriété cutanique est considérée comme le reflet d'un stade d'évolution pédologique moins avancé que pour les sols à propriété typique. Tous les sols du Nord Mugamba ont été identifiés comme "cutaniques", tandis qu'au Sud on n'en a identifié que quelques-uns dans la sous-région de "Tora".

A ce stade, le contraste paysagique Nord-Sud dans le Mugamba se traduit comme suit dans la distribution des sols :

- Nord : Trophogroferrisols, trophogroferralsols, humhygroferrisols, humhygroferralsols, tous cutaniques.
- Sud : Humhygrhumoferralsols typiques et quelques humhygrohumoferralsols cutaniques (Tora).

Dans les synthèses partielles publiées précédemment sur ces travaux, les sols du Nord se rangeaient dans le groupe des Sols Bruns (kaolinitiques) et dans le sous-ordre des Hygroferrisols, ceux du Sud dans le sous-ordre des Kaolisols humifères, suivant la classification de TAVERNIER et SYS (1965). D'autres sols sont répertoriés dans le réseau d'observation, mais en un nombre d'exemplaires insuffisant que pour en analyser statistiquement la productivité pour le blé et le triticales. Ces sols particuliers ne représentent que 12% des parcelles du réseau d'observations.

II.4. Caractéristiques physico-chimiques

Les caractéristiques physico-chimiques des sols forment les 16 variables suivantes :

- C% : teneur en carbone dans l'horizon A ;
- C/N : rapport carbone/azote dans l'horizon A ;
- CE1 : conductivité électrique (mmho/cm, 1/5) dans l'horizon A
- CE2 : conductivité électrique (mmho/cm, 1/5) dans l'horizon B
- Ca⁺⁺1 : teneur en calcium échangeable (méq/100 gr) dans l'horizon A ;
- Ca⁺⁺2 : teneur en calcium échangeable (méq/100 gr) dans l'horizon B ;
- Mg⁺⁺1 : teneur en magnésium échangeable (méq/100 gr) dans l'horizon A ;
- Mg⁺⁺2 : teneur en magnésium échangeable (méq/100 gr) dans l'horizon B ;
- S1 : somme des bases échangeables (Ca⁺⁺+Mg⁺⁺+K⁺+Na⁺) dans l'horizon A ;
- S2 : somme des bases échangeables (Ca⁺⁺+Mg⁺⁺+K⁺+Na⁺) dans l'horizon B ;
- Al³⁺1 : teneur en aluminium échangeable dans l'horizon A ;
- Al³⁺2 : teneur en aluminium échangeable dans l'horizon B ;
- ECEC1 : capacité d'échange cationique effective (S2+Al³⁺+H⁺) dans l'horizon A ;
- ECEC2 : capacité d'échange cationique effective (S2 + Al³⁺ + H⁺) dans l'horizon B ;
- pH1 : pH(H₂O) dans l'horizon A ;
- pH2 : pH(H₂O) dans l'horizon B.

Une analyse en composantes principales permet de contracter ce nombre de variables suivant des axes principaux. Deux axes, permettant une représentation plane, ont été retenus. Le premier axe, horizontal, explique ainsi 51,4% de la variabilité physico-chimique totale des sols, tandis que le second, vertical, en explique 19,0%. Les coefficients de corrélation et de détermination des 16 variables initiales avec ces deux axes principaux sont reproduits au tableau I.

Tableau I :
Coefficients de corrélation (C.C.) et de détermination (C.D.)
entre les variables et les axes principaux

Variable	Axe 1		Axe 2	
	C.C.	C.D.	C.C.	C.D.
C%	- 0,450	0,203	+ 0,744	0,553
C/N	- 0,279	0,078	+ 0,439	0,193
CE1	- 0,373	0,139	+ 0,678	0,460
CE2	- 0,322	0,104	+ 0,651	0,424
Ca ⁺⁺ 1	+ 0,849	0,721	+ 0,262	0,069
Ca ⁺⁺ 2	+ 0,805	0,648	+ 0,273	0,075
Mg ⁺⁺ 1	+ 0,809	0,655	+ 0,178	0,032
Mg ⁺⁺ 2	+ 0,825	0,680	+ 0,215	0,046
S1	+ 0,866	0,749	+ 0,292	0,085
S2	+ 0,856	0,732	+ 0,299	0,090
Al ⁺⁺⁺ 1	- 0,785	0,616	+ 0,364	0,132
Al ⁺⁺⁺ 2	- 0,784	0,614	+ 0,318	0,101
ECEC1	+ 0,718	0,516	+ 0,513	0,263
ECEC2	+ 0,585	0,342	+ 0,565	0,320
pH1	+ 0,821	0,675	- 0,391	0,153
pH2	+ 0,867	0,751	- 0,226	0,051

Les variables déterminantes, les plus significativement corréllées avec les axes principaux, sont localisées dans le cercle des corrélations à la figure 4.

On observe que le premier axe principal, horizontal, est surtout déterminé par la richesse en bases échangeables et des pH élevés du côté positif, par les teneurs en aluminium, l'acidité et la pauvreté en bases du côté négatif. L'axe vertical, quant à lui, représente du côté positif de hautes teneurs en carbone organique associées à des valeurs élevées de conductivité électrique (richesse en ions organiques de la solution du sol), et inversement du côté négatif.

L'axe horizontal représente donc surtout la richesse chimique des sols et l'axe vertical la richesse en humus.

En fonction de leurs propriétés physico-chimiques, les sols échantillonnés ont été projetés dans le plan formé par ces deux axes principaux. Quatre groupes de sols ont finalement été retenus suivant la distribution de leurs propriétés dans ce plan. Ils sont représentés à la figure 5.

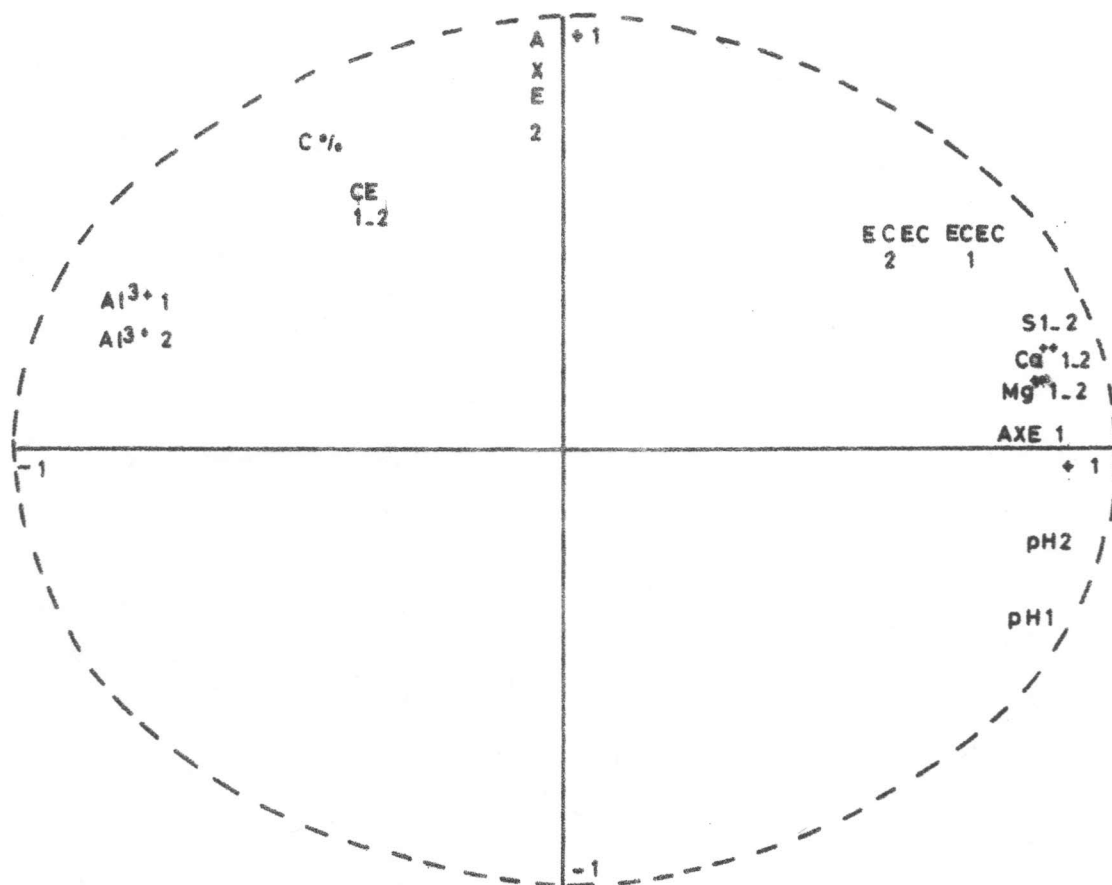


Figure 4 :

Positions des variables déterminantes dans le cercle des corrélations

C% = teneur en carbone de l'horizon A

Al³⁺ = teneur en aluminium horizon A(1) et B(2)

Ca⁺⁺ = teneur en calcium horizon A(1) et B(2)

Mg⁺⁺ = teneur en magnésium horizon A(1) et B(2)

S = Somme des bases échangeables horizon A(1) et B(2)

ECEC = capacité d'échange cationique effective horizon A(1) et B(2)

CE = conductivité électrique horizon A(1) et B(2)

pH = pH(H₂O) horizon A(1) et B(2)

Le premier groupe comprend les trophogroferralsols et trophogroferrisols cutaniques, localisés dans le réseau Nord, caractérisés par de faibles teneurs relatives en humus et par une disponibilité relative en bases faible à modérée.

Le deuxième groupe, formé par les humhygroferrisols et humhygroferralsols cutaniques, est dominé par des sols à relativement bonne disponibilité en bases, et à teneur relative modérée en humus. Ce sont également des sols du réseau Nord. Les groupes 3 et 4, formés respectivement par les humhygrhumoferralsols typiques et humhygrhumoferralsols cutaniques du Sud-Mugamba, se caractérisent par de hautes teneurs relatives en humus et par des teneurs relatives faibles à modérées en bases échangeables, associées à des pH plus acides que les deux premiers groupes. Les quantités d'aluminium échangeable y sont également plus élevées. Les tableaux II et III rendent compte des valeurs moyennes et des écarts-types des caractéristiques physico-chimiques déterminantes pour les divers types de sols constituant les 4 groupes considérés.

III. DONNEES PLUVIOMETRIQUES

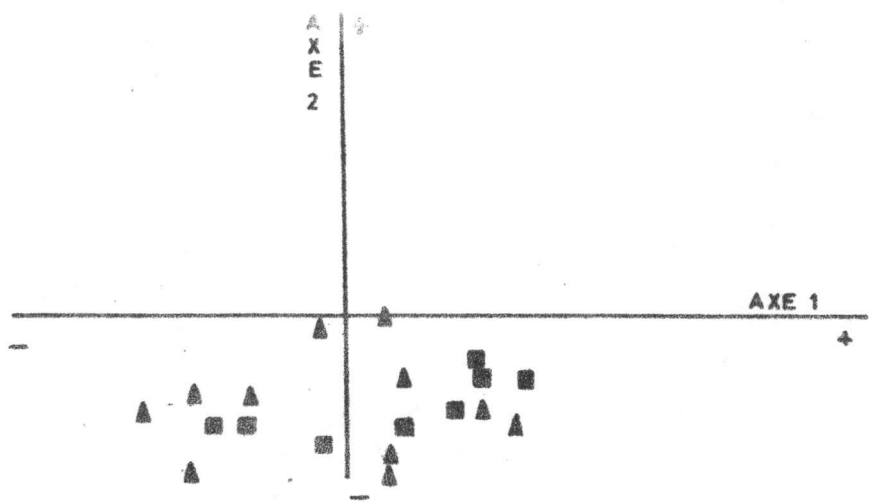
Les relevés pluviométriques de l'IGEBU pour les deux saisons d'observations sont reproduits dans les tableaux IV et V. Les données pour les stations d'Ijenda, de Nyakararo et de Tora n'ont pas pu être collectées. Les relevés pluviométriques disponibles ne permettent pas de conclure à des différences Nord-Sud. On note des précipitations élevées en août 1984 par rapport à août 1985, particulièrement à Munanira.

La deuxième saison culturale dans le Mugamba, pour le blé ou le triticales, commence début avril et se poursuit jusqu'au mois d'août. Durant cette période on peut évaluer l'évolution de l'état hydrique du sol comme suit :

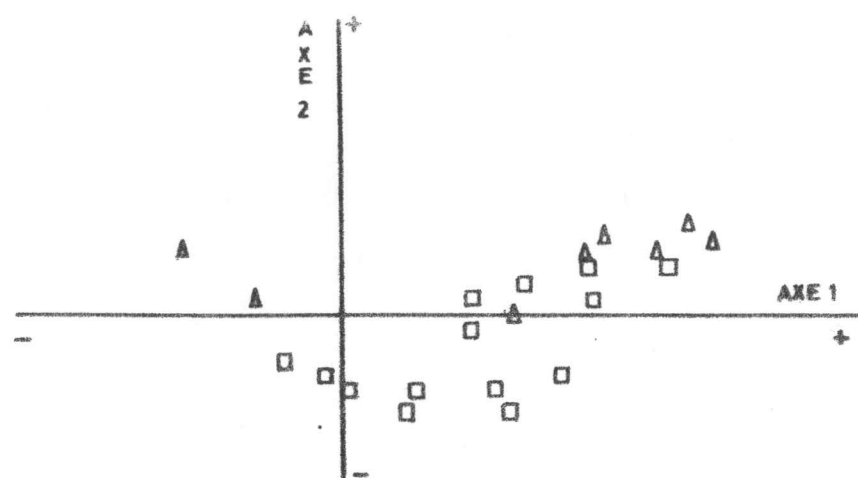
- Avril : sol humide
- Mai : sol frais
- Juin : sol en cours de dessèchement
- Juillet : sol sec
- Août : sol normalement sec, parfois réhumecté (août 1984)

Le dessèchement du sol au cours du mois de juin peut provoquer un stress hydrique pour le blé, au stade de pré-floraison (F.A.O., 1980).

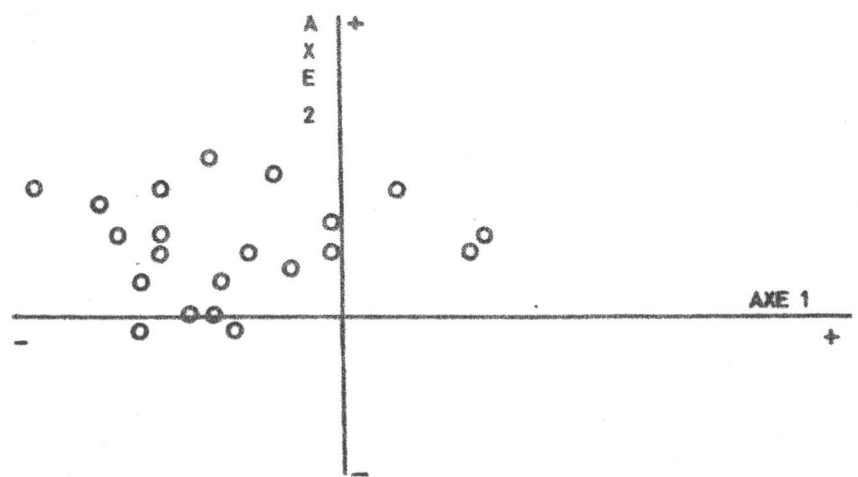
On peut finalement conclure que dans le Mugamba, l'alimentation en eau du blé ou du triticales se fait essentiellement au cours des mois d'avril et de mai.



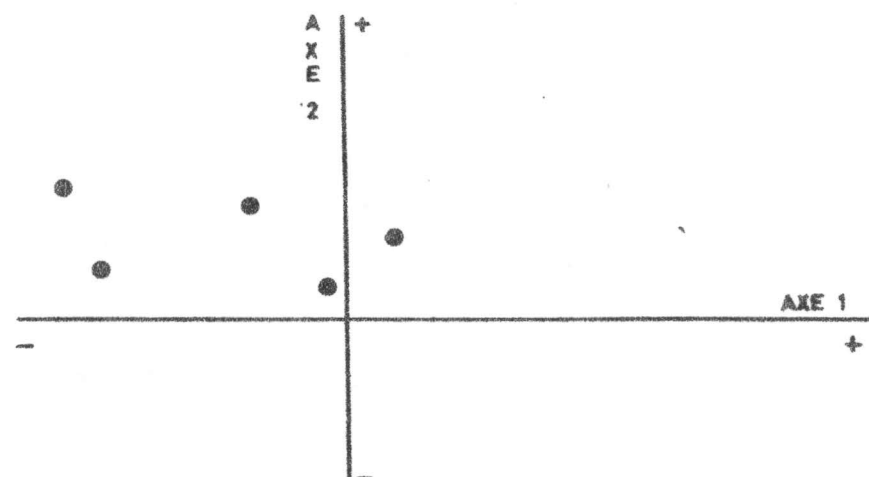
GRUPE 1 TROPHYGROFERRISOLS (▲) ET TROPHYGROFERRALSOLS (■) CUTANIQUES (NORD - MUGAMBA)



GRUPE 2 HUMHYGROFERRISOLS (▲) ET HUMHYGROFERRALSOLS (□) CUTANIQUES (NORD - MUGAMBA)



GRUPE 3 HUMHYGRHUMOFERRALSOLS TYPIQUES (SUD - MUGAMBA)



GRUPE 4 HUMHYGRHUMOFERRALSOLS CUTANIQUES (SUD - MUGAMBA - TORA)

Figure 5 : Distribution des sols du Mugamba suivant leurs caractéristiques physico-chimiques dans le plan des axes principaux

Tableau II.

Moyennes et écarts-types des caractéristiques physico-chimiques déterminantes de l'axe 1 (horizontal) pour les divers types de sols représentatifs du réseau d'observations.

Type de sol	pH 1	pH 2	A ¹³⁺		ECEC	
			1	2	1	2
----- méq/100 gr -----						
Trophyroferrisol cutanique	5,7 ± 0,5	5,6 ± 0,6	0,46 ± 0,87	1,01 ± 1,26	6,65 ± 2,31	5,48 ± 1,45
Trophyroferralsol cutanique	5,8 ± 0,5	5,6 ± 0,5	0,19 ± 0,41	0,67 ± 0,98	7,29 ± 1,68	5,57 ± 1,54
Humhygroferrisol cutanique	5,7 ± 0,5	5,8 ± 0,7	0,31 ± 0,63	0,53 ± 0,92	11,94 ± 4,03	8,67 ± 2,40
Humhygroferralsol cutanique	5,9 ± 0,4	5,7 ± 0,4	0,15 ± 0,30	0,44 ± 0,92	9,75 ± 2,07	6,56 ± 2,14
Humhygrhumoferralsol typique	5,1 ± 0,3	5,2 ± 0,4	1,87 ± 1,12	2,43 ± 1,26	8,50 ± 3,22	6,91 ± 2,54
Humhygrhumoferralsol cutanique	5,2 ± 0,4	5,1 ± 0,5	1,65 ± 1,72	2,13 ± 2,22	8,80 ± 2,03	9,11 ± 4,82

Type de sol	Ca ⁺⁺		Mg ⁺⁺		S	
	1	2	1	2	1	2
----- méq/100 gr -----						
Trophyroferrisol cutanique	4,05 ± 2,23	2,94 ± 1,60	1,44 ± 0,54	1,12 ± 0,48	6,14 ± 2,71	4,39 ± 1,90
Trophyroferralsol cutanique	4,34 ± 1,48	2,82 ± 1,51	2,10 ± 0,66	1,63 ± 0,82	7,07 ± 1,95	4,86 ± 2,18
Humhygroferrisol cutanique	8,43 ± 3,52	5,66 ± 2,14	2,47 ± 1,15	2,13 ± 1,11	11,58 ± 4,53	8,10 ± 3,02
Humhygroferralsol cutanique	6,60 ± 1,90	4,00 ± 1,75	2,32 ± 0,61	1,75 ± 0,65	9,57 ± 2,30	6,08 ± 2,43
Humhygrhumoferralsol typique	4,21 ± 2,94	2,61 ± 2,26	1,42 ± 1,02	1,17 ± 1,11	6,53 ± 4,00	4,39 ± 3,15
Humhygrhumoferralsol cutanique	4,21 ± 1,91	4,79 ± 4,20	1,56 ± 0,96	1,53 ± 1,62	7,00 ± 3,15	6,87 ± 6,14

Tableau III.

Moyennes et écarts-types des caractéristiques physico-chimiques déterminantes de l'axe 2 (vertical) pour les divers types de sols représentatifs du réseau d'observations.

Type de sol	C%	CE 1 -- micromhos/cm --	CE 2
Trophygroferrisol cutanique	2,02 ± 0,51	54 ± 21	31 ± 15
Trophygroferralsol cutanique	2,02 ± 0,55	43 ± 15	31 ± 11
Humhygroferrisol cutanique	3,63 ± 0,96	107 ± 50	55 ± 44
Humhygroferralsol cutanique	2,58 ± 0,52	65 ± 21	29 ± 8
Humhygrhumoferralsol typique	6,80 ± 2,14	116 ± 53	82 ± 44
Humhygrhumoferralsol cutanique	6,00 ± 0,75	114 ± 45	95 ± 37

Tableau IV :

Relevés pluviométriques (mm) pour la deuxième saison 1984, janvier à août, dans les stations climatologiques du Mugamba (Source : IGEPU, 1985).

Station	J	F	M	A	M	J	J	A
Rwegura	232	119	223	188	38	0	20	64
Munanira	217	83	189	152	55	0	33	111
Muyange	152	66	138	149	89	0	23	95
Teza	225	143	183	136	65	0	16	48
Bugarama	177	148	238	248	44	0	46	43
Muramvya	177	171	131	218	15	0	59	31
Kisozi	181	156	170	155	76	0	37	35

Tableau V :

Relevés pluviométriques (mm) pour la deuxième saison 1985, janvier à août, dans les stations climatologiques du Mugamba (Source : IGEBU, non daté).

Station	J	F	M	A	M	J	J	A
Rwegura	234	209	188	354	79	22	0	0
Munanira	230	203	209	316	57	10	0	1
Muyange	201	156	148	299	57	10	0	0
Teza	210	145	261	358	63	4	0	1
Bugarama	236	257	287	381	36	47	8	0
Muramvya	210	178	234	304	48	2	0	0
Kisozi	135	257	237	425	57	4	0	0

IV. SOLS ET RENDEMENTS

Les rendements ont pu être mesurés sur 81 parcelles en saison 1984-B et sur 64 parcelles en saison 1985-B. Les résultats en sont reproduits dans l'annexe V. Les quatre groupes de sols définis précédemment par l'analyse en composantes principales représentaient 72 parcelles en 1984 et 58 parcelles en 1985. Les productions moyennes ont été calculées pour les divers cultivars utilisés, ainsi que les coefficients de variation affectant ces moyennes. Les résultats sont représentés aux tableaux VI et VII. On observe des coefficients de variation élevés, compris généralement entre 35 et 60%, sauf pour le groupe de sols 4 dont l'effectif est faible : 3 parcelles en 1984 et 5 parcelles en 1985. D'importantes sources de variation de rendement subsistent donc au sein de chaque groupe de sol.

Les rendements de blé et de triticales varient entre quelques centaines de kg/ha et 3-4 t/ha. Leur valeur moyenne se situe autour de 1500 kg/ha, ce qui est assez modeste.

Tableau VI.

Productions moyennes (Rt en kg/ha) de blé et de triticales sur les sols du Mugamba en 1984, coefficients de variation (CV en %) et effectif (n) de chaque groupe de sols considéré.

Groupe de sols	Effectif n	ROMANY		BVR-Arm		MIZAR	
		Rt	CV	Rt	CV	Rt	CV
1	21	1229	56	1354	46	1192	58
2	25	1756	39	1692	44	1790	51
3	23	1068	38	1669	59	1473	46
4	3	1190	40	1828	15	1616	13
Global	72	1359	49	1591	49	1507	52

Tableau VII.

Productions moyennes (Rt en kg/ha) de blé et de triticales sur les sols du Mugamba en 1985, coefficients de variation (CV en %) et effectif (n) de chaque groupe de sols considéré.

Groupe de sols	Effectif n	ROMANY		MIZAR	
		Rt	CV	Rt	CV
1	13	1345	48	1384	44
2	21	1716	38	1726	48
3	19	1116	45	1637	36
4	5	1518	22	1928	30
Global	58	1419	44	1638	42

Tableau VIII.

Analyse de la variance des rendements et comparaison des moyennes (test de Newman-Keuls) en fonction de sols.

Cultivar	Année	F obs	Signification	Comparaison des moyennes des groupes de sols
ROMANY	1984	5,74	**	2 ≠ 3 ; 2 ≠ 1
	1985	3,64	*	2 ≠ 3
BVR-Arm	1984	0,94	NS	-
MIZAR	1984	2,37	NS	-
	1985	0,99	NS	-

Il existe des différences significatives dans les productions pour le blé suivant les types de sols, mais pas pour le triticales. C'est ce qui résulte de l'analyse de la variance des rendements en fonction des groupes de sols au tableau VIII. Les différences de rendements sont non significatives pour les cultivars de triticales, tandis que pour le blé, elles sont hautement significatives en 1984, et significatives en 1985.

Le test de Newman-Keuls précise que c'est dans le groupe 2 de sols qu'on obtient de meilleurs rendements de blé, principalement par rapport au groupe 3, mais aussi par rapport au groupe 1 en 1984.

D'autre part, si l'on compare les cultivars de blé et de triticales entre eux dans les divers groupes de sols, on constate que dans le groupe 3, il existe des différences significatives en 1984 et hautement significatives en 1985. Les résultats de cette analyse de la variance sont présentés au tableau IX. Le test de Newman-Keuls précise que dans ce groupe 3 les rendements du BVR-Arm et du MIZAR sont supérieurs à ceux du ROMANY.

Tableau IX. Analyse de la variance des rendements et comparaison des moyennes (Test de Newman-Keuls) en fonction des cultivars.

Groupe de sols	Année	F obs	Signification	Comparaison des moyennes des cultivars
1	1984	0,34	NS	-
	1985	0,02	NS	-
2	1984	0,10	NS	-
	1985	0,00	NS	-
3	1984	4,13	*	ROMANY ≠ BVR = MIZAR
	1985	8,54	**	ROMANY ≠ MIZAR
4	1984	2,74	NS	-
	1985	1,90	NS	-

On peut donc conclure que le triticales ne présente pas de sensibilité particulière aux types de sols, alors que le blé présente des exigences spécifiques. Les humygroferralsols et humygroferrisols cutaniques (groupe 2) du Nord-Mugamba permettent une meilleure production de blé que les humygrhumoferralsols typiques (groupe 3). Ces derniers sols permettent une meilleure production de triticales que de blé, et sont largement représentatifs des exploitations agricoles du Sud-Mugamba. Comme les sols du groupe 2 se caractérisent surtout par une meilleure disponibilité en bases que les sols du groupe 3, on peut encore conclure que le blé est plus exigeant que le triticales du point de vue de la fertilité chimique des sols. Cependant, d'autres facteurs que la fertilité chimique des sols induisent de fortes variations de rendement, tant de blé que de triticales, qui n'ont pas pu être appréhendés dans le réseau d'observations (valeurs élevées des coefficients de variation).

V. CORRELATIONS ENTRE LES CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES SOLS ET LES RENDEMENTS

Les coefficients de corrélation entre les caractéristiques physico-chimiques de tous les sols échantillonnés dans le Mugamba et les rendements de blé et de triticales ont été calculés pour les deux saisons culturales considérées. Les résultats sont présentés au tableau X. On observe des valeurs significatives pour le blé en ce qui concerne la disponibilité en bases en général, et la teneur en calcium échangeable en particulier.

La distribution des rendements de blé en fonction de cette dernière caractéristique est reproduite à la figure 6. Les rendements de triticales sont quant à eux moins bien corrélés aux caractéristiques physico-chimiques de l'ensemble des sols échantillonnés. Ces résultats tendent à confirmer la plus grande exigence relative du blé par rapport au triticales en ce qui concerne la disponibilité en bases des sols.

CONCLUSIONS

La région naturelle du Mugamba est contrastée du point de vue paysagique et pédologique suivant un axe Nord-Sud. Dans les paysages accidentés du Nord-Mugamba se sont développés des sols présentant des revêtements sur la surface de leurs agrégats structuraux (caractère cutanique).

Lorsque ces sols ont des horizons humifères bien développés, ils bénéficient d'une bonne disponibilité en bases permettant l'obtention des rendements les plus élevés de blé (1700 kg/ha en moyenne). Dans les paysages vallonnés du Sud-Mugamba, les sols sont profondément imprégnés de matière organique.

La plupart de ces sols ne présente pas de revêtements sur la surface de leurs agrégats structuraux et leur disponibilité en bases est plutôt moyenne. Dans ces conditions le triticales produit de meilleurs rendements (1500 à 1600 kg/ha) que le blé, dont le rendement moyen chute à 1100-1200 kg/ha.

Le triticales se montrerait ainsi moins exigeant que le blé en ce qui concerne la disponibilité en bases des sols. Enfin, il faut signaler que d'autres facteurs non appréhendés déterminent d'importantes variations de rendement, tant en blé qu'en triticales.

Tableau X.

Matrice des corrélations entre les caractéristiques physico-chimiques des sols et leur production pour les cultivars de blé et de triticales.

CARAC- TERISTIQUE	ROMANY		BVR-Arm	MIZAR	
	1984	1985	1984	1984	1985
C%	- 0,190	- 0,291*	+ 0,055	+ 0,026	+ 0,020
C/N	- 0,302**	- 0,037	- 0,029	- 0,166	+ 0,136
CE 1	- 0,092	- 0,124	+ 0,247*	+ 0,205	+ 0,101
CE 2	- 0,265	- 0,124	+ 0,020	- 0,064	+ 0,167
Ca ⁺⁺ 1	+ 0,532***	+ 0,332**	+ 0,176	+ 0,429***	+ 0,130
Ca ⁺⁺ 2	+ 0,519***	+ 0,382**	+ 0,202	+ 0,335**	+ 0,218
Mg ⁺⁺ 1	+ 0,396***	+ 0,220	+ 0,123	+ 0,218	+ 0,110
Mg ⁺⁺ 2	+ 0,346**	+ 0,208	+ 0,120	+ 0,109	+ 0,101
S 1	+ 0,481***	+ 0,287*	+ 0,161	+ 0,379***	+ 0,150
S 2	+ 0,489***	+ 0,333**	+ 0,200	+ 0,295*	+ 0,204
Al ³⁺ 1	- 0,291*	- 0,361**	+ 0,190	+ 0,054	- 0,006
Al ³⁺ 2	- 0,430***	- 0,391**	+ 0,014	- 0,033	- 0,021
ECEC 1	+ 0,454***	+ 0,197	+ 0,275	+ 0,479***	+ 0,184
ECEC 2	+ 0,298**	+ 0,207	+ 0,268*	+ 0,346**	+ 0,238
pH 1	+ 0,264*	+ 0,383**	- 0,057	+ 0,007	+ 0,028
pH 2	+ 0,338**	+ 0,327**	+ 0,062	+ 0,099	+ 0,038

REMERCIEMENTS

Les auteurs expriment leurs sincères remerciements aux nombreux collaborateurs qui ont pris part à cette étude : les agronomes et les responsables du projet "Cultures Villageoises en Haute Altitude" (CVHA), MM. R. BARAGENGANA et R. NTUKAMAZINA du programme blé-triticales de l'ISABU, MM. J-F. LAYS et feu D. SINDAYIGAYA du programme de pré vulgarisation de l'ISABU, Mme C. KIBIRITI du laboratoire de Chimie Agricole de l'ISABU, ainsi que les paysans du Mugamba qui ont permis l'installation du réseau d'observations.

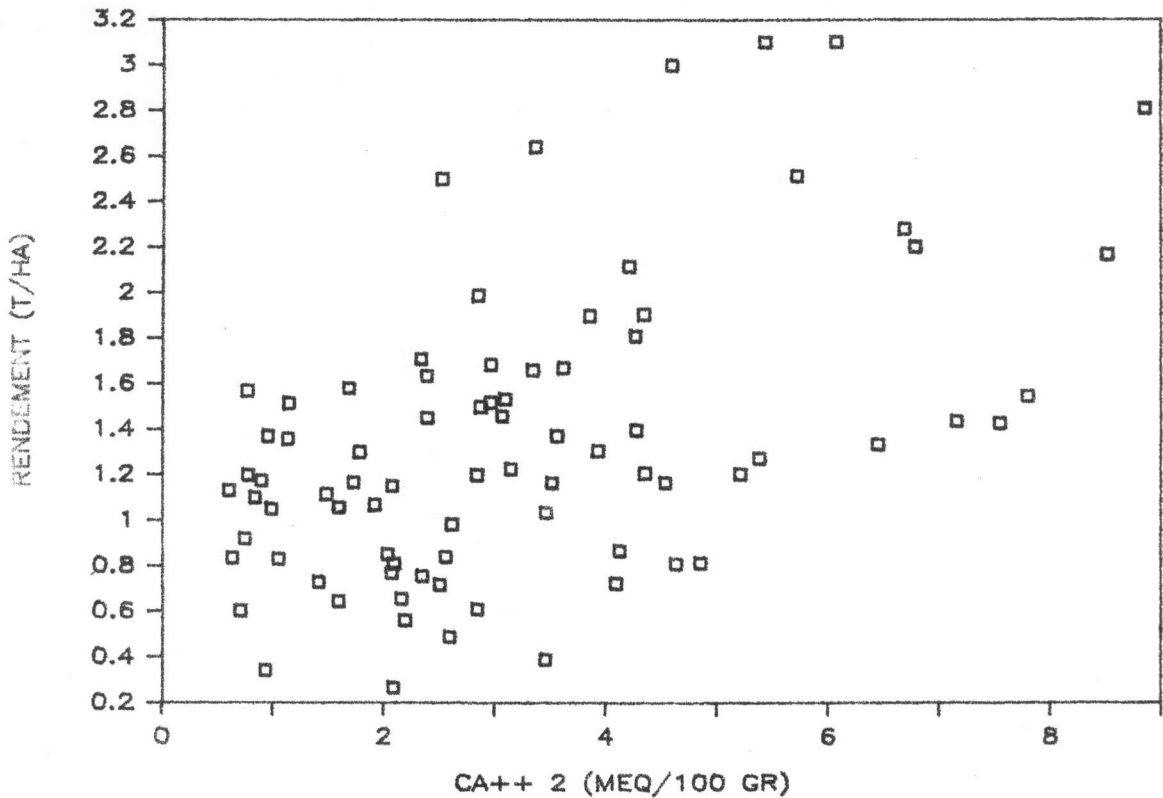
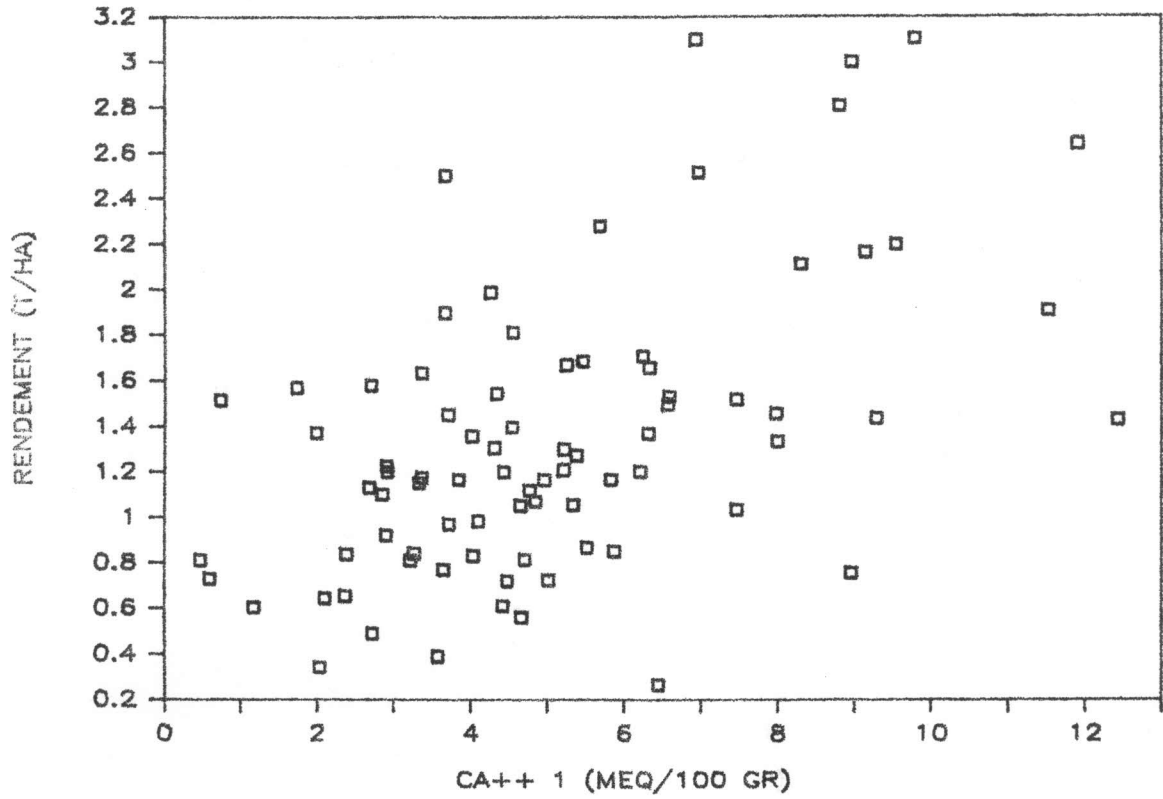


Figure 6 : Distribution des rendements de ROMANY en 1984 en fonction des teneurs en calcium échangeable des sols entre 0-15 CM (Ca ++ 1) et entre 25-40 CM (Ca ++ 2)

BIBLIOGRAPHIE

- F.A.O. ; 1980 : Réponse des rendements à l'eau. Bulletin FAO d'irrigation et de drainage n° 33. Rome.
- IGEBU ; 1985 : Climatologie. Annuaire pluviométrique 1983-1984 Gitega.
- IGEBU ; : Annuaire pluviométrique. Année 1985. (non daté).
- OPDECAMP, L. et J.-J. SCHALBROECK ; 1985 : Productivités des terres du Mugamba (Burundi) pour le blé (Triticum aestivum). Xe forum international sur la "Soil Taxonomy" et le transfert d'agrotechnologie. Rwanda-Burundi, 1-12 avril 1985.
- OPDECAMP, L. ; 1986 : PTR-SAV. Prototype de taxonomie régionale des sols a-volcaniques. A l'usage du cartographe et de l'agronome. Publication ISABU n° 102.
- SCHALBROECK, J.-J. et L. OPDECAMP ; 1985 : Sensibilités différentielles du blé (Triticum aestivum) et du triticales (X.Triticosecale) à l'acidité des terres dans le Mugamba. Xe forum international sur la "Soil Taxonomy" et le transfert d'agrotechnologie. Rwanda-Burundi, 1-12 avril 1985.
- SCHALBROECK, J.J. ; 1985 : L'acidité des terres comme base d'identification des terroirs à blé (Triticum aestivum) et à triticales (X.Triticosecale) dans le Mugamba (Burundi). Regional Wheat Workshop for Eastern and Southern Africa, Limuru et Njoro (Kenya), 2-5 septembre 1985.
- TAVERNIER, R. and C. SYS ; 1965 : Classification of the soils of the Republic of Congo (Kinshasa). p. 91-136. In : Pédologie Int. Symp.3. Soil Classification (Ghent).