



UNIVERSITÉ DU BURUNDI

GRENIER DU SAVOIR DU BURUNDI

Dépôt institutionnel officiel

<https://repository.ub.edu.bi>

Incidence des facteurs pédoclimatiques sur le rendement des cultures vivrières (pomme de terre , blé, haricot et arachide) en régions naturelles de Buragane et Mugamba

Manirakiza, Dionèse; Sou. la direction de : Zacharie Nzohabonayo,; Spéciose Gacoreke, Msc

2011-10

UB, ISA Gitega

<https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/2374>

UNIVERSITE DU BURUNDI
INSTITUT SUPERIEUR D'AGRICULTURE (ISA)
BP 35 GITEGA.



**INCIDENCE DES FACTEURS PEDOCLIMATIQUES SUR LE
RENDEMENT DES CULTURES VIVRIERES (POMME DE TERRE,
BLE, HARICOT ET ARACHIDE) EN REGIONS NATURELLES DE
BURAGANE ET DE MUGAMBA.**

Par :

Dionise MANIRAKIZA

Sous la Direction de :

Zacharie NZOHABONAYO.

Msc Spéciose GACOREKE.

Mémoire présenté et défendu
publiquement en vue de l'obtention
du grade d'Ingénieur Industriel.

Option : Agriculture

Gitega, Octobre 2011

Table des matières

Dédicace	iv
Remerciements	v
Liste des sigles et abréviations	vi
Liste des tableaux et figures	vii
Résumé	x
 0. INTRODUCTION GENERALE.....	 1
 PREMIERE PARTIE : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	 4
 CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES CULTURES VIVRIERES FAISANT OBJET D'ETUDE.....	 5
I. 1. Cas du blé	5
I.1.1. Origine et diffusion	5
I.1.2. Classification taxonomique	5
I.1.3. Description botanique	5
I.1.4. Exigences édaphoclimatiques	6
I.1.5. Contraintes liées à la production du blé	6
I.1.6. Phytotechnie de la culture	7
I.2. Cas de la pomme de terre	8
I.2.1. Origine et diffusion	8
I.2.2. Description botanique	8
I.2.3. Classification taxonomique	9
I.2.4. Exigences édaphoclimatiques	9
I.2.5 Contraintes liées à la production de la pomme de terre	10
I.2.6. Phytotechnie de la culture	10
I.3. Cas de l'arachide	11
I.3.1. Origine et diffusion	11
I.3.2. Classification taxonomique	12
I.3.3. Description botanique	12
I.3.4. Exigences édaphoclimatiques	12
I.3.5. Contraintes liées à la production de l'arachide	13
I.3.6. Phytotechnie de la culture	13
I.4. Cas du haricot	14
I.4.1. Origine et diffusion	14
I.4.2. Classification taxonomique	15
I.4.3. Description botanique	15
I.4.4. Exigences édaphoclimatiques	15
I.4.5. Contraintes liées à la production du haricot	16
I.4.6. Phytotechnie de la culture	17

CHAPITRE II : APERCU SUR LES FACTEURS PEDOCLIMATIQUES.....	17
II.1. FACTEURS EDAPHIQUES	18
II.1.1. Propriétés physiques du sol.....	18
II.1.1.1. Les grandes composantes du sol.....	18
II.1.1.2 Texture et structure du sol	19
II.1.2. Propriétés chimiques du sol	20
II.1.3. Propriétés biologiques du sol.....	23
II.1.4. Fertilité des sols	23
II.1.5. Fertilisation du sol.....	24
II.1.6. Disponibilité pour la plante.....	26
II.2. FACTEURS CLIMATIQUES	28
II.2.1. Conditions écologiques de l'agriculture	28
II.2.2. Aléas climatiques	30
DEUXIEME PARTIE : EXPERIMENTATION	31
CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES	32
III.1. DESCRIPTION DES SITES DE L'ETUDE.....	32
III.1.1. Situation géographique.....	33
III. 1. 2. Population.....	33
III.1.3. Conditions physiques.....	35
III.1.3.1. Climat	35
III.1.3.2. Topographie.....	35
III.1.3.3. Végétation.....	36
III.1.3.4. Hydrologie	37
III.1.4. Conditions socio-économiques.....	38
III.1.4.1. Kayanza	38
III.1.4.2. Makamba	39
III. 2. MATERIEL	40
III. 2. 1. Matériel végétal	40
III. 2. 2 Autre matériel utilisé	40
III.3. METHODOLOGIE	40
III.3.1. Considérations générales sur les champs d'expérimentation.....	40
III.3.2. Choix du paysan	40
III.3.3. Choix du terrain	41
III.3.4. Collecte des données	41
III.3.4.1. Récolte des données physico-chimiques du sol	41
III.3.4.2. Analyses des données physico-chimiques.....	42
III.3.4.3. Récolte des données climatologiques.....	46

CHAPITRE IV : PRESENTATION, INTERPRETATION ET DISCUSSION DES RESULTATS	47
IV. 1. PRESENTATION DES RESULTATS	47
IV.1.1. Présentation des résultats du rendement	47
IV.1.2. Présentation des résultats d'analyse de sol.	48
IV.1.3. Présentation des résultats climatologiques.....	51
IV.2. INTERPRETATION DES RESULTATS.....	53
IV.2.1. Influence des précipitations sur le rendement des cultures vivrières.....	53
IV.2.2. Influence de la granulométrie sur le rendement des cultures vivrières..	55
IV.2.3 Influence d'éléments chimiques sur le rendement des cultures vivrières	67
IV.3. DISCUSSION DES RESULTATS	79
IV.3.1. Les rendements de la pomme de terre à Kayanza	79
IV.3.2. Le rendement du blé à Kayanza	80
IV.3.3. Le rendement du haricot à Makamba.....	81
IV.3.4. Le rendement de l'arachide à Makamba	82
CHAPITRE V. CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS ...	84
V.1. CONCLUSION.....	84
V. 2. RECOMMANDATIONS	86
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	87

Dédicace

A Dieu tout puissant,
A mes chers parents pour leur patience, leur affection, leur compréhension et leurs encouragements,
A mes sœurs pour leur soutien sans égal,
A mes chers amis et amies,
A celle que Dieu me réserve,
A tous ceux qui ont donné le maximum d'eux-mêmes pour l'élaboration de ce travail,

Je dédie ce mémoire

Remerciements

A l'issu de notre travail, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à tous ceux qui n'ont ménagé aucun effort pour que ce travail soit réalisé.

Nos profonds remerciements sont particulièrement adressés à Monsieur Zacharie NZOHABONAYO, agronome de l'IFDC-Burundi, Promoteur et Directeur du sujet. Qu'il soit rassuré de notre profonde satisfaction, pour sa disponibilité, ses conseils techniques et scientifiques, sa bonne collaboration, sa compréhension malgré ses multiples occupations.

Nos vifs remerciements vont à l'endroit de Msc Spéciose GACOREKE Enseignante à l'ISA pour avoir accepté d'assurer la codirection de ce travail, pour l'intérêt et les conseils importants qu'elle a apportés à ce travail.

Nous voudrions adresser nos sincères remerciements au personnel du projet IFDC-CATALIST pour son soutien tant moral que matériel dans le but de nous faire en sortir les résultats d'analyse chimique dans le Laboratoire de Chimie Agricole.

Nos remerciements s'adressent aussi à tous nos enseignants, du Primaire à l'Université du Burundi, spécialement ceux de l'ISA, pour la formation tant humaine que scientifique dont ils ont dispensé. Qu'ils soient rassurés de notre profonde reconnaissance.

A nos parents, nous manquons les termes pour exprimer nos sentiments de profonde gratitude pour avoir guidé nos pas vers le chemin de l'école, lorsque nous étions tout petits pour comprendre les méandres de la vie. Qu'ils trouvent le couronnement de leurs efforts.

Enfin, que tous ceux qui, de près ou de loin, d'une manière ou d'une autre, ont contribué pour la confection de ce travail nous disons grand merci.

Liste des sigles et abréviations

CATALIST: Catalyze Accelerated Agricultural Intensification for Social Environmental Stability

C.E.C. : Capacité d'Echange Cationique

C.I.P. : Centre International de la Pomme de terre

FACAGRO : Faculté des Sciences Agronomiques

F.A.O. : Food Agriculture Organization

Hab. : Habitant

I.F.D.C. : An International Center for Soil Fertility and Agricultural Development.

IGEBU : Institut Géographique du Burundi

ISA : Institut Supérieur d'Agriculture

ISABU : Institut des Sciences Agronomiques du Burundi

L.F : Limon Fin

L.G : Limon Gros

L.N. : Latitude Nord

L.S. : Latitude Sud

Méq : Milliéquivalent

OTB : Office du Thé du Burundi

U.B. : Université du Burundi

Liste des tableaux et figures

Tableau 1 : Population et densité de population de la province Kayanza par commune	34
Tableau 2 : Population et densité de population de la province Makamba par commune	34
Tableau 3 : Principaux cours d'eau de la province Makamba par commune.	37
Tableau 4 : Normes d'interprétation des analyses du sol.....	45
Tableau 4 : Normes d'interprétation des analyses du sol (suite).....	46
Tableau 5 : Synthèse des résultats moyens obtenus sur le paramètre de production dans la région naturelle de Mugamba (Kayanza	47
Tableau 6 : Synthèse des résultats moyens obtenus sur le paramètre de production dans la région naturelle de Buragane (Makamba.....	47
Tableau 7 : Fractionnement granulométrique du sol de Kayanza.....	48
Tableau 8 : Fractionnement granulométrique du sol de Makamba.....	49
Tableau 9 : Résultats d'analyse chimique du sol de Kayanza.....	50
Tableau 10 : Résultats d'analyse chimique du sol de Makamba.....	50
Tableau 11. Résultats climatiques des stations Makamba et Gwegura.....	52
Tableau 12 : Influence de la précipitation sur le rendement de la pomme de terre en province Kayanza.....	53
Tableau 13 : Influence des précipitations sur le rendement du blé en province Kayanza	54
Tableau 14 : Influence des précipitations sur le rendement du haricot en province Makamba.....	54
Tableau 15 : Influence du taux du sable dans le sol sur le rendement de la pomme de terre en province Kayanza	55
Tableau 16 : Influence du limon gros sur le rendement de la pomme de terre en province Kayanza.....	56
Tableau 17 : Influence du limon fin sur le rendement de la pomme de terre en province Kayanza.....	57
Tableau 18 : Influence de l'argile sur le rendement de pomme de terre en province Kayanza.....	58

Tableau 19 :Influence du taux du sable dans le sol sur le rendement du blé en province Kayanza.....	59
Tableau 20 : Influence du limon gros sur le rendement du blé en province Kayanza	60
Tableau 21 : Influence du limon fin sur le rendement du blé en province Kayanza	61
Tableau 22 : Influence de l'argile sur le rendement du blé en province Kayanza	62
Tableau 23 : Influence du taux du sable dans le sol sur le rendement du haricot	63
Tableau 24 : Influence du limon gros sur le rendement du haricot en province Makamba.....	63
Tableau 25 : Influence du limon fin sur le rendement du haricot en province Makamba	65
Tableau 26 : Influence d'argile sur le rendement du haricot en province Makamba.....	66
Tableau 27 : Influence du pHeau sur le rendement de la pomme de terre.....	67
Tableau 28 : Influence du Carbone sur le rendement de la pomme de terre. en province Kayanza	68
Tableau 29 : Influence de l'aluminium sur le rendement de la pomme de terre. en province Kayanza	69
Tableau 30 : Influence de la capacité d'échange cationique sur le rendement de la pomme de terre en province Kayanza	70
Tableau 31 : Influence de pHeau sur le rendement du blé en province Kayanza.....	71
Tableau 32 : Influence du carbone sur le rendement du blé en province Kayanza	72
Tableau 33 : Influence d'aluminium sur le rendement du blé en province Kayanza	73
Tableau 34 : Influence de la capacité d'échange cationique sur le rendement du blé en province Kayanza	74
Tableau 35 : Influence du pHeau sur le rendement du haricot en province Makamba	75

Tableau 36 : Influence du carbone sur le rendement du haricot en province Makamba	76
Tableau 37. Influence d'aluminium sur le rendement du haricot en province Makamba	77
Tableau 38 : Influence de la capacité d'échange cationique sur le rendement du haricot en province Makamba	78
Figure 1 : Carte des régions naturelles et provinces du Burundi.....	32

Résumé

L'objectif de ce travail est de pouvoir déterminer l'influence de quelques caractéristiques édaphoclimatiques sur le rendement des cultures vivrières et nuancer les recommandations de fertilisation. La zone d'étude a concerné les régions naturelles de Mugamba (KAYANZA) et Buragane (MAKAMBA).

En effet, quatre cultures vivrières (pomme de terre, blé, haricot et arachide) font objet d'étude. Chacune de ces cultures a été installée sur un terrain de 10 ares avec une dose d'engrais en fonction des cultures.

L'analyse physico-chimique a été réalisée au Laboratoire de Chimie Agricole de l'ISABU à partir du sol exploré aux différentes parcelles sur lesquelles sont installées ces cultures. Il s'agit de l'analyse sur le pH, C, N, P, K, Al^{3+} , H^+ , CEC et la texture. Les données climatologiques ont été récoltées dans les centres météorologiques proches de nos sites d'expérimentation.

Les résultats des facteurs pédoclimatiques de chaque région nous ont fait remarquer que ces éléments influencent d'une manière ou d'une autre les rendements des cultures.

Il convient cependant de présenter certains facteurs qui ont marqué une influence significative sur le rendement.

A Kayanza :

- pour le rendement de la pomme de terre, les facteurs influençant sont le pHeau, la texture, Al^{3+} et la pluie.
- pour le rendement du blé, c'est la texture, pHeau, et la pluie.

A Makamba :

- pour le rendement du haricot ; le pHeau, la texture, Al^{3+} , CEC et la pluie ont marqué une influence significative sur le rendement.

Parmi les formules utilisées pour ces cultures, la meilleur est ;

Pour la province Kayanza : -Pomme de terre : 75-50-50.

: -Blé : 60-40-0

Pour la province Makamba : -Haricot : 18-46-0

- : -Arachide : 18-46-0

Ainsi, l'influence de ces facteurs pédoclimatiques n'est pas identifiée sur le rendement de l'arachide parce que nous avons un rendement d'une seule saison culturale, alors qu'on devrait comparer une saison à une autre.

D'une manière générale, nous pouvons conclure que ces deux régions ont des sols acides et sont à dominance argileuse (% > à 45 d'argile). La région de Kayanza a un sol très acide ($pH < 5,2$) et celle de Makamba un sol légèrement ($5,2 < pH < 5,6$) ou très acide ($pH < 5,2$).

Ainsi, comme nous avons trop de formules, il serait souhaitable d'avoir des essais multilocaux.

L'auteur

0. INTRODUCTION GENERALE

Le Burundi est un pays essentiellement agricole et soumis à une croissance démographique galopante. Il dispose de peu de terres fertiles qui sont souvent allouées aux cultures de rente comme le café, la canne à sucre, le palmier à huile etc.

Il en découle que la production vivrière, servant toujours dans l'alimentation quotidienne dont les légumineuses, sources de protéines, les tubercules pour les glucides, les céréales pour l'amidon reste faible et la population souffre d'une insuffisance alimentaire.

Sous l'effet de cette pression démographique exponentielle, le vieil équilibre « population-fertilité naturelle du sol-production vivrière » est révolu. Au Burundi, les rendements obtenus en milieu rural sont principalement fonction de quatre facteurs :

1. la gestion des producteurs ;
2. les maladies et/ou les ravageurs ;
3. la fertilité du sol ;
4. l'état hydrique du sol.

La gestion du producteur suppose la pratique de bonnes techniques culturales et l'utilisation de semences de qualité. Les maladies et les ravageurs sont les ennemis des cultures qui constituent une menace incontournable pour les productions végétales.

L'état hydrique signifie que l'eau doit être disponible en quantité suffisante dans le temps et dans l'espace selon le type de culture pour permettre une production potentielle des cultures. La sécheresse et les inondations provoquent des chutes de rendement.

La fertilité du sol veut dire la disponibilité des éléments nutritifs pour les plantes.

Une des causes de la non disponibilité des éléments nutritifs est l'acidité du sol. Ces deux derniers facteurs sont ceux qui font l'objet de notre étude, c'est-à-dire la fertilité du sol et la disponibilité en eau pour les plantes.

Ainsi, toutes les régions du Burundi n'ont pas la même potentialité en matière de fertilité ; il y a de bons sols, des sols moins bons à médiocre, des sols acides sans problème de toxicité aluminique important. Les formules de fertilisation qu'il faut proposer diffèrent selon les régions.

Par rapport à l'état hydrique du sol, les variations climatiques permettent de distinguer des zones à bonne pluviométrie, ayant des températures modérées qui font face à une évapotranspiration relativement restreinte (ex. région naturelle de Mugamba) et des zones à pluviométrie moindre, ayant des températures élevées et ainsi une évapotranspiration élevée (région naturelle de Buragane par ex.).

Des analyses du sol sont indispensables pour mener une étude sur le comportement pédologique et climatique dans certains endroits où sont menés des tests participatifs dans le cadre du projet IFDC catalist. Nous avons travaillé dans deux provinces (Makamba et Kayanza) où il y a des risques liés à l'acidité.

Concernant l'acidité du sol, nous avons 2 groupes de producteurs (Makamba et Kayanza) et pour chaque groupe, le nombre de cas à analyser est de 6. D'autres échantillons sont à faire en rapport avec les rendements des tests obtenus pour les saisons antérieures et il y aura aussi 6 producteurs par groupe de producteurs. Le choix des parcelles que nous avons échantillonnées a été fait chez les producteurs les plus sérieux et est basé sur les rendements de la dernière saison ou sur la base des rendements de toutes les saisons.

Nous avons deux échantillons mixtes par parcelle de 0 à 20 cm et 20 à 40 cm. Les analyses à faire ont porté sur le pH, le carbone, l'azote, le phosphore, le potassium, l'aluminium, l'hydrogène, la capacité d'échange cationique et la texture. Les données climatologiques ont été obtenues à partir des observations faites dans les stations de l'IGEBU les plus proches des zones étudiées.

C'est dans ce contexte que le sujet : « **INCIDENCE DES FACTEURS PEDOCLIMATIQUES SUR LE RENDEMENT DES CULTURES VIVRIERES (HARICOT, ARACHIDE, BLE, ET POMME DE TERRE) EN REGIONS NATURELLES DE MUGAMBA ET BURAGANE** » nous a paru intéressant.

Ce travail consiste en une étude issue des analyses du sol portés au laboratoire de chimie agricole de l'ISABU et des données climatiques qui nous permettront de comprendre les variations de rendements, qui ne sont pas liées à une variation dans le sérieux des producteurs ou à d'autres variables comme ennemis de la plante mais aux variations de la potentialité du sol en éléments nutritifs et variations climatiques.

Dans nos attentes, l'objectif de cette étude est de :

- pouvoir déterminer l'influence de quelques caractéristiques édapho-climatiques sur le rendement des cultures vivrières.

Compte tenu des objectifs ci-haut nommés, ce travail est scindé en deux parties : la première partie concerne l'approche bibliographique tandis que la deuxième relate les expérimentations qui comprennent le matériel et les méthodes utilisés ainsi que la présentation, l'interprétation et la discussion des résultats.

Enfin, à la lumière des résultats, notre étude sera terminée par la conclusion et quelques recommandations.

PREMIERE PARTIE :
REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES CULTURES VIVRIERES

FAISANT OBJET D'ETUDE

I. 1. Cas du blé

I.1.1. Origine et diffusion

Le site d'origine du blé se trouve dans la zone du Proche et du Moyen-Orient connue sous le nom de croissant fertile qui couvre le Sud de la Turquie, le Nord de l'Inde ainsi que les régions voisines de l'Iran comme la Syrie. Actuellement, on trouve encore du blé sauvage dans cette région.

A l'époque préhistorique, la culture du blé s'est rapidement répandue vers l'Afrique du Nord, l'Asie, l'Europe ; le pain ou levain est originaire de l'ancienne Egypte. Les Espagnols ont introduit le blé au Mexique au tout début du 16^{ème} siècle. Au 19^{ème} siècle, sa culture se répand à travers l'Amérique du Nord (RAEMAEEKERS, 2001).

I.1.2. Classification taxonomique

Le blé appartient au genre *Triticum* de la famille des *poaceae* (ou graminée). Le nombre de base de ses chromosomes (x) s'élève à 7. Les différentes espèces peuvent être regroupées en fonction du nombre de séries de chromosomes (génomes) dans les cellules somatiques (cellules de tissus). On répertorie deux, quatre ou six génomes désignés AA, AABB et AABBDD, respectivement pour les blés diploïdes ($2n=2x=14$), tétraploïdes ($2n=4x=28$) et hexaploïdes ($2n=6x=42$). (RAEMAEEKERS, 2001).

I.1.3. Description botanique

Le blé est une plante annuelle. Son système racinaire est fasciculé et comprend 5 à 6 racines primaires et de nombreuses racines secondaires. Les tiges portent du plateau de tallage ; on distingue le brin-maître ou talle primaire et les talles secondaires et tertiaires. Les tiges mesurent de 0,45 à 1,70 m en fonction de la variété, des conditions climatiques et de l'emploi éventuel des raccourcisseurs. Elles possèdent de 5 à 7 nœuds ainsi que 3 ou 4 feuilles. Chaque tige peut produire un épi composé d'un axe ou rachis portant de nombreux épillets. Chaque épillet est un axe reproducteur condensé, comprenant deux bractées stériles (appelées glumes) qui enveloppent 2 à 5 fleurs.

La fleur hermaphrodite possède 3 étamines et le pistil comprend un seul ovaire, un seul ovule et deux styles se terminant par un stigmate plumeux. Le blé est une espèce surtout autogame, pollinisée par le vent. Après fécondation,

chaque fleur donne naissance à un fruit unique, le grain de blé. (RAEMAEEKERS, 2001).

I.1.4. Exigences édaphoclimatiques

- Sol

Le blé préfère des sols profonds et bien structurés à pH voisin de la neutralité. Il ne supporte pas l'engorgement (ANONYME, 2002). Le blé est relativement sensible à l'aluminium (et/ou au manganèse) présent dans la solution du sol, et les racines du blé peuvent être fortement rabougries, particulièrement à un pH inférieur à 5,0. (RAEMAEEKERS, 2001).

- Climat

La température minimale de germination des graines est de 3°C, l'optimum étant 27°C. La floraison ne peut débuter que si la température dépasse 14°C et est optimale autour de 20°C. (ANONYME, 2002).

Le blé a surtout besoin d'eau en début du cycle (de la germination au tallage), puis durant la quinzaine qui précède l'épiaison. Elle a besoin de 100 jours sans gel pour se développer et nécessite de 400 à 500 mm de pluies pendant son cycle. (ANONYME, 2002).

Selon GATE (1995), le blé est une plante de jours longs et de type C₃ relativement exigeante en rayonnement comparativement à d'autres espèces cultivées comme le maïs, plante du type C₄.

I.1.5. Contraintes liées à la production du blé

- Contraintes abiotiques

En cas de gel, les symptômes de destruction apparaissent sur le coléoptile, les feuilles, le plateau de tallage ou le rhizome. (ZILLINSKY, 1998). Les céréales en sont très sensibles au stade imbibition, germination et dès le stade coléoptile ou à la sortie du limbe de la première feuille. (GATE, 1995). Quant à la verse mécanique, une plante est dite « versée » lorsque les tiges sont couchées sur le sol (GATE, 1995). La verse physiologique est un phénomène lié à la variété, à la fertilité du sol et survient pendant les pluies d'orages et les vents violents. (MOULE, 1980).

Un autre phénomène est l'échaudage qui est un déséquilibre physiologique empêchant que les réserves de la plante soient acheminées vers le grain surtout

en période de maturation. (MOULE, 1980). Les vents faibles, les brouillards, les carences nutritionnelles passagères peuvent engendrer la non fécondation des épillets terminaux et des deuxième et troisième fleurs de chaque épillet (ZILLINSKY, 1988). Ce phénomène est connu sous le nom de coulure.

La dernière contrainte s'accroît sur carences en éléments minéraux et stress provoqué par l'environnement. Les carences alimentaires des plantes peuvent résulter d'une présence insuffisante d'un ou plusieurs éléments dans le sol, ou d'une impossibilité pour la plante d'assimiler les éléments, pourtant présents dans le sol en quantité insuffisante à la suite d'un pH défavorable ou d'un déséquilibre chimique ou physique du sol.

- Contraintes biotiques

En Afrique tropicale, le blé est touché par la rouille de la tige ou rouille noire, la rouille des feuilles ou rouille brune et à la rouille à stries ou rouille jaune. Ces maladies apparaissent sur l'épiderme de la feuille et/ou de la tige. Les pucerons, les cicadelles et les nématodes figurent parmi les vecteurs les plus répandus du virus (RAEMAEEKERS, 2001).

I.1.6. Phytotechnie de la culture

En culture irriguée, on préconise un labour suivi d'un hersage puis d'un planage de la parcelle. Au moment du labour, on enfouit 10 tonnes du fumier par ha. Le grain non décortiqué constitue le matériel habituel de semis. Dans les régions où la période des précipitations fiables est inférieure à 100 jours, le semis précoce du blé est essentiel pour éviter le stress hydrique à la fin de la période de croissance. Les doses de semis préconisées sont de l'ordre de 100 à 150 kg/ha de semences traitées et on recommande le semis en lignes espacées de 15 à 25 cm à une profondeur de 3 à 5 cm. On apporte 300 à 500 kg d'engrais NPK au moment des semis.

Les travaux d'entretien concernent la lutte contre les adventices. Le labour réduit aussi la densité des mauvaises herbes dans les zones irriguées en effectuant une irrigation en présemis suivie d'un labour superficiel. Les taux moyens d'application d'éléments nutritifs par ha vont de 9 kg d'N et 10 kg de P pour le blé pluvial à 180 kg d'N, 25 kg de P et 50 kg de K pour le blé irrigué (RAEMAEEKERS, 2001).

La récolte a lieu lorsque la paille est jaune et que les grains craquent entre les dents. Au Burundi et au Rwanda et dans le sud de la Tanzanie, la récolte des épis individuels se fait manuellement à l'aide de couteau. Selon le rendement en

grains, il est extrêmement variable ; environ 700 à 800 kg /ha au Burundi et au Rwanda (ANONYME, 2002).

I.2. Cas de la pomme de terre

I.2.1. Origine et diffusion

La recherche botanique indique que le centre d'origine se situerait dans les régions montagneuses du Pérou et de la Bolivie. Les études d'amidon et de structures cellulaires faites avec les microscopes électroniques ont permis d'identifier des traces de pomme de terre dans une vallée près de Lima (Pérou), qui datent de 8000 ans avant Jésus-Christ (datation du carbone) (HARRIS, 1978).

Les espèces sauvages de la pomme de terre sont distribuées depuis le Nord de l'Amérique jusqu'au Chili (partie Est). La grande variabilité génétique se rencontre en Amérique latine surtout dans les Andes entre 10° L.N et 20° L.S et aux altitudes supérieures à 1900 m. La culture est introduite en Afrique vers la fin du 17^{ème} siècle par les missionnaires (HARRIS, 1978).

Au Burundi, se basant sur le nom vernaculaire « intofanyi », dérivant de « kartoffel » mot allemand désignant la pomme de terre, certains auteurs affirment aussi qu'elle aurait été introduite par les colons allemands vers la fin du 19^{ème} siècle. Sur leurs passages ils laissent des épluchures et des petits tubercules non consommés qui poussaient sporadiquement d'eux-mêmes (NGENDAKURIYO, 1978).

I.2.2. Description botanique

Les plantes qui germent à partir des graines, ont une seule tige principale tandis que celles germant à partir des tubercules peuvent en produire plusieurs. (CIP, 1987). Chaque feuille est composée de 3 à 5 paires de folioles opposées et d'une foliole terminale. A l'aisselle d'une feuille de la tige ou d'un rameau peut apparaître une inflorescence avec des feuilles (CIP, 1987) et (DOMINIQUE, 1990).

Les tubercules représentent l'organe de réserve principal de la plante. Ils comportent des yeux à leur surface et à maturité, les yeux entrent en dormance pouvant produire au bout d'un certain temps des germes. (NTEMAKO et HITIMANA, 2000). Les fleurs de la pomme de terre sont bisexuées. Elles possèdent les quatre parties essentielles d'une fleur : le calice, la corolle, l'androcée (organe mâle) et le gynécée (organe femelle).

Après fécondation, l'ovaire se développe en fruit (baie) qui contient de nombreuses graines. Le fruit est généralement de couleur verte et de forme sphérique. Les graines sont ovales et plates avec un petit hile qui indique leur point d'attache sur l'ovaire. Elles peuvent servir dans la plantation de la pomme de terre. Les stolons de la pomme de terre sont des tiges latérales qui se développent horizontalement à partir des bourgeons de base souterraine des tiges (CIP, 1987).

I.2.3. Classification taxonomique

La morphologie et les caractéristiques florales de la pomme de terre font que cette dernière se classe comme suit :

- classe : Dicotylédones
- sous-classe : Sympétale (Métachromydeae)
- ordre : Solanales
- famille : Solanaceae
- genre : Solanum
- espèce : *Solanum tuberosum*.L

GRISON (1983) et BURTON (1989) affirment que le genre Solanum comprend 2000 espèces parmi lesquelles 150 environ, originaires d'Amérique centrale et d'Amérique du sud, sont tuberifères.

ZOZIMO (1987) ajoute que 8 espèces seulement sont cultivées pour la production des tubercules dont *Solanum tuberosum* est cultivée dans le monde entier.

I.2.4. Exigences édaphoclimatiques

- Sol

La pomme de terre préfère un pH compris entre 5,5 et 6,5 (VAN DEN PUT, 1981). La pomme de terre préfère des sols légers, humifères, frais, profonds et légèrement acides (NIYONGERE, 1998). Les éléments nécessaires au développement de la pomme de terre sont l'Azote (N), le Phosphore (P), le Potassium (K), le Calcium (Ca), le Magnésium (Mg), le Soufre (S) et les oligo-éléments (VAN DEN ZAAG, 1978).

- Climat

La pomme de terre est une plante pouvant résister aux basses températures jusqu'à 2°C. Les températures à l'optimum du rendement sont 16-21°C avec comme limites 15 et 30°C (VAN DEER ZAAG, 1992).

Les limites sont de 10 à 24°C pour la phyto-température et 10° à 14°C pour la mycto-température (KAZUNGU, 1978).

Au Burundi, les températures prévalant dans la région de culture de la pomme de terre oscillent entre 10, 7°C et 21, 8°C (NIYONGERE, 1998).

La pomme de terre exige beaucoup d'eau pendant toute la phase de végétation et surtout au moment de la tubérisation. Il lui faut des pluies régulières, bien réparties et sans période de sécheresse. Le régime des pluies influence beaucoup la qualité des tubercules ainsi que le rendement (NGENDAKURIYO, 1978). L'intensité lumineuse et la durée d'insolation dépendent de la localité, du moment de l'année, de la couverture nuageuse et du moment de la journée. L'énergie lumineuse reçue par la plante dépend de l'écartement entre les plants, de la densité du feuillage et de l'indice foliaire (NDAYIRATA, 2005). La formation des féculs de pomme de terre est directement influencée par la luminosité et par conséquent l'ombrage est donc à proscrire (ANONYME, 1991).

I.2.5 Contraintes liées à la production de la pomme de terre

- Contraintes abiotiques

Les sols burundais et plus particulièrement dans la région de pomme de terre sont caractérisés par des sols acides. Or, la pomme de terre peut s'adapter à des sols très différents sauf aux compacts et humides. En effet, le développement normal des racines est freiné par la compacité tandis qu'une forte humidité entraîne la pourriture des tubercules (NDAYIRATA, 2005).

En fonction des conditions climatiques, les précipitations constituent une contrainte majeure à deux niveaux selon qu'il y a déficit ou excès d'eau. En cas de déficit en eau, une courte période de sécheresse a des conséquences néfastes sur le rendement surtout après la tubérisation. En cas d'excès d'eau, il y a risque d'asphyxie, ce qui a pour conséquence un faible développement racinaire et un pourrissement des tubercules naturellement formés (NDAYIRATA, 2005).

La pomme de terre se cultive dans les régions où la température se situe entre 5 et 28°C. D'après VAN DEER ZAAG (1982), en dehors de cette fourchette, c'est une culture rustique pouvant résister aux basses températures allant jusqu'à 2°C.

- Contraintes biotiques

La pomme de terre est soumise à plusieurs contraintes biotiques dont les maladies et ravageurs.

Les principales maladies rencontrées pour cette culture sont des maladies cryptogamiques, bactériennes et virales. (AUTRIQUE et PERREAUX, 1989).

I.2.6. Phytotechnie de la culture

La pomme de terre étant une plante exigeante en façons culturales et en entretien, le sol doit être bien travaillé, proprement labouré (30 cm sauf si la couche arable est mince) afin d'obtenir une terre meuble, non creuse, bien pourvue en eau, sans grosses mottes (MICHEL, 1981). Les semences sont considérées comme le facteur principal dans la production de la pomme de terre. Cependant, il est conseillé de planter des plançons de calibre moyen pour diminuer le coût des semences (WIERSEMA, 1986). Un bon tubercule de semence doit avoir 4 à 5 germes courts (± 1 cm), bien robuste, car leur germination hâte le développement de la végétation, augmente la précocité de la tubérisation et en conséquence la maturité de la culture.

Pour assurer des rendements maximums, il faut planter au début des pluies en première et deuxième saison culturale. Pour des facilités de travail, on peut planter 2 semaines avant le début des pluies (POTTS et KAYITARE, 1985). La plantation se fait généralement à la main, sur billons ou en poquets. La profondeur de plantation doit osciller entre 8 cm en terre argileuse et froide au minimum et 10 cm en terre légère et sèche au maximum. Les écartements utilisés au Burundi varient de 50 à 80 cm entre les lignes et de 30 à 50 cm dans les lignes.

L'entretien après la plantation consiste à faire un sarclo-binage (3 à 4 semaines après la plantation) pour maintenir le sol en bon état de propreté et l'ameublir. Le buttage intervient à 6 semaines après plantation lorsque les plants ont environ 20 à 25 cm de hauteur. La pomme de terre bénéficie d'une fumure organique (20 à 30 T/ha) appliquée en début de rotation. La fumure minérale est fonction de la richesse du sol en éléments nutritifs. (VAN DEN PUT, 1981).

Le jaunissement des feuilles est un signe indiquant la fin de la tubérisation ; pour la production des tubercules, on pratique le défanage 15 jours avant la récolte pour favoriser la tubérisation et le durcissement de la peau des tubercules.

Enfin, les rendements sont facilement influencés par la variété, les sols, les divers ennemis, les techniques culturales, etc. (POTTS et KAYITARE, 1985).

I.3. Cas de l'arachide

I.3.1. Origine et diffusion

L'arachide est originaire du bassin amazonien, probablement du Brésil. Plus de 70 espèces y ont été localisées mais seulement une seule a été durablement domestiquée. Toutefois, il semblerait qu'elle était déjà connue et très appréciée en Chine depuis au moins 100 mille ans. Ce pays en est d'ailleurs le premier producteur mondial. L'arachide a été ramenée du continent américain par les Espagnols et les Portugais qui en auraient étendu la culture et la consommation le long des comptoirs commerciaux jusqu'en Afrique et aux Philippines d'où elle est revenue pour s'installer en Amérique du Nord.

Demandant 5 mois de chaleur pour sa croissance et une pluviométrie de 600 mm par an, l'arachide a vu sa culture s'étendre à toutes les régions tropicales, en particulier à celles présentant un sous sol qui se prête à l'irrigation et une croûte friable. Aujourd'hui, on recense plus de 15000 variétés cultivées sur tous les continents où les étés chauds permettent à la plante de boucler son cycle.

Source : [http : www.diakadi.com/ en savoir plus /arachide.htm](http://www.diakadi.com/en/savoir-plus/arachide.htm). (Janvier 2010).

I.3.2. Classification taxonomique

Le genre *Arachis* appartient à la famille des Fabaceae et à la sous-famille des papilionoïdeae. Le nom botanique provient du grec *arachis* (légumes) et *hypogaea* (sous terre) et fait donc référence à la formation des gousses sous terre. (REAMAEKERS, 2001). L'arachide cultivée est une légumineuse annuelle (des parents sauvages et vivaces). Pendant longtemps, la seule espèce connue du genre était *Arachis hypogaea* décrite par LINNE en (1753).

I.3.3. Description botanique

Quant à GILLIER (1968) ; l'arachide cultivée se classe dans la section des Axomorphées annuelles. La plupart des auteurs l'ont donc étudiée REED (1924), BADAMU (1928) SHIBUYA (1935), CHEVALIER (1934-1935), YABROUGHT (1957), BOUFFIL (1949). Au point de vue botanique et morphologique entre autre ; les points analysés sont le port, les tiges, les racines, les feuilles, les inflorescences, les fleurs et les fruits.

I.3.4. Exigences édaphoclimatiques

- Sol

Un sol de texture sableuse permet une germination des graines plus rapide et plus complète qu'un sol dans lequel la proportion d'argile plus limon atteint 60% (MONTENEZ, 1957). Un système racinaire fortement développé permet à l'arachide de s'accommoder d'un sol relativement pauvre mais qu'il soit meuble, léger et bien drainé afin de pouvoir y enfoncer facilement ses gynophores.

Le pH optimum est de 6,5-7,5. L'arachide est capable de se développer sur un sol dont le pH oscille entre 4 et 8, même jusqu'à 9. Le pH variant entre 4-5 favorise la germination (MONTENEZ, 1957).

- Climat

La moyenne optimale de température pendant la croissance se situant à environ 28°C. Les températures inférieures à 14°C sont défavorables aux plants et la gelée les tue (VAN DEN PUT, 1981).

Il semble que l'initiation florale ne dépend pas de l'action du photopériodisme et la sexualité de la plante est visible dès les premiers stades de développement de la plante.

On estime qu'il faut à l'arachide 500 à 1000 mm de pluies pendant la période de végétation (VAN DEN PUT, 1981). C'est pendant la floraison et la fructification que l'arachide a le plus grand besoin en eau. Le régime des pluies doit présenter une interruption afin de favoriser la maturation.

I.3.5. Contraintes liées à la production de l'arachide

Certaines maladies de l'arachide causent des pertes assez limitées et seules les maladies des organes aériens sont les plus graves. Les plus importantes sont la cercosporiose ou maladies des taches brunes et la rosette.

Pour le cas des ravageurs tout au long de sa croissance, l'arachide est attaquée par un assez grand nombre d'insectes dont la plupart sont polyphages (GILLIER et SILVESTRE, 1969).

I.3.6. Phytotechnie de la culture

Le terrain peut être labouré, soit après la culture précédente, soit immédiatement avant la culture d'arachide (GILLIER et SILVESTRE, 1969). Les semences choisies pour le semis doivent être décortiquées 10 à 15 jours

avant le semis. Si on le fait trop tôt, les graines se cassent. On devrait semer avant que la graine sèche (INADES, 1980).

D'une manière générale, les semis précoces sont les plus favorables (la maturité doit coïncider avec le début de la saison sèche).

Le semis est généralement effectué en début de la saison des pluies, à une profondeur de 5 à 7 cm (ANONYME, 1991). Selon VAN DEN PUT (1981), le semis à forte densité est indispensable pour lutter contre la rosette et pour assurer des bons rendements. Il est recommandé de ne mettre qu'une seule graine par poquet.

Pour les travaux d'entretien, le premier sarclage est important car la jeune plante est très sensible à la concurrence des adventices, il doit être effectué à la main sur la ligne à partir du quarantième jour, à ne pas déterrer les gynophores. En plus de deux binages qui sont indispensables, trois ou même quatre sont parfois nécessaires en année de forte pluviométrie (GILLIER, 1968).

Concernant la conservation, bien que les arachides fleurissent tôt, les graines ne mûrissent que trois à cinq mois, voire plus après la plantation. Lorsque 75% des gousses prélevées sur quelques plantes sont brun foncées à presque noires, il est temps de récolter.

Quand les conditions sont favorables, les variétés à haut rendement produisent jusqu'à 55T /ha d'arachides non décortiquées. (DEWALE et SWANEVELDER, 2001).

I.4. Cas du haricot

I.4.1. Origine et diffusion

La distribution des formes sauvages de *Phaseolus vulgaris*, les données archéologiques et les observations de nature morphologique et moléculaire, ont mis en évidence pour cette espèce l'existence de trois centres de diversité : le centre méso-américain, du Mexique au Panama, le centre Nord-andin, la Colombie, et l'Equateur et le centre Sud-andin, la Bolivie et le Nord-est de l'Argentine.

Après la découverte de l'Amérique par C. Colomb, le haricot commun a été diffusé dès le 16^e siècle vers d'autres régions, principalement aux Etats-Unis, Europe et Afrique tropicale, secondairement l'Afrique du Nord et l'Asie (RAEMAEEKERS, 2001).

I.4.2. Classification taxonomique

Le haricot commun, *Phaseolus vulgaris* L, appartient à la sous tribu des phaseolinae famille des papilionaceae ou fabaceae, et l'ordre des leguminasales (ou fabales). Le nombre chromosomique est $2n=22$.

On distingue deux habitus de croissance dont la croissance déterminée où les inflorescences sont en position axillaire sur la tige principale et les ramifications latérales (RAEMAEEKERS, 2001).

I.4.3. Description botanique

Le *Phaseolus vulgaris* est une plante herbacée annuelle avec un système racinaire pivotant caractérisé par de nombreuses ramifications latérales et adventices. La germination est épigée, les feuilles adultes, également stipulées et pétiolées sont alternes et trifoliolées. Les inflorescences ont l'aspect de grappes simples portant sur les rachis plusieurs fleurs géminées de couleur blanche, rose-pourpre ou violette. Les gousses sont linéaires, rectilignes ou plus fréquemment recourbées et terminées par un bec (RAEMAEEKERS, 2001).

I.4.4. Exigences édaphoclimatiques

- Sol

Le haricot préfère des sols bien drainés, suffisamment aérés, de pH 6,0 à 7,5 avec des seuils critiques de 5,0 et 8,1.

Les sols profonds de pente 25% et de charge graveleuse inférieure à 55% sont aptes à la culture du haricot ; les sols argilo-sableux conviennent le mieux à la culture du haricot (RAEMAEEKERS, 2001).

La culture du haricot ne tolère pas bien la toxicité aluminique qui atteint le seuil critique à partir des saturations aluminiques de 10 à 20% et pas du tout la toxicité saline dont le seuil critique est estimé de 1 à 2 ms/cm (TESSENS, 1993).

- Climat

Le développement optimal du haricot exige des précipitations mensuelles comprises entre 80 et 120 mm dès le semis jusqu'à la maturation.

Les précipitations mensuelles supérieures à 160 mm ou inférieures à 20 mm réduisent la production du haricot. De même, les précipitations inférieures à 40 mm lui sont néfastes. L'optimum des précipitations mensuelles descend à 40-60 mm pendant la période de maturation (GODDERIS, 1995).

Au cours du développement et lors de la floraison, une température moyenne mensuelle se situant entre 16 et 25°C est nécessaire. En dessous de 13°C, la croissance est fortement ralentie tandis que des températures supérieures à 30°C affectent défavorablement la production en gousses et en graines (RAEMAEEKERS, 2001).

L'insolation relative optimale pour la culture du haricot est comprise entre 50 et 60% pendant le développement végétatif mais s'élève à 70% lors de la maturation des fruits (GODDERIS, 1995). Le haricot commun est d'origine une plante de jours courts, mais les variétés sélectionnées en milieu tempéré fleurissent même en jours longs (16 heures). Les photopériodes longues peuvent agir sur le type de développement en transformant des variétés indéterminées à entre-nœuds courts en variétés volubiles (ANONYME, 2002).

1.4.5. Contraintes liées à la production du haricot

- Contraintes abiotiques

Parmi les contraintes limitant la production du haricot, les carences nutritives et les toxicités de certains éléments comme l'aluminium jouent un rôle prépondérant.

La carence en éléments minéraux est observée dans les conditions des sols acides, la solubilité et l'assimilabilité des éléments minéraux du sol qui sont fortement modifiées et le pH intervient dans le processus (FAO, 1987).

Quant à la toxicité aluminique d'après LANDA (1988), on présume que l'Aluminium réduit non seulement la disponibilité en Calcium, Magnésium et en Phosphore, probablement aussi en Potassium et en Azote qui sont les éléments majeurs dans la production des plantes surtout le haricot commun.

Les températures inférieures à 10°C et supérieures à 30°C sont particulièrement préjudiciables à la floraison, la fructification et la maturation. Outre que les vents violents occasionnent la verse, les vents secs dans les zones de basses altitudes et d'intermédiaires altitudes accentuent le flétrissement du feuillage (IMPENS, 1993).

- Contraintes biotiques

Parmi toutes les contraintes du milieu rural, les maladies (fongiques, bactériennes, virales etc.) et les ravageurs (mouche du haricot, puceron noir, chenilles foreuses des gousses etc.) constituent certainement une des entraves les plus sérieuses à l'amélioration et à l'intensification de la culture de la légumineuse.

L'incidence de chaque maladie varie d'une région à une autre, des pratiques culturales, de la résistance variétale ainsi que d'autres facteurs climatiques (VAN DEN PUT, 1981).

1.4.6. Phytotechnie de la culture

La préparation du terrain consiste en un labour profond de deux fers de houe qui vise le retournement de la couche de terre arable.

Ceci permet de détruire les mauvaises herbes et d'ameublir le sol afin de favoriser l'enracinement (RAEMAEEKERS, 2001). La graine constitue le matériel de semis habituel. On utilise une graine saine, viable, triée et séchée jusqu'à une teneur en eau de 12% au maximum pour éviter une détérioration pendant le stockage (GODDERIS, 1995).

Selon le même auteur, le semis du haricot au Burundi se fait pour la première saison fin septembre début octobre en haute altitude et en octobre en basse altitude pour éviter la pollution de la mouche du haricot qui attaque en cas de semis tardif (STANTON, 1970).

L'écartement dépend surtout du poids de 1000 graines, de la fertilité du sol et du type de croissance de la variété. Il est généralement recommandé de semer deux graines par poquet à un écartement de 20 cm dans la ligne et 40 cm entre les lignes (STANTON, 1970).

Selon que la fertilité est élevée, la densité de semis s'élève aussi. On utilise en général 60 à 120 kg de semences par ha pour les variétés naines et semi volubiles, et 70-80 kg /ha pour les variétés volubiles (FAO, 2001).

L'entretien des cultures est souvent très rudimentaire et consiste en quelques binages et sarclages après la levée et un léger buttage des plantes, trois semaines après le semis. Lors de la fertilisation, en culture traditionnelle, on conseille l'emploi du fumier, du compost, des résidus culturaux ou des cendres (RAEMAEEKERS, 2001).

La récolte se fait quand les gousses sont jaunes et sèches. Une récolte après la maturité physiologique réduit au minimum la contamination par les agents pathogènes et les pertes dues aux dommages physiques.

Si la récolte est effectuée trop tard, surtout en temps de pluies, la germination peut se produire dans les gousses et les graines peuvent pourrir au champ tandis que vers la fin de la deuxième saison culturale, les gousses trop sèches peuvent éclater et un grand nombre de graines peuvent être perdues (GODDERIS, 1995).

CHAPITRE II : APERCU SUR LES FACTEURS PEDOCLIMATIQUES

II.1. FACTEURS EDAPHIQUES

Le sol est un milieu complexe qui comprend des matières organiques, de l'humus, des éléments fins très réactifs (agricoles) des éléments grossiers siliceux ou calcaires, des composés à base de fer, de l'aluminium, de calcium, de l'eau et de l'air.

Le sol joue un rôle essentiel dans la nutrition des plantes car il retient la solution du sol, il fixe certains éléments nutritifs, il abrite les microorganismes qui contribueront à la transformation des éléments non assimilables en éléments assimilables par la plante. Chaque sol a ses propres caractéristiques physiques et chimiques et la disponibilité des éléments nutritifs en dépend en grande partie.

Source: [http: // agri.ifrance.com/ferti.htm](http://agri.ifrance.com/ferti.htm). (Janvier2010).

II.1.1. Propriétés physiques du sol

Les propriétés physiques des sols dépendent principalement de la texture et de la structure. Ces deux propriétés guident la totalité des caractéristiques physiques des sols, entre autre la porosité, la perméabilité, la densité, la consistance, la cohésion ainsi que le comportement des sols vis-à-vis de l'air et de l'eau. Elles conditionnent la dynamique de l'eau dans le sol, solvant par lequel les éléments biogènes sont véhiculés (KABURUNGU, 1981).

II.1.1.1. Grandes composantes du sol

Le sol est composé essentiellement de trois parties :

- Phase solide

La phase solide est constituée par les particules du sol qui sont l'argile, le limon, le sable, le gravier et les pierres. Les petites particules du sol résultent en grande partie de la décomposition des débris végétaux et ces particules s'associent directement à la quantité d'argile existante dans le sol pour former les aluminosilicates organiques.

- Phase liquide

La phase liquide du sol est constituée essentiellement de l'eau du sol et de la vapeur d'eau. L'eau et les vapeurs d'eau circulent dans de petits canaux du sol appelés « microporosités ». Certains auteurs définissent ces microporosités comme porosités capillaires.

- Phase gazeuse

La phase gazeuse du sol est constituée essentiellement de l'air (O_2 , CO_2 , N , CH_4 etc.) qui circule dans de petits canaux mais de dimensions supérieures aux microporosités. Ces canaux sont appelés « macroporosités » ou porosités non capillaires.

L'eau et l'air dans le sol sont antagonistes et l'eau tend toujours à chasser l'air dans le sol. Si les porosités capillaires dominent sur les porosités non capillaires, il y a l'hyperhydratation et la plante se développe difficilement à cause de l'absence de l'air dans le sol (BANDUSHUBWENGE, 2008).

II.1.1.2 Texture et structure du sol

- Texture du sol

La texture du sol est définie par sa teneur en particules de différentes dimensions (en dessous de 2 mm de diamètre). L'association Internationale des sciences du sol distingue généralement trois classes texturales de base :

- . Sable : classe composée par les particules dont le diamètre est compris entre 2 mm et 0,05 mm.

- . Limon ; classe composée par des particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 0,002 mm.

- . Argile : elle est formée par des particules dont le diamètre est inférieur à 0,002 mm.

Sur base des proportions relatives de ces particules, les sols sont dits sableux, sablo-limoneux, argileux, etc.

Les qualificatifs « légers » pour les sols sableux et « lourds » pour les sols argileux sont utilisés selon que des sols offrent ou non une facilité de travail (FAO, 1987).

- Structure du sol

La structure du sol est définie comme un arrangement spatial des particules minérales et leur éventuelle liaison par des matières organiques, des hydroxydes de fer ou d'alumine ou des deux. Le sol est constitué par des particules solides et des colloïdes qui sont d'une part les argiles et d'autre part les substances organiques (humus).

Ces colloïdes peuvent être électriquement neutres ou chargés négativement. L'assemblage de ces particules solides donne des unités structurales, séparées par des surfaces de moindre résistance.

En matière de fertilité du sol, la structure du sol corrige une texture défavorable, améliore l'espace poral, permet une rétention de l'eau du sol, un bon drainage et une aération du sol (MATTHIEU, 1987).

Une bonne structure en surface permet d'éviter l'érosion chimique (lessivage d'éléments fertilisants solubles) et physiques (transport de sols vers les parties les plus basses) et de faciliter le travail du sol (NORSKHYDRO, 1990).

II.1.2. Propriétés chimiques du sol

La fertilité d'un sol n'est pas une question d'ordre purement chimique, liée à la plus ou moins grande abondance des éléments nutritifs ; elle ne peut par conséquent être déduite d'une analyse chimique quelle que soit, considérée isolément.

Les propriétés chimiques défavorables peuvent être corrigées par apport d'engrais chimiques, d'amendements et ne devraient pas constituer un obstacle majeur dans l'utilisation des terres. Néanmoins, les propriétés chimiques conditionnent la nutrition minérale des plantes.

- Acidité du sol

L'acidité des sols est le commun des régions humides où les fortes précipitations provoquent un lessivage considérable des cations basiques échangeables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} et Na^{+}) et laissent place aux cations acides (Al^{3+} , H^{+}). Ces deux cations Al^{3+} et H^{+} sont responsables de l'acidité du sol.

- Acidification du sol et ses origines

L'acidification est l'un des mécanismes à l'origine de la formation des sols ; mais elle peut conduire, à long terme, à une quasi stérilisation des écosystèmes en raison en particulier de la présence d'ion aluminium défavorable pour le développement de nombreuses espèces vivantes (GIRARD et al, 2005).

Plus clairement, l'acidification des sols est un processus naturel lié à la transformation d'acides organiques et inorganiques par activité microbienne et à la perte d'éléments basiques (échanges d'ions) en relation avec le lessivage dû à des précipitations excessives (BOCKMAN et al, 1990).

Les précipitations ou les pluies induisent l'acidité dans les sols, parce que le dioxyde de carbone gazeux (CO_2) et l'eau (H_2O) dans la pluie réagissent pour former une solution d'environ pH 5,7. Le pH de l'eau des pluies peut varier selon les contributions à l'acidité des précipitations par le gaz tels que le Dioxyde de Soufre (SO_2), l'Ammoniac (NH_3) et les oxydes gazeux d'Azote

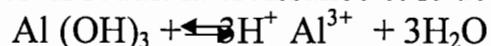
(NO_x), tels que l'Oxyde Nitrique (NO) et l'Oxyde Nitreux (N₂O), produits d'industrialisation.

La matière organique du sol est une source de CO₂ ; comme les micro-organismes dans le sol décomposant la matière organique du sol, le gaz libéré de la décomposition se combine avec l'eau dans le sol pour produire H⁺ et le bicarbonate (HCO₃⁻). Puisque le CO₂ produit par la décomposition des résidus organiques et par la respiration des racines est environ dix fois plus concentré que le CO₂ atmosphérique au-dessus de la surface du sol, l'acidité produite à partir du CO₂ du sol est plus grande que celle produite dans l'atmosphère. La matière organique contient aussi des acides organiques et les groupes carboxyliques et phénoliques réactifs qui sont sources d'acidité (H⁺).

La transformation et l'assimilation des éléments nutritifs par les plantes sont une source d'acidité du sol. Puisque la plupart des plantes captent plus des cations que d'anions, H⁺ est émis par les plantes et il en résulte un équilibre ionique, mais aussi une diminution en pH de la solution du sol. Une étude a montré que le pH de la solution du sol proche de la racine diminue de 7,5 à 5,5 quand les ions d'ammonium sont fournis comme source d'Azote (CRAWFORD et al, 2008).

Le lessivage qui est un mouvement d'eau de haut en bas à travers le sol, pousse les cations et les anions vers le bas. La neutralité électrique (équilibre des charges positives et négatives dans la solution du sol) doit être maintenue, et donc si les cations tels que le Na⁺, K⁺, Ca²⁺ et Mg²⁺ se dirigent vers le bas à un taux plus élevé que les anions tels que le Nitrate (NO₃⁻), le Chlorure (Cl⁻) et le Bicarbonate (HCO₃⁻), le pH dans la zone de la racine diminuera, car une nette augmentation en H⁺ se produira, maintenant la neutralité électrique de la solution du sol.

Les hydroxydes d'Aluminium et du Fer sont des sources de l'acidité du sol, car au fur et à mesure que le pH du sol diminue, l'hydroxyde d'Aluminium (Al(OH)₃) réagit avec H⁺ dans une réaction réversible, qui apporte une large proportion croissante d'Aluminium dans la solution du sol comme Al³⁺, qui est toxique aux plantes. Il réduit la croissance et le développement des racines.



Enfin, les engrais aussi peuvent être source d'acidité. Les taux élevés d'engrais appliqués en bandes dans les sols avec un pH inférieur à 5,0 peuvent résulter en un taux d'Al³⁺ soluble plus élevé, qui est toxique aux plantes, diminuant ainsi la croissance des plantes (CRAWFORD et al, 2008).

- Toxicité des sols

La toxicité de certaines formes solubles de l'Aluminium dans le sol constitue, par de nombreux auteurs, la principale cause des pertes de production des cultures dans les sols acides. Susceptible de se manifester lorsque le pH du sol devient inférieur à 5,5 ; elle intervient en réalité à de pH variable selon le type de sol, s'exprime avec une intensité variable selon l'espèce et la variété cultivée. Ainsi, la première fonction du chaulage est d'élever le pH du sol à un niveau où cette toxicité sera accentuée.

Les résultats obtenus dans les expérimentations de plein champ dans différents contextes pédoclimatiques français au cours des 25 dernières années, montrent en effet que les pertes de production importantes liées à l'acidité se situent sur le pH eau inférieur à 5,5.

Source : //195.101.239,47/ groupe-travail/. (Janvier 2010).

- Basicité des sols

La basicité est déterminée par la quantité des ions Sodium (Na^+) se trouvant sur des couches des complexes d'échanges. Le Sodium se trouve sous forme de sel dans la solution aqueuse du sol qui circule dans les porosités capillaires dissoutes dans l'eau capillaire ou dans l'eau salée se trouvant dans la nappe phréatique et peut quelque fois déborder à la surface du sol.

Bref, en pédologie, un sol basique correspond à un sol salé. On dit qu'un sol est salifère quand il contient plus de 0,2% de sels solubles dans l'eau (sels hydrosolubles). Ces sels sont surtout NaCl , Na_2SO_4 , NaHCO_3 , Na_2CO_2 (ANONYME, 1991).

- Effets de l'acidité des sols sur la productivité des cultures

Les effets de l'acidité des sols, de l'acidification, ainsi que du chaulage peuvent être classés en trois principales catégories qui ne peuvent pas être toujours bien distinguées : la disponibilité des éléments nutritifs et des éléments toxiques, l'activité biologique et la structure du sol.

Dans les sols acides, il y a des problèmes de déficience en éléments nutritifs des plantes et de toxicité de trois éléments (Al, Mn et H). L'eau est essentielle pour la vie des plantes comme solution du sol parce qu'elle apporte tous les éléments nutritifs à travers un flux en masse et / ou une diffusion vers les racines.

Dans les sols acides, en dessous de pH 5,5 ; la nitrification est sévèrement réduite. Le résultat est que l'Azote dans le sol devient moins disponible aux plantes.

A un pH du sol < 5 , la nitrification et la minéralisation (conversion de l'Azote de molécules organiques en formes inorganiques par l'activité microbienne) sont diminuées, rendant ainsi l'Azote moins disponible aux plantes.

Plusieurs autres éléments nutritifs essentiels qui sont présents dans le sol comme cations sont déficients dans les sols acides avec un pH $< 5,0$ et un faible pourcentage de saturation en base ; le pourcentage de CEC qui est occupé avec Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} et Na^{+} échangeables. La correction des déficiences en éléments nutritifs dans les sols acides peut être réalisée par chaulage, addition de matière organique et fertilisation avec des engrais minéraux (CRAWFORD et al, 2008).

II.1.3. Propriétés biologiques du sol

Le sol est un milieu biologique constitué entre autre par une faune, une flore, une microflore et une microfaune (bactéries, algues, champignons, vers de terre, etc.) qui influencent le développement des plantes : la circulation des organismes vivants améliore la porosité et l'aération du sol ; les microorganismes du sol assurent l'humification et la minéralisation de la matière organique. Celle-ci sert de support et d'aliment à l'activité biologique (KABURUNGU, 1981).

De plus, les différentes populations et leurs activités varient avec le type de sol, les conditions de température et la disponibilité en eau. Cependant, les populations des microorganismes incorporent les éléments dans leurs cellules.

L'humus est formé puis décomposé ; les populations d'organismes pathogènes ou parasites se maintiennent ou diminuent ; ces microorganismes permettent aussi le brassage des horizons et l'aération du sol (KAOURITCHEV et COLL, 1983).

II.1.4. Fertilité des sols

La notion de fertilité du sol est difficile à établir. Sa complexité est liée aux interactions entre les différents éléments qui la composent. Souvent, on la définit à partir d'éléments nutritifs présents dans le sol sous leur forme disponible pour la plante ou à l'aide des rendements des plantes qui y sont cultivées. C'est aussi une conception simpliste, car elle oublie plusieurs facteurs

extrinsèques qui entrent dans la fertilité du sol comme le climat, les techniques culturales, etc.

La fertilité naturelle peut être faible ou élevée, sous exploitée ou correctement utilisée et est fonction de plusieurs facteurs, notamment :

- la disponibilité d'eau, d'Oxygène et d'éléments nutritifs ;
- la capacité de retenir les éléments nutritifs ;
- les conditions favorables d'enracinement ;
- l'absence des sels et de toxicité ;
- la facilité de travailler le sol ;
- et le danger d'érosion (NIZIGIYIMANA, 1986).

En outre, la fertilité d'un sol est l'aptitude de la terre à assurer, de façon régulière et répétée, la croissance des cultures et l'obtention des récoltes.

Elle est la résultante des diverses composantes (chimiques, physiques et biologiques) du sol qui interviennent dans l'approvisionnement des plantes en eau et en éléments nutritifs.

Son amélioration ou son maintien se fait essentiellement par l'apport de matière fertilisante (organique ou minérale). Cet apport a comme principaux effets :

- . De corriger le pH du sol ;
- . D'assurer une réserve suffisante d'éléments minéraux assimilables.

II.1.5. Fertilisation du sol

Un sol sur lequel pousse une plante s'épuise progressivement en éléments minéraux et ses propriétés chimiques subissent une évolution dans le temps. Ainsi, pour garder une bonne fertilité du sol, il faut lui restituer ce que la plante a retiré pendant sa croissance. Ceci se fait par un apport d'éléments fertilisants sous la forme organique ou minérale. L'apport d'éléments fertilisants peut se faire dans le but d'entretenir ou de corriger la fertilité du sol (ISABU, 2002).

- Fumure de correction

Il s'agit d'un rééquilibrage ionique du complexe absorbant en apportant au sol, peu fertile, les éléments carencés en quantité suffisante et sous leur forme labile. L'amendement organo- minéral du sol est fait dans le but de neutraliser l'acidité du sol, l'Aluminium échangeable.

Le rééquilibrage de la balance cationique et l'augmentation des doses de Phosphore pour composer le pouvoir fixateur du sol pour cet élément constituent les exemples de cette fumure (GROS, 1979).

- Fumure d'entretien

La fertilisation des cultures dans les sols équilibrés à bonne fertilité, doit restituer les éléments minéraux exportés par les récoltes et ceux perdus par lixiviation, érosion, ruissellement, volatilisation, etc.

En se basant sur l'exportation des éléments, la quantité à apporter par la fumure dépend du niveau des rendements escomptés et tient compte ainsi des besoins spécifiques des cultures et des particularités pédoclimatiques. On parle dans ce cas de fumure d'entretien (GROS, 1979).

- Chaulage dans la correction de l'acidité du sol

Le chaulage est une des premières étapes dans la mise en valeur des sols acides. Ceci est très important pour le Burundi où les étendues de terre non négligeables sont affectées par la toxicité aluminique et où l'abandon de pratiques de jachères s'est presque généralisé dans les régions densément peuplées et où la population devra faire face, à court et à long terme, à une dégradation accélérée de la fertilité des terres (WOUTERS, 1991).

Le chaulage est d'autant plus intéressant que la quantité de fumier produit dans le pays est insuffisante pour couvrir les besoins des terres cultivées alors que les réserves calco-magnésiennes sont abondantes.

On attribue à un chaulage pour les deux principales utilisations :

- . Amélioration des propriétés agro-chimiques du sol ;
- . Apport des éléments minéraux nécessaires à l'édification des plantes principalement le Ca et le Mg.

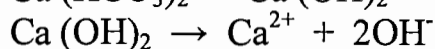
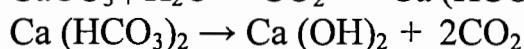
- Action de la chaux sur un sol acide.

La chaux se définit comme la variété physique ou chimique sous laquelle se présente l'oxyde de Calcium (Magnésium) soit à l'état d'oxyde plus ou moins pur $\text{CaO}(\text{MgO})$ soit sous forme d'hydroxyde obtenu après hydratation soit en mélange avec les éléments argileux (WOUTERS, 1991).

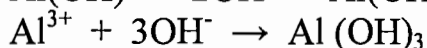
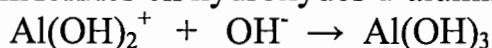
L'addition de la chaux permet une augmentation du pH, diminue plusieurs problèmes des sols acides notamment la toxicité aluminique et la lente activité microbienne.

La chaux réagit avec le CO_2 de la solution du sol et le neutralise. Le CaCO_3 insoluble dans l'eau se transforme en bicarbonate soluble qui est un sol alcalin dont voici la réaction :





Les ions OH^- se combinent aux ions H^+ et Al^{++} échangeable qui sont alors neutralisés ; il en résulte une augmentation du pH. Tous les cations alumineux sont transformés en hydroxydes d'aluminium insolubles.



Le chaulage a une action bénéfique sur la toxicité aluminique qui s'expliquerait aussi par l'antagonisme que présente le Calcium vis-à-vis de l'Aluminium échangeable qui l'empêcherait de traverser les membranes absorbantes des racelles.

En outre, le chaulage augmente la disponibilité du phosphore qui, en sols acides, se combine au Fer et Aluminium en formes insolubles. La chaux diminue la solubilité du Fer et d'Aluminium et par conséquent, une faible quantité de Phosphore ajouté aux sols se combine avec les cations et la plante en profite (BOYER, 1978).

II.1.6. Disponibilité pour la plante

- Disponibilité en eau

L'influence de la disponibilité en eau sur les cultures se manifeste à travers les effets du manque d'eau sur la croissance et éventuellement par la mort de la plante par dessèchement.

Le manque d'eau se fait sentir quand l'eau du sol dans la zone racinaire tombe nettement au-dessous de la capacité au champ. La plante peut en souffrir soit dans sa croissance végétative soit dans sa fructification.

Le degré d'humidité à partir duquel la plante commence à souffrir du manque d'eau varie selon les cultures. Le risque de sécheresse implique que la culture périra si l'eau du sol tombe au point de flétrissement au-delà d'une certaine durée (DOORENBOS et KASSAM, 1979).

La disponibilité en eau dépend du climat, du sol, des formes de relief et de l'hydrologie. Le premier élément déterminant est le rapport entre les précipitations et l'évaporation potentielle. Le déficit hydrique lié au climat est compensé par la capacité du sol à emmagasiner l'eau.

Cette capacité est plus faible dans les sols sableux et/ou peu profonds, et plus élevée dans les limons profonds ou des argiles bien structurées (FAO, 1970).

- Disponibilité des éléments nutritifs nécessaires à la plante pour sa croissance

Pour se développer, la plante exige 17 éléments nutritifs. Elle les extrait dans l'air, dans l'eau et les minéraux du sol (ou de la matière organique).

1° De l'air et de l'eau du sol : le Carbone (C), l'Hydrogène (H), et l'Oxygène (O) ;

2° Du sol et des engrais minéraux et organiques : l'Azote (N), le Phosphore (P), le Potassium (K), le Calcium (Ca), le Magnésium (Mg), le Soufre (S), le Fer (Fe), le Manganèse (Mn), le Zinc (Zn), le Cuivre (Cu), le Bore (B), le Molybdène (Mo) le Chlore(Cl) et Nickel(Ni).

Ces éléments sont des pierres de l'édifice de millions de minuscules cellules qui constituent la plante. D'autres éléments chimiques sont aussi absorbés mais ne sont pas indispensables (FAO, 1970).

Les engrais, le fumier et les résidus des récoltes sont appliqués au sol pour fournir davantage d'éléments nutritifs aux plantes. Ces éléments sont classés en trois catégories en fonction de la quantité d'éléments nutritifs nécessaires et aussi sur le caractère plus ou moins indispensable de l'addition des éléments. Les sols peuvent être pauvres en ces éléments, soit naturellement, soit du fait des prélèvements par les cultures.

▪ **Eléments principaux** : l'Azote, le Phosphore et le Potassium sont classés dans cette catégorie parce que ce sont des éléments dont le besoin se fait sentir le plus souvent en quantité plus grande. Ils sont apportés soit sous forme d'engrais, soit sous forme de fumier.

▪ **Eléments secondaires** : Calcium, Magnésium et Soufre sont nécessaires en quantités moyennes ou faibles mais jouent un rôle important dans la formation des tissus végétaux.

▪ **Eléments mineurs ou oligo-éléments** : les besoins en ces éléments sont infimes. Ils font partis des substances clés de la croissance des plantes (FAO, 1970).

- Relation eau-sol-plante.

L'alimentation du végétal est sous la dépendance de l'économie en eau du sol et des mouvements de l'eau dans le sol. Une observation courante montre que les plantes se fanent dans les sols dont la teneur en eau est très différente.

Dans un sol léger, la teneur en eau peut être très faible sans qu'il y ait fanaison, dans un sol argileux, il y aura flétrissement alors que la teneur en eau est encore très appréciable.

D'autre part, les racines absorbent l'eau du sol à leur contact immédiat, ce qui implique un transport d'eau du sol plus humide vers le sol plus sec. Ce transport peut se faire plus ou moins rapidement (LOUDELOUT et FRANKART, 1974).

La teneur en eau disponible est égale à la teneur en eau à la capacité au champ diminuée de la teneur en eau au point de flétrissement ultime. Le point de flétrissement, permanent correspond, quelque soit le sol, à un $pF = 4,2$. Mais à ce pF , la teneur en eau varie beaucoup selon la texture et cette teneur est d'autant plus élevée que le sol a plus d'éléments fins. La capacité de rétention a par contre un pF qui varie avec la texture. Son pF est d'autant plus élevé que la texture est fine (DUCHAUFFOUR, 1965).

II.2. FACTEURS CLIMATIQUES

Le climat vient du mot grec « Κλίμα » qui signifie « inclinaison » c'est-à-dire l'obliquité d'une région de la terre par rapport au soleil. Plus clairement, le climat est un ensemble des phénomènes météorologiques (températures, pression atmosphérique, vents, précipitations) qui caractérisent l'état moyen de l'atmosphère et son évolution à un lieu donné.

Source : [http : //exergie.free.fr / définition % 20climat.htm](http://exergie.free.fr/d%C3%A9finition%20climat.htm). (Mars 2010)

II.2.1. Conditions écologiques de l'agriculture

Le développement des plantes cultivées et de façons culturales dépendent pour beaucoup du climat, du relief, du sol et d'autres facteurs externes qui exercent une influence directe ou indirecte sur la plante elle-même et sur la pratique agricole. L'effet économique de l'agriculture y dépend dans une grande mesure des conditions de croissance externes, sans les négliger lors de la production des plantes cultivées (EUVERTE, 1996).

- Rayonnement solaire

L'intensité d'éclairage du jour et la qualité de la lumière dépendent de la présence de vapeur d'eau atmosphérique qui affaiblit la lumière directe et diffusée, constitue la radiation globale dont l'intensité dépend de la latitude du lieu, de la saison, de la transparence de l'atmosphère ainsi que de la nébulosité de la région.

La répartition dans le temps et dans l'espace des valeurs sommairement mensuelles moyennes du rayonnement solaire dépend de la latitude et de la longitude du lieu (EUVERTE, 1996).

- Régime thermique de l'air et du sol

Parmi les facteurs écologiques de la plante, le régime thermique, qui se détermine par les températures moyennes, minimales et maximales ainsi que la somme des températures diurnes et nocturnes au-dessus de 10°, 15° et 20° C joue un rôle de tout premier ordre pour la croissance et le développement des végétaux, ainsi que pour toute l'agriculture.

Sous un climat tropical, les fluctuations thermiques annuelles sont moins importantes que celles de la zone tempérée. Les températures moyennes diurnes et nocturnes au dessus de 10, 15, 20 et 25° C présentent un intérêt particulier pour la pratique de l'agriculture (EUVERTE, 1996).

- Pluviométrie et humidité relative de l'air

Sous un climat tropical, la quantité de précipitation et leur répartition ainsi que l'humidité relative de l'air atmosphérique ont une importance primordiale pour l'agriculture de cette zone.

Le climat de l'Afrique se distingue par une répartition de précipitation très irrégulière. La zone humide occupe 36%, la zone semi-aride 22%, la zone aride 26%, la zone désertique 16% de la surface continentale.

La pluviométrie annuelle varie de 10 à 50 mm (zone désertique) à 3000 mm et plus (régions équatoriales). La pluviométrie annuelle la plus basse de 0-10 à 100-200 mm est enregistrée dans la zone désertique tropicale.

L'indice important de la réserve d'eau utile pour les plantes est la répartition de la pluviométrie au cours de l'année qui, sur la plus grande partie du territoire africain, a un caractère saisonnier bien prononcé qui s'accroît avec la réduction de la quantité de précipitation et en s'éloignant de part et d'autre de l'équateur.

Dans certaines régions d'Afrique tropicale, la répartition de la pluviométrie est plus ou moins régulière au cours de l'année. La principale période pluvieuse se situe en Février-Mai, la 2^{ème} en Octobre-Novembre (EUVERTE, 1996).

II.2.2. Aléas climatiques

Quand on parle de risque de gelées, on pense aux dégâts que celles-ci peuvent causer aux cultures. Certaines cultures peuvent être abîmées si la température descend pendant quelques heures à peine, légèrement en dessous de 0° C.

A contrario, d'autres ne souffrent pas du gel à moins d'être exposées au froid pendant des périodes plus longues et/ou à des températures plus basses, moins trois degrés par exemple. Les dégâts peuvent toucher les fleurs et les fruits, ou dans le cas des plantes physiologiquement inaptes à supporter le gel, comme nombre des cultures tropicales ; ils peuvent attaquer les parties végétatives et entraîner la mort de la culture.

Quand on parle des risques d'orage, on évoque la probabilité que des vents violents, de fortes précipitations, la grêle ou une combinaison de ces phénomènes, endommagent les cultures. L'exposition, qui dépend des formes de relief, peut jouer un rôle important en provoquant des variations locales d'intensité des phénomènes orageux.

Les orages peuvent endommager les cultures en faisant tomber les fleurs et les fruits, en abîmant les feuilles, en cassant les troncs et même en déracinant les arbres. Il arrive que les céréales soient couchées à terre (FAO, 2001).

DEUXIEME PARTIE : EXPERIMENTATION

CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES

III.1. DESCRIPTION DES SITES DE L'ETUDE

La figure 1 montre la carte des régions naturelles et provinces du Burundi.

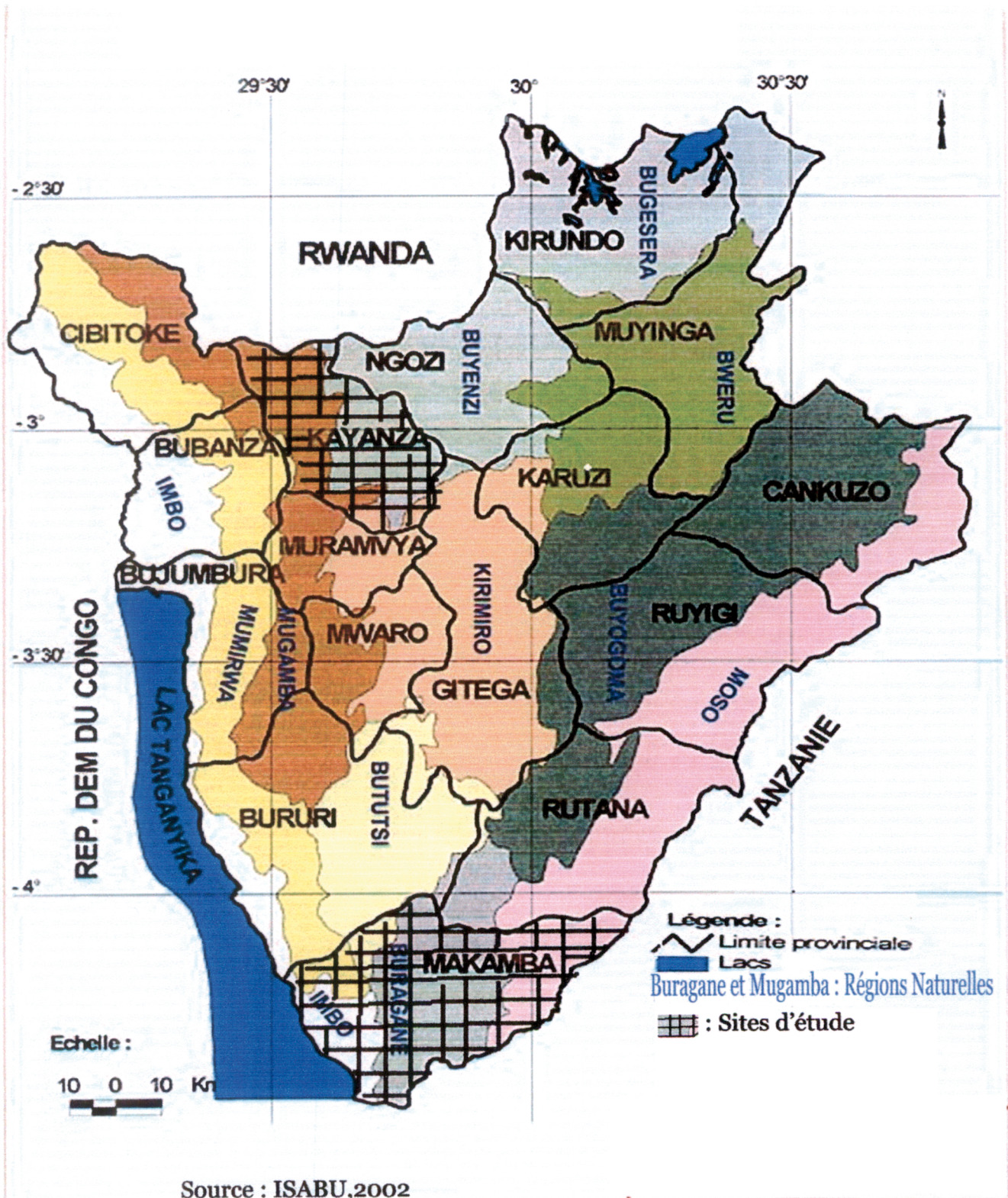


Figure 1 : Carte des régions Naturelles et Provinces du Burundi

III.1.1. Situation géographique

Les sites d'expérimentation se trouvent dans les régions naturelles de Mugamba et Buragane.

Les collines de Kirehe, Muganza et Rwagongwe se situent respectivement dans les communes de Kabarore, Matongo et Muruta en province Kayanza. Cette dernière se trouve dans la région naturelle de Mugamba à une altitude de 2 120 m.

Située au Nord du Burundi, la province Kayanza se trouve entre 2°47'16" et 3°13'78" de latitude Sud et 29°25'11" et 29°55'95" de longitude Est.

Sa superficie de 1 233,24 km² ne représente que 4% de la superficie du Burundi, ce qui lui confère la 11^{ème} position sur le plan du pays. Elle est limitée au Nord par la République du Rwanda, à l'Ouest par les provinces Cibitoke et Bubanza, au Sud et au Sud-est par les provinces Muramvya et Gitega et à l'Est par la province Ngozi.

Source : [http : www.leburundi.net/ download/Kayanza/description-physique.pdf](http://www.leburundi.net/download/Kayanza/description-physique.pdf). (Aout 2010).

En outre, les collines de Rusovu en commune Kibago et Butare de la commune Kayogoro se localisent en province Makamba. Celle-ci se trouve dans la région naturelle de Buragane à une altitude comprise entre 1 500 m et 2 500 m. La province de Makamba est située au Sud du Burundi entre 4° et 4°28' de latitude Sud et 29°32' et 30°11' de longitude Est. Elle est frontalière à la Tanzanie au Sud, les provinces de Bururi et Rutana au Nord et le lac Tanganyika à l'Ouest. La province de Makamba couvre une superficie de 1 929 km², soit 7,04% de la superficie totale du pays. Elle s'étend sur cinq régions naturelles à savoir : le

Figure 1 : Carte des régions Naturelles et Provinces du Burundi

III. 1. 2. Population

La province Kayanza compte une population de 514 075 habitants, soit 6,7% de la population du Burundi. Cette population se répartit sur une superficie de 1 233,24 km², soit une densité de 417 habitants/km². Les communes Kabarore, Muruta et Matongo sont les moins densément peuplées. Les communes Kayanza et Gataru sont les plus peuplées. La taille moyenne des ménages est de 6 enfants.

Les tableaux 1 et 2 montrent la population et la densité de population de la province par commune.

Tableau 1 : Population et densité de population de la province Kayanza par commune

Commune	Population totale	Superficie en km ²	Densité (hab/Km ²)
Butaganzwa	48 690	103,38	471
Gahombo	34 585	80,64	429
Gatara	55 011	103,96	529
Kabarore	50 371	200,12	252
Kayanza	72 613	122,36	593
Muhanga	60 362	128,9	468
Matongo	63 213	167,8	377
Muruta	51 239	147,08	348
Rango	78 021	179	436
Totale.province	514 105	1233,24	417

La population de la province Makamba est estimée à 485 401 habitants en 2005 soit 6,4% de la population totale du pays. La population de la province se répartit sur une superficie de 1 959,60 km² soit une densité de 248 habitants/km².

Les communes Kayogoro, Kibago et Mabanda sont les moins peuplées tandis que les communes Makamba, Nyanza-lac et Vugizo sont les plus peuplées.

Tableau 2 : Population et densité de population de la province Makamba par commune

Commune	Population totale	Superficie en km ²	Densité Hab/Km ²
Kayogoro	86 655	442,16	196
Kibago	50 559	281,58	180
Mabanda	56 749	294,94	192
Nyanza-lac	102 224	384,98	266
Vugizo	64 627	230,86	280
Makamba	124 587	325,08	248
Totale.province	485 401	1 959,6	248

III.1.3. Conditions physiques

III.1.3.1. Climat

Dans Kayanza, le climat est déterminé par les régions naturelles dans lesquelles se trouve cette province. Cette province est à cheval sur trois régions naturelles à savoir Buyenzi, Kirimiro et Mugamba qui fait l'objet de l'étude et dont les caractéristiques sont les suivantes : La région naturelle de Mugamba a une altitude moyenne comprise entre 1 900 et 2 500 m avec un climat aux températures variant entre 14 et 15° C et une pluviométrie moyenne annuelle comprise entre 1 300 et 2 000 mm.

C'est une région au relief montagnard avec des pentes allant jusqu'à 50°. La région de Mugamba Nord englobe toute la commune Muruta ainsi qu'une grande partie des communes Kabarore et Matongo.

Tandis que le climat de la province Makamba est déterminé par les 5 régions naturelles dans lesquelles se trouve la province. La plus grande partie de la province se compose des régions naturelles de Buragane (906 Km²), du Moso (458,1 km²) et de l'Imbo (350,1 km²). Les deux autres régions naturelles occupent respectivement 141,9 Km² pour le Mumirwa et 103,5 Km² pour le Bututsi.

Le climat est rude dans le Mumirwa et le Bututsi. Il est doux dans le Buragane et chaud dans le Moso et Imbo. Les pluies sont généralement abondantes pendant la saison humide qui s'étale entre Octobre et Avril. La saison sèche dure 3 à 4 mois en général, elle est plus prononcée dans les zones basses. Les températures les plus élevées sont comprises en Août-Septembre et en Octobre avec une faible variation des températures mensuelles et de forts écarts diurnes.

Source : http://www.leburundi.net/download/makamba/description_physique_démographie.pdf. (Août 2010).

III.1.3.2. Topographie

La topographie de la région naturelle de Mugamba est décrite en trois phases selon le lieu où l'on se tient.

- Paysage à un relief accidenté, formé d'un ensemble de collines à sommets subtabulaires et à versants faiblement incisés constitués par une alternance de larges formes concaves et convexes à pente modérée à assez forte. Ces collines

se prolongent localement par des promontoires à sommets arrondis et à versants généralement plans.

- Paysage faiblement accidenté, constitué de collines à sommets subtabulaires et à versants plans à pente modérée à assez forte auxquelles se raccrochent des promontoires à sommets légèrement arrondis et à versants où se dessinent une succession de formes concaves et convexes à pente forte.

- Paysage vallonné, formé d'un ensemble de basses collines à sommets subtabulaires et à versants asymétriques généralement plans, adossé localement à des crêtes lithosoliques par des promontoires à sommets légèrement arrondis et à versants plans d'inclinaison modérée à assez forte.

Pour la région naturelle de Buragane, la description succincte des paysages types de cette région est aussi faite en trois étapes :

- Paysage à relief accidenté, formé de hautes collines à sommets étroits prolongés par des promontoires à sommets aigus ou subtabulaires et à versants très incisés d'inclinaison forte.

- Paysage à relief ondulé, constitué de basses et à moyennes collines à sommets légèrement par des promontoires, à sommets aigus ou subtabulaires et à versants très incisés d'inclinaison.

- Paysage accidenté, adossé localement à des crêtes lithosoliques, formé d'un ensemble de collines incisées à sommets subtabulaires et à versants constitués d'une alternance de formes concaves et convexes d'inclinaison forte (SOTTIAUX et Al, 1980).

III.1.3.3. Végétation

La végétation de la région naturelle de Mugamba est une formation forestière relictuelle de forêt ombrophile de montagne, et de *Bambousaie* à *Arundinaria alpina*.

La formation secondaire est de savane arbustive à *Hyparrhenia diplandra* et *Pteridium aqualinum* et de savane à *Exothea abyssinica*, évoluant vers une pâture à *Eragrostis racemosa*, *Hyparrhenia bracteata* et *Loutetia simplex*.

Tandis que dans la région naturelle de Buragane, la végétation est constituée de formations secondaires telles que la forêt claire à *Brachystegia*, savane arbustive à *Hyparrhenia diplandra* et *Pteridium aqualinum* et à savane arbustive *Acacia sieberiana* à strate herbacée dominée par *Pennisetum purpureum* et *Panicum maximum* et savane à *Exothea abyssinica* évoluant vers une pâture à *Eragrostis racemosa*, *Hyparrhenia bracteata* et *Loutetia simplex* (SOTTIAUX et AL, 1980).

III.1.3.4. Hydrologie

La province Makamba s'inscrit dans le bassin versant du Congo. Elle dispose d'un réseau dense de rivières de petite et moyenne importance dont certaines à l'Ouest sont directement tributaires du lac Tanganyika, alors qu'à l'Est du couloir montagneux, le réseau hydrographique est alimenté par les affluents de la Malagarazi qui se jette également dans le lac Tanganyika.

Le tableau 3 montre les principaux cours d'eau de la province par commune.

Tableau 3 : Principaux cours d'eau de la province Makamba par commune.

Commune	Cours d'eau
Kayogoro	- Malagarazi, Mutsindozi, Nyakabanda, Mushihazi, Kirombwe.
Kibago	- Malagarazi, Nyarububi, Nyaruhandazi, Nyempande, Rubarantwa, Nyabitso
Mabanda	Mushwabure, Mushishi, Malagalazi, Mugombwa, Mushara, Mukombwe, Nyagatwenzi, Gisogo,
Makamba	- Mutsindozi, Buyezi et Mukozire
Nyanza-lac	- Kavungerezi, Rwaba.
Vugizo	- Nyabikere, Nyengwe

Source : http://www.leburundi.net/download/makamba/description_physique_démographie.pdf. (Août 2010).

Hydrologiquement, la province Kayanza est traversée par la crête Congo-Nil orientée vers le Nord, parallèlement au lac Tanganyika. A l'Est de cette chaîne, le relief décroît graduellement par paliers successifs formant un plateau découpé en une mosaïque de collines. Ce plateau est entaillé par deux réseaux de rivières appartenant au bassin du Nil. Le premier, constitué par la Mwogere et la Kayave, se dirige vers le Nord-Est et vient gonfler l'Akanyaru ; le second, orienté vers l'Ouest-Est, est formé par la Ruvubu et ses premiers affluents à savoir la Nyawisesera et la Gitazi.

Source : http://www.leburundi.net/download/Kayanza/description_physique.pdf. (Aout 2010).

III.1.4. Conditions socio-économiques

III.1.4.1. Kayanza

La province Kayanza possède un potentiel de développement très varié. Sa position géographique par rapport au Rwanda, son relief, son climat et son réseau de transport et de communication constituent des facteurs évidents pour son développement socio-économique.

La position géographique de la province par rapport au Rwanda et l'existence d'un réseau routier important permet le développement du trafic commercial. L'altitude de la province n'est pas accidentée ce qui est favorable au tracé des voies de communication.

La province Kayanza se trouve à cheval sur trois régions naturelles à savoir le Buyenzi, le Mugamba et le Kirimiro et est caractérisée par un climat tropical doux, favorable à la bonne production de plusieurs cultures : blé, le caféier, le théier, pomme de terre, manioc, patate douce, etc.

La disponibilité des superficies importantes des marais ($\approx 3\,205$ ha de marais aménageables) constitue une autre possibilité d'extension des terres à emblaver notamment pour le développement de la culture du riz, légumes et des activités piscicoles. La production très élevée du café constitue une source de revenus de la plupart des ménages de la province.

Les conditions agro-écologiques de la province permettent le développement de l'horticulture, la fruiticulture et les cultures maraîchères. Kayanza est favorable à l'élevage du gros et petit bétail. La présence d'arbres à fleurs constitue un atout pour le développement de l'apiculture.

Les infrastructures sanitaires-vétérinaires (23 couloirs d'aspersion, 6 dipping-tanks ; 11 pharmacies vétérinaires, 1 centre de santé vétérinaire) bien qu'en mauvais état contribuent au développement de l'élevage.

Le potentiel forestier est relativement important dans la province pour la production du bois de chauffage, du charbon de bois, du bois d'œuvre. Il existe dans la province 10 000 ha de forêt naturelle et 4 561 de forêt artificielle.

La province est développée dans le domaine de l'artisanat comme le montre le nombre d'artisans et d'unités recensées dans les domaines variés tel que la menuiserie, la couture, la vannerie, le tissage, etc.

La province dispose d'un nombre important des structures spécialisées des ministères ; Agriculture et Elevage, Santé, Education, Justice, etc.

Source: http://www.leburundi.net/download/Kayanza/peerspectiv_developpement.pdf. (Août 2010).

III.1.4.2. Makamba

La province Makamba dispose d'un potentiel de développement très varié. Elle est aussi agricole que pastorale. Sa position géographique par rapport au lac Tanganyika, son appartenance à cinq régions naturelles, son relief, son climat et son réseau de transport (routier et lacustre) et communication lui confèrent des facteurs propices à son développement socio-économique. Les principaux indicateurs favorables au développement de la province sont à noter.

La position géographique de la province par rapport à la Tanzanie et à la République Démocratique du Congo, l'existence d'un réseau routier et lacustre important permettent le développement du trafic commerciale aussi bien avec d'autres provinces que les pays limitrophes.

Le relief de la province est escarpé avec un grand potentiel hydrique ce qui est favorable à l'alimentation en eau par gravité et à la production de l'électricité. De son climat, la province s'étend sur cinq régions naturelles (Imbo, Mumirwa, Buragane, Moso et Bututsi) aux climats favorables aux différents types de cultures vivrières et de rente).

La disponibilité des superficies importantes des marais ($\approx 1\,785$ ha) constituent une autre possibilité d'extension des terres à emblaver notamment pour le développement de la culture du riz et des étangs piscicoles. La production très élevée du poisson constitue une source de revenus de la plupart des ménages de la commune riveraine du lac Tanganyika. Les conditions agro-écologiques de la province permettent le développement de l'horticulture, la fruiticulture et les cultures maraîchères.

Dans le domaine pastoral, les climats du Buragane et du Bututsi sont favorables à l'élevage du gros et petit bétail. La présence des arbres à fleurs constitue un atout pour l'apiculture. Les infrastructures sanitaires-vétérinaires en mauvais état peuvent être réhabilitées et contribuées au développement de l'élevage.

Le potentiel forestier est relativement important dans la province pour la production du bois de chauffage, du charbon de bois, du bois d'œuvre, etc. La province en effet, se développe progressivement dans le domaine de l'artisanat et d'unités recensés dans les domaines variés tels que la menuiserie, la couture, la vannerie, le tissage, etc.

Source :

http://www.leburundi.net/download/makamba/description_physique_démographie.pdf. (Septembre 2010).

III. 2. MATERIEL

III. 2. 1. Matériel végétal

Le matériel végétal qui a fait l'objet de notre expérimentation a porté sur les semences ou les plançons donnés par le projet IFDC CATALIST aux paysans choisis qui font tout pour améliorer leurs propriétés selon les observations faites dans leurs champs. Ces semences ou plançons sont donnés à condition qu'ils soient remboursés par après. A Kayanza sont distribuées des semences de blé et plançons de pomme de terre tandis qu'à Makamba ce sont des semences de haricot et d'arachide.

III. 2. 2 Autre matériel utilisé

Pour mieux faire notre étude, une large gamme de matériels divers a été appâtée. Il s'agit notamment des sachets transparents de 20*10 cm, marqueur, deux bassins de couleurs différentes, des carnets de terrains, stylos, une tarière (ou sonde de terre) graduée de 0-20 cm et 20-40 cm, des gros papiers pour le séchage et des parcelles de 10 ares chacune pour l'exploration de la terre.

III.3. METHODOLOGIE

III.3.1. Considérations générales sur les champs d'expérimentation

Les pratiques culturelles rencontrées en milieu rural, les conditions du terrain (aptitude du sol à produire), sa fertilité, les variations climatiques diffèrent d'une région à une autre, d'un sol à l'autre, d'un milieu à un autre, de la participation de l'agriculteur, etc.

L'étude a porté sur les tests participatifs avec l'agriculteur choisi qui offre son propre terrain en vue de l'évaluation de son sol. Le paysan bénéficiaire utilise les intrants agricoles donnés par le projet IFDC CATALIST sous la supervision d'un agronome qui fait le suivi.

C'est pourquoi nous avons exploré une quantité de terre pour faire les analyses physico-chimiques du sol afin de connaître le sol à chaque terrain choisi.

III.3.2. Choix du paysan et du terrain

1. Le paysan choisi est celui qui accepte très volontairement de collaborer pour l'application des recommandations de CATALIST.
2. Le paysan devra être celui qui fournit de l'effort pour améliorer sa propriété malgré son faible rendement.
3. Le choix doit être spontané. L'agronome qui fait la sensibilisation, choisit les agriculteurs d'opinions qui voient rapidement l'intérêt de ce travail et acceptent une collaboration franche.

III.3.3. Choix du terrain

De ce fait, le terrain est choisi aléatoirement comme de bons sols ou de mauvais sols. Nous avons 6 producteurs pour chaque cas à analyser (Province Makamba et Kayanza).

Le terrain d'expérimentation est un champ de 10 ares se trouvant dans la propriété d'un paysan choisi. Ce dernier laboure son champ et après il aura des intrants agricoles (semences, engrais). Ces derniers ont été donnés à condition de les rembourser en valeur après récolte.

III.3.4. Collecte des données

III.3.4.1. Récolte des données physico-chimiques du sol

A. Technique d'exploration de la terre

Le sol que nous avons soumis aux analyses dans le laboratoire de chimie agricole de l'ISABU, a été prélevé dans différentes propriétés des ménages des collines. Ces collines sont de Rusovu en commune Kibago et de Butare en commune Kayogoro dans la province de Makamba ; tandis que les différentes propriétés des ménages des collines Kirehe, Rwagonge et Muganza appartiennent respectivement aux communes Kabarore, Matongo et Muruta de la province Kayanza.

Lors du prélèvement du sol, il y avait deux bassins de couleurs différentes pour identifier chaque terre prélevée de 0-20 cm et l'autre de 20-40 cm de profondeur de la surface du sol. Nous avons enfoncé la tarière ou sonde de terre dans le sol en faisant des tours complets jusqu'à 20 cm de profondeur pour le premier lot. La terre explorée est déposée dans un bassin destiné à recevoir la terre de 0-20 cm. Dans ce même trou de 0-20 cm du sol, nous avons prélevé la terre jusqu'à 40 cm de profondeur qui, après sera déposée dans un autre bassin destiné à recevoir la terre de 20-40 cm.

Les indications de 20 cm et 40 cm sont déterminées (graduées) sur la tarière. Ce prélèvement est effectué dans différents points de la parcelle sur les deux diagonales.

A chaque parcelle, avant de se rendre en une autre, nous avons mélangé la terre de chaque bassin. Après nous l'avons mise dans des sachets transparents et avons marqué sur chacun la profondeur de prélèvement, le numéro de ménage et la région (province).

Avant d'opérer dans une autre parcelle, nous avons tout d'abord bien essuyé la tarière afin d'éviter le mélange des particules du sol d'une parcelle à une autre. Ces soins sont appliqués aussi dans les bassins.

B. Technique de séchage du sol

La terre que nous avons explorée dans différentes propriétés des ménages de la province Kayanza et Makamba n'a pas de même caractéristique physico-chimique. Il y a des sols sableux, argileux, limons sableux, caillouteux, compacts même difficile à façonner. C'est à ce moment qu'avant d'envoyer ce sol dans le laboratoire, nous avons procédé au séchage.

Le séchage se fait en étalant des papiers, dans un local contrôlé pour éviter de mouvement de vent qui pourrait introduire d'autres particules du sol dans nos échantillons. Nous avons étalé cette terre en couche mince et nous l'avons retournée chaque fois qu'elle présente une certaine humidité, afin de bien contrôler le séchage. Après ce séchage, nous l'avons encore mise une fois dans leurs sachets respectifs pour être acheminée et analysée dans le laboratoire de chimie agricole.

III.3.4.2. Analyse des données physico-chimiques

Ces analyses ont été effectuées sur 12 échantillons pour chaque province à différentes profondeurs (0-20 cm et 20-40 cm).

A. Analyses physiques

Elles sont portées sur le fractionnement granulométrique. Un échantillon de 10 g de sol est broyé puis tamisé à 2 mm. Le principe d'analyse, préconisé par GOURDIN et al., 1986, consiste en l'élimination des argiles par sédimentation, siphonages et récupération des deux fractions sur papier filtre.

B. Analyses chimiques.

1° pH

Le pH a été mesuré par la technique électrométrique utilisant un potentiomètre couplé à une électrode combinée (électrode de verre-électrode à calommet) développant une force électromotrice (Loi de NERNESET) directement proportionnelle à l'activité des ions H^+ .

Généralement, le pH_{eau} et le pH_{KCl} sont mesurés à l'aide d'un pH-mètre. Dans tous les cas, l'activité des ions H^+ est déterminée, dans l'eau déminéralisée (pH_{eau}) et dans une solution de KCl (1N), (pH_{kcl}) avec un rapport sol/solution de 1/5 après 60 minutes en prenant soin d'agiter toutes les 20 minutes.

2° Conductivité électrique

La conductivité électrique d'une suspension sol / eau est la conductivité d'une colonne de solution comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 de surface, séparées l'une de l'autre de 1 cm. La mesure est basée sur le principe de WHEATSTONE en utilisant comme appareil zéro un galvanomètre. La conductivité est exprimée en micromhos / cm ou en microsiemens / cm et une mesure indirecte de la salinité d'un sol.

3° Carbone

Le dosage du carbone a été fait selon la méthode de WALKEY-BLACK. Elle consiste à une oxydation du carbone par $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ en milieu acide et dosage en retour des ions $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ non réduits. Il est aussi dosé soit par combustion en présence d'oxygène.

4° Azote

Le dosage de l'azote a été fait avec la méthode de KJELDAH (voie humide) consistant en la transformation de l'azote du sol en sulfate d'ammonium. L'ammonium est libéré en milieu alcalin, trappé et titré par un acide dilué. Il est aussi dosé par combustion (méthode de DUMAS).

5° Phosphore

Le phosphore du sol est extrait par un réactif mixte, constitué d'un mélange de Bicarbonate de Sodium (NaHCO_3) et de Fluorure d'Ammonium (NH_4F), porté à pH 8,5 (méthode d'OLSEN-DABIN). Après extraction et acidification de l'extrait, la solution est colorimétrique à 66 mm en utilisant la formation du complexe bleu phospho-molybdique réduit par l'acide ascorbique.

6° Capacité d'échange cationique apparente

Exprimée en milléquivalents par 100g d'argile, la C.E.C apparente est une expression de la C.E de la fraction argileuse et permet de se donner une idée sur la nature des argiles. Elle fait référence à la C.E.C-pH₇ ($\text{NH}_4 \text{ Ac}$). Pour le calcul, il faut d'abord soustraire de la C.E.C. mesurée la contribution de la matière organique.

Cette dernière a été estimée par TESSENS et GOURDIN (1993) à 2 mé /100 C.O. dans les horizons de surface et 2,5 à 3,2 mé /100 C.O dans les horizons de profondeur. Le calcul se fait comme suit :

$$\text{C.E.C app} = \frac{\text{C.E.C} - (2,5 \times 100 \text{ C.O})}{\% \text{ argile}}$$

app : apparente

7° Capacité d'échange cationique

Les cations du complexe absorbant d'un sol sont déplacés par une solution de sel (ion saturant) tamponnée et dosée par spectrophotométrie d'absorption atomique (AAS). L'excès de sel éliminé par le (ou les) alcool (s). L'ion saturant est déplacé par une solution de sel et dosé.

C. Logiciels utilisés

Après ces analyses qui ont été faites dans le laboratoire de chimie, il a été utilisé le logiciel WIN LAB pour donner les résultats clairs en pourcentage et teneur à chaque élément à analyser en teneur en milléquivalent par 100 g de sol. Nous avons donc en pourcentage ou en teneur de chaque élément à chaque profondeur du sol à explorer et chaque région.

Tableau 4 : Normes d'interprétation des analyses du sol

Paramètres à étudier	Valeurs	- Observations
pH eau	$> 5,6$ $5,2 < \text{pH} < 5,6$ $< 5,2$	• Bon problèmes légers de désaturation en bases et toxicité aluminique (légèrement acide) • problèmes graves de désaturation en bases et toxicité aluminique manganique (sol très acide)
% C organique	$> 3,5$ $1 < \% \text{ C} < 3,5$ < 1	• sol riche à très riche en Carbone organique • moyen élevé (sol faible à moyen en C organique) • Faible à très faible en C organique
C/N	< 9 $9 < \text{C/N} < 12$ > 12	• perte par volatilisation ou par percolation de l'N en excédent • condition optimale de minéralisation • condition provoquant une minéralisation du carbone organique par ralentissement de la croissance microbienne.
Ca ²⁺ mé/100 g du sol	$> 3,5$ $0,5 \text{ à } 1,5$ $< 0,5$	• Bon à très bon • Moyen • faible à très faible
Mg ²⁺ mé/100g du sol	$> 1,5$ $0,5 \text{ à } 1,5$ $< 0,5$	• Bon à très bon • Moyen • Faible à très faible
Ca ²⁺ /Mg ²⁺	$3 < \text{Ca/Mg} < 5$	• Optimal
Mg ²⁺ // K	$2 < \text{Mg} / \text{K} < 5$	• Optimal
(Ca ²⁺ +Mg ²⁺) / K ⁺	12 à 30	• Optimal
K ⁺ mé/100g sol	$> 0,5$ $0,2 \text{ à } 0,5$ $< 0,2$	• Bon à très bon • Moyen • Faible à très faible
Al ³⁺ éch / 100g sol	$< 0,5$ $1,5 < \text{Al} < 3$ > 3	• Très faible toxicité • Toxicité aluminique forte • Toxicité aluminique très forte.

Tableau 4 : Normes d'interprétation des analyses du sol(Suite)

% azote	> 1 $0,5 - 1$ $0,2 - 0,5$ $0,1 - 0,2$ $< 0,1$	• Très élevé • Elevé • Moyen • Faible • Très faible
P (ppm)	< 20 $20 < p < 50$ $50 < p < 100$ > 100	• Carences en P • disponibilité médiane en P. • Bonne disponibilité en P • disponibilité élevé en P
CEC(méq/ 100 sol)	> 25 $10 < \text{CEC} < 25$ $5 < \text{CEC} < 10$ < 5	• capacité d'absorption très élevée • Capacité d'absorption élevée • Capacité d'absorption moyenne • capacité d'absorption très faible
Indice « m » de Kamprah	$m < 10$ $10 < m < 45$ $m > 45$	• pas de problème d'aluminium • Toxicité aluminique faible à moyenne • Toxicité aluminique forte

(ORSTOM, 1988)

III.3.4.3. Récolte des données climatologiques

Les données climatologiques que nous avons récoltées sont des données provenant de l'IGEBU ou des centres météorologiques proches de notre lieu d'étude. Ces données concernent la période de Janvier 2007 jusqu'en moi de Juin 2010 pour la province Makamba et Kayanza. A Kayanza, nous nous sommes servis du centre météorologique de Rwegura tandis qu'à Makamba c'est le centre météorologique de Makamba. Les données concernent des précipitations annuelles, les températures maximales moyennes mensuelles, les températures minimales moyennes mensuelles et les températures moyennes. Signalons que pour les précipitations et les températures, nous avons remarqué des données manquantes qui ne sont pas disponibles à l'IGEBU.

CHAPITRE IV : PRESENTATION, INTERPRETATION ET DISCUSSION DES RESULTATS

IV. 1. PRESENTATION DES RESULTATS

IV.1.1. Présentation des résultats du rendement

Au cours de notre test, les résultats moyens obtenus sur le paramètre de production sont mentionnés dans les tableaux 5 et 6.

Tableau 5 : Synthèse des résultats moyens obtenus sur le paramètre de production dans la région naturelle de Mugamba (Kayanza)

Variable Parcelle	Rendement total en tubercules de pomme de terre. (Kg/ha)		Rendement total en grains de blé (Kg/ha)		
	2008 A	2010 A	2008 B	2009 B	2010 B
P1	22270	24060	2380	3390	1987
P2	4728	7712	637	990	1500
P3	6500	19000	2540	3350	2340
P4	8180	19990	1070	3030	1777
P5	24460	23600	2250	3290	1568
P6	5000	6718	700	2630	653
Moyenne générale	11856,33	16846,66	1596,16	2790	1637,5

Tableau 6 : Synthèse des résultats moyens obtenus sur le paramètre de production dans la région naturelle de Buragane (Makamba)

Variable Parcelle	Rendement total en graines de haricot (Kg/ha)			Rendement total en graines d'arachide (Kg/ha)
	2008 B	2010 A	2010 B	2009 A
P1	460	400	420	560
P2	1030	600	500	350
P3	850	800	400	690
P4	900	400	288	500
P5	800	700	500	680
P6	1000	360	360	600
Moyenne générale	840	543,33	411,33	563,33

P1, P2, P3, P4, P5 et P6 représentent une parcelle de 10 ares pour chaque type de culture à saisons différentes.

IV.1.2. Présentation des résultats d'analyse de sol.

Les tableaux 7, 8, 9 et 10 montrent les résultats d'analyse du sol.

Tableau 7 : Fractionnement granulométrique du sol de Kayanza.

No de l'échantillon	Prof (cm)	Sables grossiers			Sables fins		Elements fins		
		Sables %					Limons %		Argile %
		1000 µ	500 µ	250 µ	100 µ	50 µ	LG	LF	
1	0-20	0,53	8,80	18,95	17,90	4,23	22,65	24,12	2,82
	20-40	1,40	0,77	0,67	3,00	0,94	28,33	31,35	33,54
2	0-20	0,66	1,73	1,64	5,52	0,98	8,66	19,90	60,91
	20-40	0,57	1,56	1,50	2,91	0,25	21,00	21,44	50,77
3	0-20	0,83	1,28	1,53	3,90	0,65	12,51	15,33	63,97
	20-40	0,47	0,80	1,00	3,56	0,16	16,52	17,18	60,31
4	0-20	1,54	1,36	1,12	1,36	0,04	9,00	16,63	68,95
	20-40	0,74	1,21	0,96	1,39	1,21	7,27	16,76	70,46
5	0-20	1,53	2,03	1,98	3,08	2,07	5,30	25,73	58,28
	20-40	7,26	1,10	1,14	2,67	1,08	6,34	25,60	54,81
6	0-20	1,36	3,77	6,08	15,55	0,09	13,53	9,43	50,19
	20-40	1,10	3,09	5,69	14,74	0,02	15,68	12,19	47,49

LG : Limon gros LF : Limon fin

Tableau 8. Fractionnement granulométrique du sol de Makamba.

No de l'échantillon	Prof (cm)	Sables grossiers			Sables fins		Eléments fins		
		Sables%					Limons%		Argiles %
		1000μ	500 μ	250 μ	100 μ	50 μ	LG	LF	
1	0-20	1,03	7,31	17,16	21,18	1,88	6,96	0,04	44,44
	20-40	1,10	7,12	16,80	21,37	1,03	8,35	0,15	44,08
2	0-20	1,44	3,73	8,29	11,97	1,12	8,82	1,64	62,99
	20-40	1,03	3,38	9,40	15,77	0,68	12,20	4,91	52,63
3	0-20	0,73	2,40	9,06	17,59	0,81	12,52	6,18	50,71
	20-40	0,62	2,21	7,98	16,38	0,45	14,96	6,68	50,72
4	0-20	3,84	2,31	4,41	8,61	1,39	10,55	7,10	61,79
	20-40	5,81	2,33	5,16	9,04	3,63	11,29	11,45	51,29
5	20-40	0,88	2,40	7,22	13,13	3,71	9,38	7,08	56,25
	20-40	1,32	2,51	7,42	13,59	0,16	14,84	10,30	49,86
6	0-20	0,39	6,19	17,35	18,01	0,30	6,57	0,38	50,81
	20-40	0,47	6,81	19,59	23,66	0,07	9,25	0,14	40,01

LG : Limon gros LF : Limon fin

Tableau 9 : Résultats d'analyse chimique du sol de Kayanza.

No de l'échantillon	Prof (cm)	pH H ₂ O	pH K cl	C, %	N, %	Phosphore Mg / kg	Acidité Totale Mé/100g	Al ³⁺ , Mé/100g	H ⁺ , Mé/100g	Potassium Mé/100g	CEC Méq/100g
1	0-20	5,03	4,59	1,27	0,21	12	0,38	0	0,38	0,35	6,91
	20-40	4,86	4,45	0,84	0,19	18	0,78	0,25	0,53	0,31	6,12
2	0-20	4,23	4,03	2,17	0,33	14	2,93	2,28	0,65	0,16	11,84
	20-40	4,15	4,04	2,38	0,32	27	3,48	2,13	0,85	0,13	12,83
3	0-20	4,80	4,29	2,37	0,28	28	0,97	0,57	0,40	0,34	15,20
	20-40	4,84	4,30	2,62	0,34	22	0,76	0,27	0,49	0,28	15,99
4	0-20	4,39	4,36	8,37	1,03	33	2,76	2,25	0,51	0,23	23,29
	20-40	4,43	4,40	7,47	0,73	29	1,82	1,28	0,54	0,43	21,31
5	0-20	4,45	4,25	3,75	0,44	31	2,27	1,55	0,72	0,17	17,76
	20-40	4,33	4,18	3,63	0,41	35	2,12	1,48	0,64	0,18	17,76
6	0-20	4,28	4,12	4,59	0,40	18	4,09	3,38	0,71	0,13	17,37
	20-40	4,32	4,09	3,96	0,59	16	3,34	2,63	0,71	0,13	17,96

Tableau 10 : Résultats d'analyse chimique du sol de Makamba.

No de l'échantillon	Prof (cm)	pH H ₂ O	pH K cl	C, %	N, %	Phosphore Mg / kg	Acidité Totale Mé/100g	Al ³⁺ , Mé/100g	H ⁺ , Mé/100g	Potassium Mé/100g	CEC Méq/100g
1	0-20	4,78	4,20	1,11	0,29	19	0,99	0,25	0,74	0,21	4,93
	20-40	4,60	4,15	0,79	0,25	14	1,40	0,30	1,10	0,17	3,95
2	0-20	5,10	4,61	1,38	0,21	14	0,12	0	0,12	0,81	8,88
	20-40	5,20	4,46	1,28	0,28	13	0,14	0	0,14	0,71	8,49
3	0-20	5,88	5,28	1,38	0,18	11	0,03	0	0,03	0,93	10,06
	20-40	5,80	5,23	1,20	0,25	10	0,05	0	0,05	0,64	10,06
4	0-20	5,40	4,80	1,74	0,29	13	0,03	0	0,03	0,59	9,47
	20-40	5,31	4,81	1,76	0,26	14	0,08	0	0,08	0,55	9,47
5	0-20	5,40	4,87	1,74	0,32	12	0	0	0	0,62	11,25
	20-40	5,34	4,80	1,67	0,21	12	0,01	0	0,01	0,65	11,05
6	0-20	4,32	4,08	0,69	0,25	14	1,13	0,48	0,65	0,07	4,14
	20-40	4,30	4,10	0,73	0,25	9	1,43	0,73	0,70	0,01	3,55

IV.1.3. Présentation des résultats climatologiques

Les données climatologiques recueillies concernent les quatre années de 2007 jusqu'à 2010. Elles sont récoltées dans les stations des centres météorologiques. Cette période correspond à la période des cultures utilisées pour les données de rendement. Dans la région naturelle de Mugamba précisément en province Kayanza, nous nous sommes servis de la station Rwegura tandis que dans la région naturelle de Buragane, en province Makamba, nous avons des données climatologiques de la station Makamba.

Les données qui sont récoltées à partir de 2007 jusqu'au mois de juin 2010 sont : les précipitations mensuelles, les températures maximales moyennes mensuelles, les températures minimales moyennes mensuelles et les températures moyennes mensuelles de la station de Makamba.

Le tableau 15 présente les données climatologiques des stations Rwegura et Makamba à partir de 2007 jusqu'en juin 2010.

Tableau 11. Résultats climatiques des stations Makamba et Rwegura

Précipitations mensuelles (en mm)

Station	Années	Mois											
		Jan.	Fév.	Mars.	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
RWEGURA	2007	304,1	240,7	139,1	228,9	49	0	9,4	38,9	143,7	161,2	119,2	168,4
	2008	-	220,7	191,5	156,1	72,7	89,8	21,4	-	152,4	171,3	75,7	125,1
	2009	247,6	205,8	176,4	181,1	248,2	12,6	0,5	48,8	50,4	103,6	239,4	127,1
	2010	265,7	235,6	206,6	168,8	81,4	142,6	0	-	-	-	-	-
MAKAMBA	2007	206,4	225,2	113,9	155,5	136,4	31,1	7,3	28,5	3,2	64,1	145,8	163,1
	2008	202,6	118,5	230,0	259	64,7	27,2	0,2	10,5	54,5	69,4	159,0	155,3
	2009	140,5	128,6	163,2	170,1	67,3	8,5	0	0	67,0	58,7	207,4	229,2
	2010	151,6	108,4	296,6	112,9	72,1	10,2	-	-	-	-	-	-
Températures max.moy. mensuelles													
RWEGURA	2007	20,6	20,8	21,5	-	20,2	-	19,5	19,7	21,0	21,2	19,9	20,2
	2008	-	-	-	20,2	20,3	20,6	20,6	-	21,8	5,9	21,2	21,8
	2009	20,7	20,6	21,0	20,5	19,3	20,6	21,0	21,8	22,3	21,5	20,8	20,4
	2010	21,6	21,8	21,0	-	20,6	20,6	-	-	-	-	-	-
MAKAMBA	2007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2009	25,8	26,1	26,5	24,4	25,4	26,1	26,3	27,9	29,0	28,3	26,2	25,8
	2010	26,7	26,9	26,0	27,0	26,5	26,4	-	-	-	-	-	-
Températures min.moy.mensuelles													
RWEGURA	2008	-	-	-	11,5	11,4	11,2	11,1	0	8,7	10,5	11,5	11,3
	2009	11,4	11,0	11,7	11,2	14,4	11,2	10,5	12,2	12,1	11,7	11,9	11,9
	201	12,0	12,5	12,1	-	12,3	11,9	-	-	-	-	-	-
Températures moy. Mensuelles													
RWEGURA	2008	-	-	-	15,7	15,8	15,9	15,8	-	15,2	8,2	16,8	16,3
	2009	16,0	15,8	16,3	15,8	16,8	15,9	15,2	17	17,2	16,5	16,2	16,1
	2010	16,8	17,5	16,5	-	16,4	16,2	-	-	-	-	-	-

IV.2. INTERPRETATIONS DES RESULTATS

IV.2.1. Influence des précipitations sur le rendement des cultures vivrières

Les tableaux 12, 13 et 14 montrent l'influence des précipitations sur le rendement de la pomme de terre, du blé en province Kayanza et du haricot en province Makamba.

A la lumière, une étude de coefficient de corrélation qui montre des valeurs positives signifie que plus le facteur pédoclimatique augmente plus les rendements sont élevés, tandis que pour les valeurs négatives, on comprendra que, plus le facteur pédoclimatique augmente, plus les rendements diminuent considérablement.

Tableau 12 : Influence de la précipitation sur le rendement de la pomme de Terre en province Kayanza

N° de la parcelle	Précipitations totales 4 mois de développement (mm)		Rendement en kg / ha		Coefficient de corrélation
	2008 A	2010 A	2008 A	2010 A	
1	637,7	672,9	22270	24060	1
2	“	“	4728	7712	1
3	“	“	6500	19000	1
4	“	“	8180	19990	1
5	“	“	24460	23600	1
6	“	“	5000	6718	1
Moyenne			11856,33	16846,66	1

L'étude du coefficient de corrélation montre que des précipitations affichent une influence très significative positive sur le rendement total en tubercules de la pomme de terre en province Kayanza.

Tableau 13 : Influence des précipitations sur le rendement du blé en province Kayanza

N° de la parcelle	Précipitations totales 4 mois de développement (mm)			Rendement en kg / ha			Coefficient de corrélation
	2008 B	2009 B	2010 B	2008 B	2009 B	2010 B	
1	340	433	392,8	2380	3390	1987	0,63975868
2	“	“	“	637	990	1500	0,47680082
3	“	“	“	2540	3350	2340	0,70402503
4	“	“	“	1070	3030	1777	0,97192206
5	“	“	“	2250	3290	1568	0,53541111
6	“	“	“	700	2630	653	0,99974223
Moyenne				1596,16	2790	1637,5	0,84127765

L'étude du coefficient de corrélation montre à travers le tableau 13 que les précipitations exercent une influence significative positive sur le rendement total en grains du blé en province Kayanza.

Tableau 14 : Influence des précipitations sur le rendement du haricot en province Makamba

N° de la parcelle	Précipitations totales 3 mois de développement			Rendement en kg / ha			Coefficient de corrélation
	2008 B	2010 A	2010 B	2008 B	2010 A	2010 B	
1	553,7	571,3	471,7	460	400	420	0,02380997
2	“	“	“	1030	600	500	0,51051793
3	“	“	“	850	800	400	0,96434258
4	“	“	“	900	400	288	0,50553203
5	“	“	“	800	700	500	0,87768487
6	“	“	“	1000	360	360	0,34973235
Moyenne				840	543,33	411,33	0,61519445

De ce tableau 14, l'étude du coefficient de corrélation montre que les précipitations exercent une influence significative positive sur le rendement total en graines du haricot en province Makamba.

IV.2.2. Influence de la granulométrie sur le rendement des cultures vivrières

Le tableau 15 montre l'influence du sable sur le rendement de la pomme de terre en province Kayanza.

Tableau 15 : Influence du taux de sable dans le sol sur le rendement de la pomme de terre en province Kayanza

N° de la parcelle	Résultats granulométriques		Rendement en kg / ha	
	Prof (cm)	% sable 1000µ-50µ	2008 A	2010 A
1	0-20	50,41	22270	24060
	20-40	6,78		
2	0-20	10,55	4728	7712
	20-40	6,79		
3	0-20	8,19	6500	19000
	20-40	5,99		
4	0-20	5,42	8180	19990
	20-40	5,51		
5	0-20	9,16	24460	23600
	20-40	13,25		
6	0-20	26,85	5000	6718
	20-40	24,64		
Moyenne			11856,33	16846,66
Coefficient de corrélation			0,16853577	-0,16731184

De ce tableau 15, nous remarquons que la quantité de sable se trouvant dans le sol de Kayanza ne montre pas d'influence significative sur le rendement total en tubercules de pomme de terre.

Le tableau 16 montre l'influence du limon gros sur le rendement de la pomme de terre en province Kayanza.

Tableau 16 : Influence du limon gros sur le rendement de la pomme de terre en province Kayanza

N° de la parcelle	Résultats granulométriques		Rendement en kg / ha	
	Prof (cm)	% limon (LG)	2008 A	2010 A
1	0-20	22,65	22270	24060
	20-40	28,33		
2	0-20	8,66	4728	7712
	20-40	21,00		
3	0-20	12,51	6500	19000
	20-40	16,52		
4	0-20	9,00	8180	19990
	20-40	9,27		
5	0-20	5,30	24460	23600
	20-40	6,34		
6	0-20	13,53	5000	6718
	20-40	15,68		
Moyenne			11856,33	16846,66
Coefficient de corrélation			0,17703795	0,16464693

Du tableau 16, nous constatons que le coefficient de corrélation du limon gros dans le sol de Kayanza n'affiche pas une influence significative sur le rendement total en tubercules de pomme de terre.

Le tableau 17 montre l'influence du limon fin sur le rendement de la pomme de terre. en province Kayanza

Tableau 17 : Influence du limon fin sur le rendement de la pomme de terre en province Kayanza

N° de la parcelle	Résultats granulométriques		Rendement en Kg/ha	
	Prof (cm)	% limon fin	2008 A	2010 A
1	0-20 20-40	24,12 31,35	22270	24060
2	0-20 20-40	19,90 21,44	4728	7712
3	0-20 20-40	15,33 17,18	6500	19000
4	0-20 20-40	16,63 16,76	8180	19990
5	0-20 20-40	25,73 25,60	24460	23600
6	0-20 20-40	9,43 12,19	5000	6718
Moyenne			11856,33	16846,66
Coefficient de corrélation			0,829840272	0,669216333

Du tableau 17, nous remarquons que l'étude du coefficient de corrélation montre que la quantité du limon fin se trouvant dans le sol de Kayanza, exerce une influence significative positive sur le rendement total en tubercules de pomme de terre en toutes les saisons.

Le tableau 18 montre l'influence de l'argile sur le rendement de pomme de terre en province Kayanza.

Tableau 18 : Influence de l'argile sur le rendement de pomme de terre en province Kayanza

N° de la parcelle	Résultats granulométriques		Rendement en Kg/ha	
	Prof (cm)	% argile	2008 A	2010 A
1	0-20	2,82	22270	24060
	20-40	33,54		
2	0-20	60,91	4728	7712
	20-40	50,77		
3	0-20	63,97	6500	19000
	20-40	60,31		
4	0-20	68,95	8180	19990
	20-40	70,46		
5	0-20	58,28	24460	23600
	20-40	54,81		
6	0-20	50,19	5000	6718
	20-40	47,49		
Moyenne			11856,33	16846,66
Coefficient de corrélation			-0,555690802	-0,31524551

Du tableau 18, l'étude du coefficient de corrélation montre qu'il y a une influence significative négative pour la quantité d'argile se trouvant dans le sol de Kayanza sur le rendement total en tubercules de pomme de terre pour la saison 2008A, tandis qu'en 2010A l'influence est négative aussi mais n'est pas significative.

Le tableau 19 montre l'influence du sable sur le rendement du blé en province Kayanza.

Tableau 19 : Influence du sable sur le rendement du blé en province Kayanza

N° de la parcelle	Résultats granulométriques		Rendement en Kg/ha		
	Prof (cm)	% sable	2008B	2009B	2010B
1	0-20 20-40	50,41 6,78	2380	3390	1987
2	0-20 20-40	10,55 6,79	637	990	1500
3	0-20 20-40	8,19 5,99	2540	3350	2340
4	0-20 20-40	5,42 5,51	1070	3030	1777
5	0-20 20-40	9,16 13,26	2250	3290	1568
6	0-20 20-40	26,85 24,64	700	2630	653
Moyenne			1596 ,16	2790	1637,5
Coefficient de corrélation			-0,00707698	-0,08782271	+0,18279814

Du tableau 19, nous remarquons qu'il n'y a pas d'influence significative pour la quantité du sable se trouvant dans le sol de Kayanza sur le rendement total en grains du blé en toutes les saisons.

Le tableau 20 montre l'influence du limon gros sur le rendement du blé en province Kayanza.

Tableau 20 : Influence du limon gros sur le rendement du blé en province Kayanza

N° de la parcelle	Résultats granulométriques		Rendement en Kg/ha		
	Prof (cm)	% limon gros	2008B	2009B	2010B
1	0-20	22,65	2380	3390	1987
	20-40	28,33			
2	0-20	8,66	637	990	1500
	20-40	21,00			
3	0-20	12,51	2540	3350	2340
	20-40	16,52			
4	0-20	9,00	1070	3030	1777
	20-40	9,27			
5	0-20	5,30	2250	3290	1568
	20-40	6,34			
6	0-20	13,53	700	2630	653
	20-40	15,68			
Moyenne			1596 ,16	2790	1637,5
Coefficient de corrélation			0,29454502	0,301850033	-0,540180034

Du tableau 20, l'étude du coefficient de corrélation montre que la quantité du limon gros des sols de Kayanza n'exerce pas une influence significative sur le rendement total en grains du blé pour les saisons 2008B et 2009B. Tandis qu'en 2010B, l'influence est significative.

Le tableau 21 montre l'influence du limon fin sur le rendement du blé en province Kayanza.

Tableau 21 : Influence du limon fin sur le rendement du blé en province Kayanza

N° de la parcelle	Résultats granulométriques		Rendement en Kg/ha		
	Prof (cm)	% limon fin	2008B	2009B	2010B
1	0-20 20-40	24,12 31,35	2380	3390	1987
2	0-20 20-40	19,90 21,44	637	990	1500
3	0-20 20-40	15,33 17,18	2540	3350	2340
4	0-20 20-40	16,63 16,76	1070	3030	1777
5	0-20 20-40	25,73 25,60	2250	3290	1568
6	0-20 20-40	9,43 12,19	700	2630	653
Moyenne			1596,16	2790	1637,5
Coefficient de corrélation			+0,52045964	+0,13307523	-0,32953102

De ce tableau 21, nous remarquons que l'étude du coefficient de corrélation montre que la quantité du limon fin se trouvant dans le sol de Kayanza affiche une influence significative en saison 2008B. Tandis qu'en 2009B et 2010B, l'influence n'est pas significative sur le rendement total en grains du blé.

Le tableau 22 montre l'influence de l'argile sur le rendement du blé en province Kayanza.

Tableau 22 : Influence de l'argile sur le rendement du blé en province Kayanza

N° de la parcelle	Résultats granulométriques		Rendement en Kg/ha		
	Prof (cm)	% argile	2008B	2009B	2010B
1	0-20 20-40	2,82 33,54	2380	3390	1987
2	0-20 20-40	60,91 50,77	637	990	1500
3	0-20 20-40	63,97 60,31	2540	3350	2340
4	0-20 20-40	68,95 70,46	1070	3030	1777
5	0-20 20-40	58,28 54,81	2250	3290	1568
6	0-20 20-40	50,19 47,49	700	2630	653
Moyenne			1596 ,16	2790	1637,5
Coefficient de corrélation			-0,36114715	-0,28004176	-0,19066947

De ce tableau 22, nous remarquons que l'étude du coefficient de corrélation montre que la quantité d'argile se trouvant dans le sol de Kayanza n'exerce pas d'influence significative sur le rendement total en grains du blé pour toutes les saisons.

Le tableau 23 montre l'influence du sable sur le rendement du haricot en province Makamba.

Tableau 23 : Influence du taux de sable dans le sol sur le rendement du haricot en province Makamba

N° de la parcelle	Résultats granulométriques		Rendement en Kg/ha		
	Prof (cm)	% sable	2008B	2010A	2010B
1	0-20	48,56	460	400	420
	20-40	47,42			
2	0-20	26,55	1030	600	500
	20-40	30,26			
3	0-20	30,59	850	800	400
	20-40	27,64			
4	0-20	20,56	900	400	288
	20-40	25,97			
5	0-20	27,34	800	700	500
	20-40	25,00			
6	0-20	42,24	1000	360	360
	20-40	50,60			
Moyenne			840	543,33	411,33
Coefficient de corrélation			-0,57185000	-0,07563316	-0,77973000

Du tableau 23, nous remarquons que l'étude du coefficient de corrélation montre, que la quantité du sable se trouvant dans le sol de Makamba exerce une influence significative négative sur le rendement total en graines du haricot pour les saisons 2008B et 2010B. Tandis qu'en 2010A l'influence n'est pas significative.

Le tableau 24 montre l'influence du limon gros sur le rendement du haricot en province Makamba.

Tableau 24 : Influence du limon gros sur le rendement du haricot en province Makamba

N° de la parcelle	Résultats granulométriques		Rendement en Kg/ha		
	Prof (cm)	% limon gros	2008B	2010A	2010B
1	0-20 20-40	6,96 8,35	460	400	420
2	0-20 20-40	8,82 12,20	1030	600	500
3	0-20 20-40	12,52 14,96	850	800	400
4	0-20 20-40	10,55 11,29	900	400	288
5	0-20 20-40	9,38 14,84	800	700	500
6	0-20 20-40	6,57 9,25	1000	360	360
Moyenne			840	543,33	411,33
Coefficient de corrélation			0,20264232	0,71687209	0,17489561

De tableau 24, nous remarquons qu'il y a une influence significative positive exercée par la quantité du limon gros se trouvant dans le sol de Makamba sur le rendement total en graines du haricot pour la saison 2010A, tandis qu'en saisons 2008B et 2010B, l'influence n'est pas significative.

Le tableau 25 montre l'influence du limon fin sur le rendement du haricot en province Makamba.

Tableau 25 : Influence du limon fin sur le rendement du haricot en province Makamba

N° de la parcelle	Résultats granulométriques		Rendement en Kg/ha		
	Prof (cm)	% limon fin	2008B	2010A	2010B
1	0-20	0,04	460	400	420
	20-40	0,15			
2	0-20	1,64	1030	600	500
	20-40	4,91			
3	0-20	6,18	850	800	400
	20-40	6,68			
4	0-20	7,10	900	400	288
	20-40	11,45			
5	0-20	7,08	800	700	500
	20-40	10,30			
6	0-20	0,38	1000	360	360
	20-40	0,14			
Moyenne			840	543,33	411,33
Coefficient de corrélation			0,160733452	0,54354171	0,36949587

De ce tableau 25, nous remarquons que la quantité du limon fin se trouvant dans le sol de Makamba exerce une influence significative positive sur le rendement total en graines du haricot pour la saison 2010A, tandis qu'en 2008B et 2010B l'influence n'est pas significative.

Le tableau 26 montre l'influence d'argile sur le rendement du haricot en province Makamba.

Tableau 26 : Influence d'argile sur le rendement du haricot en province Makamba

N° de la parcelle	Résultats granulométriques		Rendement en Kg/ha		
	Prof (cm)	% argile	2008B	2010A	2010B
1	0-20	44,44	460	400	420
	20-40	44,08			
2	0-20	62,99	1030	600	500
	20-40	52,63			
3	0-20	50,71	850	800	400
	20-40	50,72			
4	0-20	61,79	900	400	288
	20-40	51,29			
5	0-20	56,25	800	700	500
	20-40	49,86			
6	0-20	50,81	1000	360	360
	20-40	40,01			
Moyenne			840	543,33	411,33
Coefficient de corrélation			0,70144583	0,13002950	0,71130895

De ce tableau 26, nous remarquons que la quantité d'argile se trouvant dans le sol de Makamba exerce une influence significative positive sur le rendement total en graines du haricot pour les saisons 2008B et 2010B, tandis qu'en 2010A l'influence n'est pas significative.

IV.2.3 Influence des caractéristiques chimiques sur le rendement des cultures vivrières

Le tableau 27 montre l'influence du pH_{eau} sur le rendement de la pomme de terre en province Kayanza

Tableau 27 : Influence du pH_{eau} sur le rendement de la pomme de terre en province Kayanza

N° de la parcelle	Résultats d'analyse du sol		Rendement en Kg/ha	
	Prof (cm)	PH _{H2O}	2008A	2010A
1	0-20	5,03	22 270	24 060
	20-40	4,86		
2	0-20	4,23	4 728	7 712
	20-40	4,15		
3	0-20	4,80	6 500	19 000
	20-40	4,84		
4	0-20	4,39	8 180	19 990
	20-40	4,43		
5	0-20	4,45	24 460	23 600
	20-40	4,33		
6	0-20	4,28	5 000	6 718
	20-40	4,32		
Moyenne			11856,33	16846,66
Coefficient de corrélation			0,49818755	0,69354264

Du tableau 27, l'étude du coefficient de corrélation montre que le pH_{eau} du sol de Kayanza affiche une influence significative positive sur le rendement total en tubercules de pomme de terre.

Le tableau 28 montre l'influence du Carbone sur le rendement de la pomme de terre en province Kayanza.

Tableau 28 : Influence du Carbone sur le rendement de la pomme de terre en province Kayanza

N° de la parcelle	Résultats d'analyse chimique		Rendement en Kg/ha	
	Prof (cm)	Carbone %	2008A	2010A
1	0-20	1,27	22 270	24 060
	20-40	0,84		
2	0-20	2,17	4 728	7 712
	20-40	2,38		
3	0-20	2,37	6 500	19 000
	20-40	2,62		
4	0-20	8,37	8 180	19 990
	20-40	7,47		
5	0-20	3,75	24 460	23 600
	20-40	3,63		
6	0-20	4,59	5 000	6 718
	20-40	3,96		
Moyenne			11 856,33	16 846,66
Coefficient de corrélation			-0,25960164	-0,0041663

L'étude du coefficient de corrélation montre que, à partir de ce tableau 28 que l'élément carbone se trouvant dans le sol de Kayanza n'exerce pas une influence significative sur le rendement total en tubercules de pomme de terre pour toutes les saisons.

Le tableau 29 montre l'influence de l'aluminium sur le rendement de la pomme de terre en province Kayanza

Tableau 29 : Influence de l'aluminium sur le rendement de la pomme de terre en province Kayanza

N° de la parcelle	Résultats d'analyse chimique		Rendement en Kg/ha	
	Prof (cm)	Al ³⁺ méq/100g	2008A	2010A
1	0-20	0,00	22 270	24 060
	20-40	0,25		
2	0-20	2,28	4 728	7 712
	20-40	2,13		
3	0-20	0,57	6 500	19 000
	20-40	0,27		
4	0-20	2,25	8 180	19 990
	20-40	1,28		
5	0-20	1,55	24 460	23 600
	20-40	1,48		
6	0-20	3,38	5 000	6 718
	20-40	2,63		
Moyenne			11 856,33	16 846,66
Coefficient de corrélation			-0,55936516	-0,76011536

Du tableau 29, l'étude du coefficient de corrélation montre que, la teneur en aluminium se trouvant dans le sol de Kayanza exerce une influence significative négative sur rendement total en tubercules de pomme de terre pour toutes les saisons.

Le tableau 30 montre l'influence de la capacité d'échange cationique sur le rendement de la pomme de terre en province Kayanza.

Tableau 30: Influence de la capacité d'échange cationique sur le rendement de la pomme de terre en province Kayanza

N° de la parcelle	Résultats d'analyse du sol		Rendement en Kg/ha	
	Prof (cm)	C.E.C/100g	2008A	2010A
1	0-20	6,91	22 270	24 060
	20-40	6,12		
2	0-20	11,84	4 728	7 712
	20-40	12,83		
3	0-20	15,20	6 500	19 000
	20-40	15,99		
4	0-20	23,29	8 180	19 990
	20-40	21,31		
5	0-20	17,76	24 460	23 600
	20-40	17,76		
6	0-20	17,37	5 000	6 718
	20-40	17,96		
Moyenne			11 856,33	16 846,66
Coefficient de corrélation			-0,29599684	-0,03873293

Du tableau 30, l'étude du coefficient de corrélation montre que, la capacité d'échange cationique n'affiche pas une influence significative sur le rendement total en tubercules de pomme de terre pour toutes les saisons.

Le tableau 31 montre l'influence de pH_{eau} sur le rendement du blé en province Kayanza.

Tableau 31 : Influence de pHeau sur le rendement du blé en province Kayanza

N° de la parcelle	Résultats d'analyse chimique		Rendement en Kg/ha		
	Prof (cm)	pH H ₂ O	2008B	2009B	2010B
1	0-20	5,03	2 380	3 390	1 987
	20-40	4,86			
2	0-20	4,23	637	990	1 500
	20-40	4,15			
3	0-20	4,80	2 540	3 350	2 340
	20-40	4,84			
4	0-20	4,39	1 070	3 030	1 777
	20-40	4,43			
5	0-20	4,45	2 250	3 290	1 568
	20-40	4,33			
6	0-20	4,28	700	2 630	1 834
	20-40	4,32			
Moyenne			1596 ,16	2790	1637,5
Coefficient de corrélation			0,84025032	0,6562839	0,70948117

Du tableau 31, l'étude du coefficient de corrélation montre que le pHeau du sol de Kayanza exerce une influence significative positive sur le rendement total en grains du blé pour toutes les saisons.

Le tableau 32 montre l'influence du carbone sur le rendement du blé en province Kayanza.

Tableau 32 : Influence du carbone sur le rendement du blé en province Kayanza

N° de la parcelle	Résultats d'analyse chimique		Rendement en Kg/ha		
	Prof (cm)	Carbone %	2008B	2009B	2010B
1	0-20	1,27	2 380	3 390	1 987
	20-40	0,84			
2	0-20	2,17	637	990	1 500
	20-40	2,38			
3	0-20	2,37	2 540	3 350	2 340
	20-40	2,62			
4	0-20	8,37	1 070	3 030	1 777
	20-40	7,47			
5	0-20	3,75	2 250	3 290	1 568
	20-40	3,63			
6	0-20	4,59	700	2 630	1 834
	20-40	3,96			
Moyenne			1596,16	1790	1637,5
Coefficient de corrélation			-0,43403625	+0,13240218	-0,20889612

Du tableau 32, nous remarquons que l'étude du coefficient de corrélation montre que la quantité du carbone se trouvant dans le sol de Kayanza n'affiche pas une influence significative sur le rendement total en grains du blé pour toutes les saisons.

Le tableau 33 montre l'influence de l'aluminium sur le rendement du blé en province Kayanza.

Tableau 33 : Influence de l'aluminium du sol sur le rendement du blé en province Kayanza

N° de la parcelle	Résultats d'analyse du sol		Rendement en Kg/ha		
	Prof (cm)	Al ³⁺ /100g	2008B	2009B	2010B
1	0-20	0	2 380	3 390	1 987
	20-40	0,25			
2	0-20	2,28	637	990	1 500
	20-40	2,13			
3	0-20	0,57	2 540	3 350	2 340
	20-40	0,27			
4	0-20	2,25	1 070	3 030	1 777
	20-40	1,28			
5	0-20	1,55	2 250	3 290	1 568
	20-40	1,48			
6	0-20	3,38	700	2 630	1 834
	20-40	2,63			
Moyenne			1 596,16	2 790	1 637,5
Coefficient de corrélation			-0,88417761	-0,51076803	-0,53935574

Du tableau 33, l'étude du coefficient de corrélation montre que la teneur en aluminium se trouvant dans le sol de Kayanza affiche une influence significative négative sur le rendement total en grains du blé pour toutes les saisons.

Le tableau 34 montre l'influence de la capacité d'échange cationique sur le rendement du blé en province Kayanza.

Tableau 34 : Influence de la capacité d'échange cationique sur le rendement du blé en province Kayanza

N° de la parcelle	Résultats d'analyse du sol		Rendement en Kg/ha		
	Prof (cm)	C.E.C/100g	2008B	2009B	2010B
1	0-20	6,91	2 380	3 390	1 987
	20-40	6,12			
2	0-20	11,84	637	990	1 500
	20-40	12,83			
3	0-20	15,20	2 540	3 350	2 340
	20-40	15,99			
4	0-20	23,29	1 070	3 030	1 777
	20-40	21,31			
5	0-20	17,76	2 250	3 290	1 568
	20-40	17,76			
6	0-20	17,37	700	2 630	1 834
	20-40	17,96			
Moyenne			1 596,16	2 790	1 637,5
Coefficient de corrélation			-0,31452175	-0,15362224	-0,15105696

Du tableau 34, l'étude du coefficient de corrélation montre que la capacité d'échange cationique n'affiche pas une influence significative sur le rendement total en grains du blé pour toutes les saisons.

Le tableau 35 montre l'influence du pH eau sur le rendement du haricot en province Makamba.

Tableau 35 : Influence du pHeau sur le rendement du haricot en province Makamba

N° de la parcelle	Résultats d'analyse chimique		Rendement Kg /ha		
	Prof (cm)	pH H ₂ O	2008B	2010A	2010B
1	0-20	4,78	460	400	420
	20-40	4,60			
2	0-20	5,10	1 030	600	500
	20-40	5,20			
3	0-20	5,88	850	800	400
	20-40	5,80			
4	0-20	5,40	900	400	288
	20-40	5,31			
5	0-20	5,40	800	700	500
	20-40	5,34			
6	0-20	4,32	1 000	360	360
	20-40	4,30			
Moyenne			840	543,33	411,33
Coefficient de corrélation			0,01891144	0,78587282	0,37543055

Du tableau 35, l'étude du coefficient de corrélation montre que le pHeau se trouvant dans le sol de Makamba exerce une influence significative sur le rendement total en graines du haricot pour la saison 2010A, tandis qu'en 2008B et 2010B l'influence n'est pas significative.

Le tableau 36 montre l'influence du carbone sur le rendement du haricot en province Makamba.

Tableau 36 : Influence du carbone sur le rendement du haricot en province Makamba

N° de la parcelle	Résultats d'analyse chimique		Rendement en Kg/ha		
	Prof (cm)	Carbone %	2008B	2010A	2010B
1	0-20	1,11	460	400	420
	20-40	0,79			
2	0-20	1,38	1 030	600	500
	20-40	1,28			
3	0-20	1,38	850	800	400
	20-40	1,20			
4	0-20	1,74	900	400	288
	20-40	1,76			
5	0-20	1,74	800	700	500
	20-40	1,67			
6	0-20	0,69	1 000	360	360
	20-40	0,73			
Moyenne			840	543,33	411,33
Coefficient de corrélation			-0,00146027	+0,46365955	+0,82244304

Du tableau 36, l'étude du coefficient de corrélation montre que la quantité du carbone se trouvant dans le sol de Makamba affiche une influence significative en saison 2010B, tandis qu'en 2008B et 2010A l'influence n'est pas significative sur le rendement total en graines du haricot.

Le tableau 37 montre l'influence de l'aluminium sur le rendement du haricot en province Makamba.

Tableau 37. Influence d'aluminium sur le rendement du haricot en province Makamba

N° de la parcelle	Résultats d'analyse du sol		Rendement en Kg/ha		
	Prof (cm)	Al ³⁺ /100g	2008B	2010A	2010B
1	0-20 20-40	0,25 0,30	460	400	420
2	0-20 20-40	0 0	1 030	600	500
3	0-20 20-40	0 0	850	800	400
4	0-20 20-40	0 0	900	400	288
5	0-20 20-40	0 0	800	700	500
6	0-20 20-40	0,48 0,73	1 000	360	360
Moyenne			840	543,33	411,33
Coefficient de corrélation			0,23330615	-0,76169971	-0,67775237

Du tableau 37, l'étude du coefficient de corrélation montre que la teneur en aluminium de sol de Makamba affiche une influence significative négative sur le rendement total en graines du haricot pour les saisons 2010A et 2010B, tandis qu'en 2008B l'influence n'est pas significative.

Le tableau 38 montre l'influence de la capacité d'échange cationique sur le rendement du haricot en province Makamba.

Tableau 38 : Influence de la capacité d'échange cationique sur le rendement du haricot en province Makamba

N° de la parcelle	Résultats d'analyse du sol		Rendement en Kg/ha		
	Prof (cm)	C.E.C/100g	2008B	2010A	2010B
1	0-20	4,93	460	400	420
	20-40	3,95			
2	0-20	8,88	1 030	600	500
	20-40	8,49			
3	0-20	10,06	850	800	400
	20-40	10,06			
4	0-20	9,47	900	400	288
	20-40	9,47			
5	0-20	11,25	800	700	500
	20-40	11,05			
6	0-20	4,14	1 000	360	360
	20-40	3,55			
Moyenne			840	543,33	411,33
Coefficient de corrélation			0,23330615	0,76169971	0,67775237

Du tableau 38, l'étude du coefficient de corrélation montre que la C.EC affiche une influence significative positive sur le rendement total en graines du haricot pour les saisons 2010A et 2010B, tandis qu'en 2008B, l'influence n'est pas significative.

IV.3. DISCUSSION DES RESULTATS

L'objectif de notre travail est de pouvoir déterminer l'influence de quelques caractéristiques édaphoclimatiques sur le rendement des cultures vivrières et pouvoir nuancer les recommandations de fertilisation.

En effet, les résultats d'analyse du sol, les données climatologiques et les rendements de la dernière saison culturale ou les rendements de toutes les saisons nous ont permis de dégager des hypothèses et conclusions diverses.

Les observations que nous avons faites ont porté sur les résultats d'analyse du sol ainsi que la quantité des précipitations durant la saison de chaque culture. Ces résultats d'analyse concernent le pH, le Carbone, l'Azote, le Phosphore, le Potassium, les cations acides (Al^{3+} , H^+), la capacité d'échange cationique et la texture. Les rendements sont obtenus à chaque culture, à chaque parcelle, à chaque saison culturale et à chaque site d'étude.

IV.3.1. Rendements de la pomme de terre à Kayanza

Les résultats nous ont montré des facteurs qui influencent le rendement et d'autres non. Cette culture a besoin de 600 à 800 mm de précipitations pendant le cycle de développement (BREMNER, 1965). La pomme de terre a 4 mois de cycle végétatif. Nous avons enregistré 639,7 mm en 2008A et 672,7 mm en 2010A.

En 2008A, la répartition de la pluie était bonne. Nous avons les trois mois de cycle végétatif (Octobre-Décembre) des précipitations mensuelles variant entre 120 à 160 mm/mois. En 2010A, la répartition des précipitations était aussi bonne au moment de la plantation (mois d'Octobre) : nous avons 103,6 mm de précipitations. Les autres mois (Novembre 2009 à Janvier 2010), les précipitations sont variées de 120 mm à 260 mm/mois.

Nous remarquons que les précipitations ont une influence très significative positive sur le rendement total en tubercules de pomme de terre. Le coefficient de corrélation montre des valeurs qui, atteignent 100 % .

Quant à la granulométrie, le sable et le limon gros ne marquent pas d'influence significative sur le rendement quelque soit leur pourcentage. Les

éléments à tenir en compte sont : l'argile et Limon fin qui influencent le rendement car le coefficient de corrélation montre des valeurs $> 50\%$.

Concernant les résultats d'analyse du pH, nous remarquons que c'est un facteur qui influence le rendement car la pomme de terre s'adapte sur un pH légèrement acide de 5,5 à 6,5 (VAN DEN PUT, 1981).

Pour le carbone, les valeurs se trouvant entre 1 et 3,5 montrent un sol faible à moyen en carbone organique et pour celles supérieures à 3,5 le sol est riche en carbone (cf. tableau 14). La vie microbienne dans le sol est active car nous avons, selon les résultats, des valeurs entre 0,2-0,5 qui montrent une teneur moyenne en azote. Donc, on remarque que le carbone n'affiche pas d'influence significative sur le rendement car le coefficient de corrélation montre des valeurs négatives $< 50\%$.

Concernant l'Al, nous remarquons que la teneur en Al est forte avec des valeurs se trouvant entre 1,5 et 3. D'autres cas, la toxicité est forte pour les valeurs $< 0,5$. Ces éléments ont une influence significative négative sur le rendement de la pomme de terre.

Partant de la C.E.C, l'absorption est élevée étant donné que nous avons des valeurs se trouvant entre 10 et 25. On ne remarque donc pas d'influence selon le coefficient de corrélation, car les chiffres sont nettement $< 50\%$ sur le rendement.

Eu égard à nos observations, les rendements de pomme de terre dans les parcelles sont variés et pourraient être dus aux autres facteurs. Ces éléments sont associés par contre à d'autres techniques culturales comme l'utilisation de la matière organique plus l'engrais par exemple. Les variations des rendements pour les saisons pourraient être dues aux techniques culturales, différence de précipitations, rotation, restitution des résidus au sol, semences sélectionnées, utilisation de la fumure minérale et organique.

IV.3.2. Rendements du blé à Kayanza

Selon CIAT et GRET (2002), le blé a besoin de 400 à 500 mm des précipitations pour tout le cycle de développement. Nous avons compté 4 mois de cycle de développement de la plante. En 2008B, les précipitations étaient 340 mm, en 2009B 433 mm et en 2010B c'étaient 392,8 mm.

Nous remarquons que la pluie est un facteur qui a une influence significative positive sur le rendement du blé. Le rendement moyen de 2 790 kg/ha en 2009B supérieur aux rendements moyen de la saison

2008B (1598,69kg/) et 2010B (1637,5kg/ha) pourrait être dû à la quantité des précipitations suffisantes de 433 mm sans tenir compte des autres facteurs. C'était donc le facteur le plus limitant.

L'analyse chimique montre que ni le sable, ni le limon gros, ni l'argile ni le carbone et ni la CEC n'affichent pas d'influence sur le rendement du blé. L'étude du coefficient de corrélation montre des valeurs < à 50%.

En examinant les résultats d'analyse du sol, nous remarquons que le pH_{eau} a une influence significative positive sur le rendement du blé. L'étude du coefficient de corrélation montre des valeurs positives > à 50%.

Pour l'Al, les résultats d'analyse du sol ont montré une toxicité aluminique forte. L'étude du coefficient de corrélation montre que l'aluminium exerce une influence significative négative sur le rendement total en grains du blé. La variation du rendement pourrait être due à la différence des précipitations et même les techniques culturales appliquées à chaque producteur

IV.3.3. Rendements du haricot à Makamba

Concernant les précipitations, la pluie était suffisante pour tout le cycle de développement en toutes saisons culturales (> à 360 mm, quantité exigée pour le développement). L'étude du coefficient de corrélation montre que les précipitations exercent une influence significative positive sur le rendement total en graines du haricot. Mais la répartition de la pluie n'est pas bonne en toutes saisons.

En 2008B, les précipitations atteignaient 230,0 mm en Mars et augmentaient davantage jusqu'à 259 mm en Avril. En 2010A, nous avons 58,7 mm en Octobre alors en mois de Novembre-Décembre les précipitations dépassaient 200 mm/mois. En 2010B, la répartition était presque similaire à celle de 2008B sauf le mois d'Avril 2008 qui enregistrait plus du double de celui de 2010.

Pour les résultats granulométriques, nous avons une petite proportion du pourcentage du sable en général < à 40 %. En partant de l'étude du coefficient de corrélation, on remarque une influence significative positive négative sur le rendement total en graines du haricot.

Le Limon Gros n'exerce pas une influence significative. Toutes les valeurs sont < à 50 %. L'argile est le facteur qui exerce une influence significative

positive sur le rendement. Nous avons des rendements élevés à 800 kg/ha en 2008B à partir d'une proportion de 45 % d'argile.

Sur ce qui est du pH, les résultats d'analyse ont montré que le sol de Makamba est acide car les valeurs sont inférieures à 6 pour toutes les parcelles. L'étude du coefficient de corrélation a montré que le pH_{eau} exerce une influence significative positive pour la saison 2010A, tandis qu'en 2008B et 2010B l'influence n'est pas significative. Selon les normes d'interprétation, le sol de Makamba est de faible à moyen en général en carbone organique. D'une part, l'étude du coefficient de corrélation montre que le carbone affiche une influence positive en 2010B, et d'autre part en 2008B et 2010A l'influence n'est pas significative.

Concernant l' Al^{3+} , nous observons une toxicité aluminique faible car toutes les valeurs sont inférieures à 0,5. Nous remarquons qu'il y a une influence significative négative sur le rendement du haricot en saison 2010A et 2010B, tandis qu'en 2008B l'influence n'est pas significative. Quant à la capacité d'échange cationique, l'absorption est très faible ou moyenne pour certaines parcelles (2, 3, 4 et 5). La C.E.C affiche une influence significative positive sur le rendement en 2010A et 2010B, tandis qu'en 2008B l'influence n'est pas significative.

A vrai dire, les rendements élevés des parcelles 2, 4 et 6 pourraient être justifiés par l'utilisation de la matière organique plus l'engrais pendant le semis, la restitution des résidus au sol. Les variations de rendement selon les saisons sont dues à la différence des précipitations et à la rotation des cultures et à d'autres techniques culturales.

IV.3.4. Rendements de l'arachide à Makamba

Cette culture a besoin de 500 à 1 000 mm de précipitations durant tout le cycle de développement (VAN DEN PUT, 1981). Nous avons enregistré 652,8 mm de précipitations à la station de Makamba pour la saison 2009A. La répartition de la pluie était bonne ; nous avons de Novembre-Décembre 2008 et de Janvier à Février 2009 une variation allant de 128 à 160 mm de précipitations par mois. Sauf en Octobre 2008 où nous avons une quantité minime de 58 mm des précipitations.

Un sol sableux permet une germination des graines plus rapide et plus complète. Nous avons dans le tableau 11 un faible pourcentage de sable. Les sols argileux ne conviennent pas au développement d'arachide (MONTENEZ, 1957). Dans le tableau 11, le pourcentage d'argile est > à 45.

Tenant compte de l'acidité du sol de Makamba, le pH est acide. Toutes les valeurs se trouvent dans une fourchette de 4,30 à 5,90. En ce qui concerne l'élément carbone, le sol de Makamba est faible à très faible et à moyen élevé en carbone organique. Concernant les cations acides, l'aluminium a montré une très faible toxicité (valeurs $< 0,5$)

Enfin, concernant la CEC, le sol de Makamba est d'une capacité d'absorption élevée ou moyenne.

Les résultats aux rendements de l'arachide ne sont pas statistiquement discutables car nous avons travaillé sur une seule saison.

CHAPITRE V. CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

V.1. CONCLUSION

Vu le besoin de nourrir une population toujours croissante, la nécessité d'augmenter la production des cultures vivrières s'impose. Une plante mal nourrie en éléments nutritifs se trouvant sur un sol non favorable, soumise à des conditions pédoclimatiques ne répondant pas à la production subit des chutes de rendement.

Le sol, grenier des éléments minéraux dont la plante a besoin pour sa croissance est menacé par l'érosion. Les éléments nutritifs qui devraient servir à nourrir la plante migrent d'une région à une autre et/ou d'autres éléments sont entraînés par lessivage. L'exploitation intensive occasionne des pertes énormes en ces éléments et l'acidité du sol s'accroît.

Pour remédier à tous ces défis, il convient d'identifier le pH du sol et les éléments minéraux que contient le sol, sa texture, son état hydrique afin de pouvoir installer la culture en conditions pédoclimatiques qui lui sont favorables. C'est probablement l'analyse du sol et l'étude des facteurs climatiques qui pourraient aider à y répondre. L'étude qui vient d'être menée dans notre expérimentation a effectivement mis l'accent sur l'incidence des facteurs pédoclimatiques sur le rendement des cultures vivrières dans les régions naturelles de Mugamba (Kayanza) et Buragane (Makamba).

L'objectif était de pouvoir déterminer l'influence de quelques caractéristiques édaphoclimatiques sur le rendement des cultures vivrières en tenant compte de ces facteurs ci-haut cités qui risquent de réduire l'efficacité agronomique des engrais.

A la lumière des résultats obtenus, les sols de Makamba et Kayanza sont très différents en matière de la composition d'éléments nutritifs. Les facteurs pédoclimatiques influencent d'une manière ou d'une autre les rendements des cultures.

Les résultats de l'analyse statistique ont montré ce qui suit :

A Kayanza :

Pour le rendement de la pomme de terre, les facteurs pédologiques sont tels que le sable et le limon gros sont les deux éléments texturaux qui ne marquent pas d'influence significative sur le rendement, tandis que l'argile et le limon fin exercent une influence significative sur le rendement. Le sol est à dominance argileuse. Les valeurs sont supérieures à 45%. Plus les valeurs de l'argile augmentent, plus les rendements diminuent car le coefficient de corrélation montre l'influence significative positive. En outre, le pH_{eau} et l'Al exercent une influence significative sur le rendement. Tandis que le carbone et la CEC n'affichent pas une influence significative sur le rendement total en tubercules de pomme de terre.

Concernant les facteurs climatiques, la pluie a eu une influence similaire sur le rendement de pomme de terre pour les deux saisons considérées.

Pour le rendement du blé, tenant compte des besoins de la culture et la disponibilité des éléments dans le sol, le pH_{eau}, Al³⁺, et la CEC sont ceux qui ont affiché une influence significative sur le rendement du blé. Le limon gros, le sable, argile, carbone, et la CEC n'avaient pas influencé significativement le rendement du blé.

En ce qui est des facteurs climatiques ; les précipitations ont affiché une influence significative positive sur le rendement du blé.

A Makamba :

Concernant le haricot ; en facteurs pédologiques ; ceux qui ont marqué une influence significative sur le rendement étaient argile, pH_{eau}, Al³⁺ et la CEC. Tandis que le, sable et limon fin sont éléments texturaux qui affichent une influence significative sur le rendement du haricot.

En facteurs climatiques, vu les besoins en eau tout au long du cycle végétatif, la pluie avait montré une influence significative sur le rendement total en graines du haricot. Par contre, les variations des rendements en parcelles et en saisons culturales ont été observées. Les techniques culturales pourraient corriger la texture et la structure du sol et les rendements pourraient varier d'une région à l'autre et des producteurs à d'autres.

V. 2. RECOMMANDATIONS

Le présent travail, tout en ne prétendant pas épuiser tous les contours du sujet, n'est pas une fin en soi. Aussi loin de nous est l'idée de tirer des conclusions définitives. C'est pourquoi nous avons jugé bon de formuler les propositions suivantes à l'endroit des chercheurs qui voudront bien nous emboîter le pas sans oublier les agriculteurs et l'Etat. Globalement, sur l'analyse pédologique identifiant le comportement du sol en éléments nutritifs et sa texture tout en n'oubliant pas les recherches sur le climat.

- Pour avoir des résultats d'analyse chimique et granulométriques bons, on propose que l'expérimentateur prospecte soigneusement le sol tout en assurant une bonne homogénéité de la parcelle. Une analyse physico-chimique du sol s'avère nécessaire ; en effet, l'agriculture moderne est devenue un travail de précision qui fait appel aux analyses de sol pour diagnostiquer les défauts des parcelles cultivées.
- Une étude similaire à la notre mérite d'être entreprise pour les autres années ultérieures dans l'optique de s'assurer de la véracité de nos conclusions car, les facteurs pédoclimatiques possèdent des variabilités.
- Etant donné que notre étude a été menée dans la région naturelle de Mugamba et Buragane, on proposerait de refaire une étude pareille à la notre dans d'autres régions naturelles.
- Une autre étude similaire à la notre devrait être abordée sur d'autres cultures
- Il est impératif que l'Etat s'investisse plus dans le secteur agricole car les analyses du sol dans le Laboratoire de Chimie Agricole demandent des moyens pécuniaires énormes pour sortir les résultats.
- Il s'avère nécessaire que l'Etat cherche les moyens d'établir des formules de fertilisation selon la région, le type de culture après avoir analysé les facteurs pédologiques et climatiques. Cela augmentera la production de l'agriculteur quand il travaillera sur les normes reconnues.
- Comme nous avons trop de formules, il serait souhaitable d'avoir des essais locaux région par région.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. ANONYME, 1991 ; Mémento de l'Agronome, 1991.4^e édition. Collection « Techniques rurales en Afrique » 1635P
2. ANONYME ,2002.Mémento de l'Agronome CIRAD-GRET ,1961P.
3. Autriche A et PERREAUX. D, 1989 .Maladies et ravageurs des cultures de la région des grands lacs d'Afrique AGCD, publication de service agricole no 24, Bruxelles, Belgique, Bujumbura, Burundi, 232P.
4. BADAMI, 1928.The sis cité par Hunter and Leake 1933. Recent advances un plant breeding. Landers. Churchill Ltd. P. 188-194.
5. BANDUSHUBWENGE D., 2008. Pédologie et Fertilisation. Cours 3e Agriculture ISA. Université du Burundi.
6. BOCKMAN O . C , KAARSTAD O., LIE O. H et RICHARDS. B.N, 1990. Agriculture et fertilisation; les engrais- leur avenir. Nor. Hydro, Norvège, 24-254p.
7. BOYER. J. ,1978. L'Aluminium échangeable. Incidences agronomiques et correction de sa toxicité. Cash. ORSTOM, Série Pédologie. Vol IX, no 4. 297-303P.
8. BUFFIL, 1949. Biologie, Ecologie et Sélection de l'arachide au Sénégal. Paris, Ministre de la France d'Outre – Mer. Bull-Sci., no 1.122P.
9. BURTON W.G., 1989 Potato 3rd édition P1-35.
10. CHEVALIER, 1934-1935. Monographie de l'arachide. Paris. Rer. Bot. Appl., Agic. Trop, V.B.P.
11. CIP ,1987. La pomme de terre. Bulletin d'information Technique de 1 à 19. Lima – Pérou. 136 p.
12. CRAWFORD T. W.; J. R.; SINGH U.; AND H et BREMAN, 2009. IFDC Catalist.
Résoudre les problèmes agricoles relatifs à l'acidité du sol dans la région des grands lacs de l'Afrique Centrale. Rapport du Projet Catalist. IFDC Burundi 245 P.
13. DEWALE D. ; SWANEVELDER C. J., 2001. Agriculture en Afrique Tropicale. Direction générale de la coopération, internationale. Ministre des affaires Etrangères, du commerce extérieur et de la coopération internationale, Bruxelles Belgique, P767-785.
14. DOMINIQUE S., 1990. Les grandes productions végétales. Céréales, plantes sarclées et prairies. 17^e édition. Paris France.
15. DUCHAUFFOUR P., 1965. Précis de Pédologie. Masson et Cie, 2^e édition Paris France.
16. EUVERTE G., 1996. Les climats et l'agriculture. 2^e édition mis à jour. Paris France P37-42

17. FAO, 1970. Les engrais et leurs applications. Précis à l'usage des vulgarisateurs, 58P.
18. FAO, 1987. Association internationale des industries des engrais. Rome 92P.
19. Atelier de formation sur les techniques et de conservation des semences de haricot. Bujumbura, 177P.
20. GATE P., 1995. Ecophysiologie du blé. Paris ; Tee-Doc. Lavoisier, 425P.
21. GILLIER P., 1968. L'Arachide et le Molybdène C. R Académie. Française ; V-L II no 6p.
22. GILLIER P. et SILVESTRE P., 1969. L'Arachide. In techniques nith ground muts in northern Nigeria- Samaru. Zaria- Inst. Agric-Res. Ahmadu bello. Univ.; p 351-367.
23. GIRAD M. C., WALTER C.; REMY J. C.; BERTHELIN J. et MOREL. J.L, 2005. Sol et environnement sciences snp Paris 816P.
24. GODDERIS W., 1995. La culture du haricot au Burundi. AGCD (Administration Générale de la Coopération au développement) Publication no 32, 163p.
25. GRISON C., 1983. La pomme de terre. Caractéristiques et qualités alimentaires. Institut de la pomme de terre, 35 rue du Général F.Y 75 008, Paris, 283p.
26. GROS A ; 1979. Guide pratique de fertilisation. Paris, la Maison Rustique. 382p.
27. HARRIS P.M., 1978. Pomme de terre, maladies et nématodes. Centre international de GPDT (CIP).
28. IMPENS W., 1993. Séminaire sur la culture du haricot. ISABU.
29. INADES, 1980. Les productions de l'agriculture : l'arachide. Cours d'apprentissage agricole, INADES formation, Abidjan, Côte d'Ivoire, 51p.
30. ISABU, 2002. Carte des régions naturelles et provinces. Modifiée et cartographiée par le Centre d' Information Environnemental(CIE).
31. ISABU, 2002. Synthèse référentielle des travaux de recherche sur la fertilisation des cultures au Burundi. Bujumbura, 92p.
32. KABURUNGU S., 1981. Contribution à l'étude pédo-agronomique de la région des communes de Makamba et Mabanda. Mémoire U.B. FACAGRO, 87p.
33. KAOURITCHEV et COLL., 1983. Manuel pratique de pédologie. ISABU, 278P.
34. KAZUNGU C., 1978. Développement épidémique du mildiou de la pomme de terre et proposition d'un système de traitement pour les avertissements dans les conditions climatiques de la station ISABU-GISOZI, Mémoire, U.B, FACAGRO. 79p.
35. LANDA C., 1988. Vingt ans d'essais de fumure sur cultures vivrières au Burundi (1963-1983). Synthèse des résultats et recommandations. ISABU. 129p.

36. LOUDELOUT H. et FRANKART R., 1974. Sciences du sol. Université Catholique Louvain. Faculté des sciences agronomiques. 235p.
37. MATTHIEU C., 1987. Projet agro-pédologique pour le développement et la vérification des modèles de cultures de blé et du maïs en haute altitude au Burundi. ISABU. 65p.
38. MICHEL J.C., 1981. Larousse agricole. Librairie Larousse, 17 rue de Mont Parnasse et 114 Boulevard Raspail 75 006 Paris. P 874-878
39. MONTENEZ, 1957. Recherches expérimentales sur l'écologie de la germination chez l'arachide. Bruxelles. Dir. Agric. Forêt Elevage, 130p.
40. MOULE C., 1980. Phytotechnie spéciale. Paris, la Maison Rustique, 318p.
41. NDAYIRATA S., 2005. Essai de comportement de la pomme de terre dans le monde rural et analyse de l'acceptabilité des techniques culturales modernes pour cette culture. Cas de la commune Muruta à Kayanza. Mémoire. U.B, FACAGRO, 101p.
42. NGENDAKURIYO, 1978. Contribution de la dose optimale N-P-K sur la pomme de terre (Var Arka) en région de haute altitude (Gisozi). Mémoire. U.B FACAGRO, 62p.
43. NIYONGERE C., 1998. Contribution au criblage variétal pour la résistance au Mildiou et à la Bactériose vasculaire. Cas de 12 géotypes de pomme de terre évalués à la station ISABU de Gisozi. Mémoire. U.B. FACAGRO, 77p.
44. NIZIGIYIMANA A., 1986. Etude de l'effet de l'addition d'intrants minéraux au fumier sur la valeur fertilisante. Mémoire. U.B. FACAGRO, 127p.
45. NORSKHYDRO, 1990. Agriculture et fertilisation. Les engrais-leur avenir, leur rôle dans l'amélioration de notre planète, les défis de l'environnement. Y'a-t-il une alternative ? Norvège, 258p.
46. NTEMAKO G et HITIMANA., 2000. Etude comparative de deux types de matière de plantation (plançons et vitro plants) sur les caractéristiques de croissance et de production de la pomme de terre (*Solanum tuberosum*, Var Rukinzo). Mémoire. U.B. ISA. 71p.
47. POTTS M.J. et KAYITARE, 1985. Guide pratique pour la multiplication des semences de la pomme de terre. Fiche technique ISABU- GISOZI no 006. 39p.
48. REED, 1924. Anatomy, embryology and ecology of *Arachis hypogaea*. New York. Bot. Gaz. V78, p289- 310.
49. ROMAIN H. et REAMAEKERS. 2001. Agriculture en Afrique tropicale. Direction générale de la coopération internationale. Ministère des affaires étrangères, du commerce extérieur et de la coopération internationale. Bruxelles, Belgique. 1634p.
50. SHIBUYA T., 1935. Morphological and physiological of peanut (*Arachis hypogaea* L). Formose Imp. Univer. 120p.

51. STANTON W.R., 1970. Légumineuses à graines en Afrique. FAO, Rome, 199p.
52. TESSENS E., 1993. Exigences climatiques et édaphiques de la culture du haricot au Burundi. In Séminaire sur la culture du haricot au Burundi, Bujumbura, p27-38.
53. VAN DEER ZAAG D.E., 1992. Potatoes and their cultivation in the Netherlands, Magingen, 72p.
54. VAN DEN PUT, 1981. Plantes oléifères. Les principales cultures en Afrique centrale, l'arachide. 563p.
55. VAN DEN ZAAG P., 1978. La fertilité du sol et ses exigences dans la production de la pomme de terre. Bulletin d'information technique no 11. CIP Lima Pérou, 136p.
56. WIERSEMA. S.G., 1986. Influence de la densité des tiges sur la production de la pomme de terre. Bulletin d'information technique no 1. Lima Pérou, 136p.
57. WOUTERS, 1991. Maintien et amélioration de la fertilité des sols du Burundi pour la valorisation des ressources calco-magnésiennes locales. Rapport de synthèse. Bujumbura. U.B. FACAGRO, 47p.
58. YARBROUGHT., 1957. *Arachis hypogea*. The seedling. Its epicotyl and folior argans. Baltimore. Amer.J.of Bot. V, no 44.
59. ZILLINSKY N., 1998. Maladies et ravageurs des céréales à pailles. Paris Grignon, 119p.
60. ZOZIMO H., 1987. Conservation of potato genetic resources at CIP. circular 14. p1-7. A. G. C. D., Bruxelles- Belgique, p373-382.