UNIVERSITÉ DU BURUNDI
GRENIER DU SAVOIR DU BURUNDI
Dépôt institutionnel officiel
https://repository.ub.edu.bi

Détermination de la teneur en potassium, sodium, cuivre et manganèse dans cinq cultivars de gomboabelmoschus esculentus (l.) Moenchcultives à Bujumbura

Nkurunziza, Sébastien

2020-10
UB, Faculté des Sciences
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/285

Document téléchargé depuis le **Grenier du Savoir du Burundi** — https://repository.ub.edu.bi

UNIVERSITE DU BURUNDI

FACULTE DES SCIENCES

Département de Chimie

DETERMINATION DE LA TENEUR EN POTASSIUM, SODIUM, CUIVRE ET MANGANESE DANS CINQ CULTIVARS DE GOMBO *ABELMOSCHUS ESCULENTUS (L.)* MOENCH CULTIVES A BUJUMBURA

Par

Sébastien NKURUNZIZA

Mémoire présenté et défendu publiquement en vue d'obtenir le diplôme de Master en Sciences Chimique

OPTION : Contrôle et Analyses Chimiques

Sous la direction de : **Prof. Jean-Chrysostome NDAMANISHA**

Bujumbura, octobre 2020

MEMBRES DU JURY

Président : Prof. NIZIGIYIMANA Libérata

Directeur : Prof. NDAMANISHA Jean Chrysostome

Secrétaire : Dr. MPAWENAYO Pierre Claver

Membre : Prof. NTAKARUTIMANA Vestine

DEDICACES

A mes regrettés parents ;

A mes frères et sœurs ;

A ma belle-sœur NIYONZIMA Léa.

REMERCIEMENTS

Mes mots de remerciement vont en premier lieu à mes regrettés parents qui ont conjugué leurs efforts afin que je puisse fréquenter le milieu scolaire.

Un merci particulier est adressé à mon Directeur de mémoire, Professeur Jean-Chrysostome NDAMANISHA pour le temps qu'il a consacré pour moi pendant la direction de ce mémoire malgré d'autres tâches qui lui sont attribuées à l'Université du Burundi.

J'exprime ma gratitude à Madame le Responsable de notre Mastère, Professeur Vestine NTAKARUTIMANA pour la bonne collaboration qui lui a caractérisé durant toutes les deux ans du cycle de Mastère.

J'adresse un remerciement très spécial au Centre de Recherche en Sciences Naturelles et de l'Environnement (CRSNE) pour sa contribution matérielle afin que le présent travail soit réalisé.

J'envoie mes remerciements envers Tous les professeurs de la Faculté des Sciences, principalement ceux du département de Chimie, pour des différentes connaissances qu'ils ont inculquées en moi depuis le premier jour de ma fréquentation dans la faculté des sciences.

Un grand merci est adressé à l'Ambassadeur de la République Populaire de Chine au Burundi, pour son initiative de donner une assistance à certains étudiants du cycle de mastère dont j'étais membre, durant les deux ans du cycle de mastère.

Je tiens aussi cette occasion pour remercier ma belle-sœur NIYONZIMA Léa, pour sa contribution matérielle lorsque j'étais dans le premier cycle universitaire surtout en première candidature de chimie- géologie.

Je tiens également cette occasion pour remercier les collègues de ma promotion pour les mots d'encouragement partagés.

Enfin, je dis grand merci à tous ceux qui ont contribué d'une façon ou d'une autre à la réalisation de ce travail plus particulièrement IRAKOZE Eliphaz, étudiant de mastère 2 en Biologie des Organismes et Ecologie, pour le service qu'il nous a rendu dans la caractérisation des cinq différents cultivars de Gombo sur lesquels est porté notre objet d'étude.

LISTE DES ABREVIATIONS

ACP : Analyse en Composantes Principales

ANOVA : Analyse de la variance

AT : Acidité Totale

CE : Conductivité Electrique

CEC : Capacité d'Echange Cationique

CRSNE : Centre de Recherche des Sciences Naturelles et de l'Environnement

ETM : Eléments Traces Métalliques

ISABU : Institut des Sciences Agronomiques du Burundi

LASPA : Laboratoire d'Analyse des Sols et des Produits Agro-alimentaires

LF : Limon Fin

LG : Limon Grossier

Nm : Nanomètre

PA : Phosphore Assimilable

ppm : Partie Par Million

µm : Micron-mètre

µs : Micro-seconde

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1 : Carte de localisation du terrain d'expérimentation.....12

Figure 2.2 : Représentation du terrain d'expérimentation qui spécifie le rangement des poquets 13

Figure 2.3 : Photos des cinq Cultivars de Gombo.....15

Figure 3.1: Analyse en composantes principales, cercle de corrélation des teneurs en éléments minéraux des organes (feuilles et fruits) 29

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 : Caractéristiques morphologiques des 5 cultivars de gombo qui ont fait l'objet de l'étude.....14

Tableau 3.1 : Teneurs moyennes en potassium, sodium, cuivre et manganèse dans les fruits. 19

Tableau 3.2 : Teneurs moyennes en potassium, sodium, cuivre et manganèse dans les feuilles.....19

Tableau 3.3 : Résultats des paramètres physico-chimiques du sol. 20

Tableau 3.4 : Comparaison multiple (Test de Tekuy) des teneurs en cuivre dans les fruits des cinq cultivars 21

Tableau 3.5 : Comparaison multiple (Test de Tekuy) des teneurs en manganèse dans les fruits des cinq cultivars. 22

Tableau 3.6: Comparaison multiple (Test de Tekuy) des teneurs en sodium dans les fruits des cinq cultivars. 23

Tableau 3.7: Comparaison multiple (Test de Tekuy) des teneurs en potassium dans les fruits des cinq cultivars. 24

Tableau 3.8: Comparaison multiple (Test de Tekuy) des teneurs en cuivre dans les feuilles des cinq cultivars. 25

Tableau 3.9: Comparaison multiple (Test de Tekuy) des teneurs en manganèse dans les feuilles des cinqcultivars. 26

Tableau 3.10: Comparaison multiple (Test de Tekuy) des teneurs en sodium dans les feuilles des cinq cultivars. 26

Tableau 3.11: Comparaison multiple (Test de Tekuy) des teneurs en potassium dans les feuilles des cinq cultivars. 27

RESUME

Cinq dans vingt-quatre cultivars semés de Gombo *Abelmoschus esculentus (L.)* Moench appelé en kirundi umurenda ont été identifiés par les chercheurs du Centre de Recherche des Sciences Naturelles et de l'Environnement (CRSNE) de la Faculté des Sciences de l'Université du Burundi. Il a été montré que le rendement de ces cinq cultivars sur lesquels est porté notre objet d'étude, est intéressant **(NKENGURUTSE et al., 2018)**.

L'objectif de ce travail est de déterminer leurs teneurs en certains éléments minéraux et de faire une comparaison de ces teneurs entre ces différents cultivars d'une part, et entre certains de ses organes, d'une autre part.

Pour ce faire, un terrain d'expérimentation a été aménagé dans les enceintes de la Faculté des Sciences de l'Université du Burundi. Après la fertilisation par la fumure organique dans les poquets, trois graines par poquet ont été semées avec un espacement de 50 cm. Des fruits de maturité d'une semaine et quatre jeunes feuilles terminales ont été récoltés dans des paniers numérotés en fonction du cultivar et de la partie échantillonnée. La détermination des teneurs en éléments minéraux a été effectuée sur ces échantillons par la méthode spectrophotométrique d'absorption atomique (SAA).

Les résultats traités par l'ANOVA et l'analyse en composantes principales (ACP) ont montré que les fruits et les feuilles des 5 cultivars de gombo cultivés au jardin expérimental du CRSNE de l'Université du Burundi ont des teneurs en sels minéraux différentes. Ainsi, comme la stratégie la plus efficace de lutter contre la déficience en sels minéraux est de mettre en place une bonne politique nutritionnelle qui montre le rôle important d'une alimentation diversifiée, il est important de consommer les feuilles qui sont plus riches en micronutriments majeurs (potassium et sodium) et les fruits sont plus riches en oligo-éléments (manganèse et cuivre).

Mots-Clés : Gombo, Cultivars, Fruits, Feuilles, Teneur.

ABSTRACT

Five in twenty-four cultivars sown of Okra Abelmoschus esculentus (L.) Moench called in Kirundi umurenda, have been identified by researchers from the Research Centre for Natural and Environmental Sciences (CRSNE) of the University of Burundi sciences faculty. It was shown that the productivity of these five cultivars, on which our object of study is focused, is interesting.

This work aims to determine some of these cultivars mineral elements contents and to make a comparison of these contents between different cultivars on the one hand, and between their organs on the other hand.

Thus, an experimental field has been made at the University of Burundi Sciences faculty. After fertilization with organic manure in the pots spaced of 50 cm, three seeds per pot were sown. The One week mature fruits and four young terminal leaves have been collected in baskets numbered according to the cultivar and the sampled part. The determination of mineral element contents was carried out on by the atomic absorption spectrophotometric (AAS) method.

The results processed by ANOVA and Principal Component Analysis (PCA) showed that the fruits and leaves of the 5 okra cultivars grown at the CRSNE experimental garden of the University of Burundi have different mineral salt contents. Therefore, as the most effective strategy to fight against the mineral salt deficiency is a good nutrition policy implementation that shows the required role of a diversified diet, it is necessary to consume leaves which are rich in major micronutrients (potassium and sodium) and fruits which are rich in oligo-elements (manganese and copper).

Keywords : Okra, Cultivars, Fruits, Leaves, Content.

TABLE DES MATIERES

MEMBRES DU JURY i

DEDICACES ii

REMERCIEMENTS iii

LISTE DES ABREVIATIONS iv

LISTE DES FIGURES v

LISTE DES TABLEAUX vi

RESUME vii

ABSTRACT viii

TABLE DES MATIERES ix

AVANT PROPOS xii

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE I : GENERALITES 4

I.1. ABELMOSCHUS ESCULENTUS (L.) MOENCH 4

I.1.1. Espèce Abelmoschus esculentus 4

I.1.2. Cycle végétatif 5

I.1.3. Exigences écologiques 5

I.1.3.1. Exigences climatiques 5

I.1.3.2. Exigences édaphiques 6

I.1.4. Maladies et insectes ravageurs 6

I.1.4.1. Maladies 6

I.1.4.2. Ravageurs 7

I.1.5. Lutte contre les ravageurs du gombo 8

I.1.5.1. Lutte préventive....8

I.1.5.2. Lutte curative....9

I.2. Généralités sur les traitements statistiques....9

I.2.1. Principe des tests statistiques....9

I.2.1.1. Méthodologie....9

I.2.1.2. Hypothèse nulle et hypothèse alternative....9

I.2.1.3. Statistique et niveau de signification....10

I.2.1.4. Test d'homogénéité....10

I.2.1.5. Tests de normalité....10

I.2.2. Quelques tests d'analyse en statistique....10

I.2.2.1. Analyse en composantes principales (ACP)....10

I.2.2.2. Analyse de la variance (ANOVA)....10

I.2.2.2.1. Terminologie....10

I.2.2.2.2. Objectif....11

I.2.2.2.3. Conditions fondamentales de l'ANOVA....11

I.2.2.3. Comparaison multiple (Test de Newman Keuls et de Tekuy)....11

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES....12

II.1. Localisation de la zone d'étude....12

II.2. Caractérisation du sol du terrain d'expérimentation....12

II.3. Semis....13

II.4. Caractérisation morphologique des cinq cultivars de Gombo....14

II.5. Echantillonnage....15

II.6. Minéralisation et préparation des solutions....16

II.6.1. Minéralisation 16

II.6.2. Préparation des gammes d'étalonnage 16

II.6.2.1. Potassium 16

II.6.2.2. Sodium 17

II.6.2.3. Manganèse 17

II.6.2.4. Cuivre 17

II.7. Dosage par spectrophotométrie d'absorption atomique(SAA) (ADOUANI, 2020) 17

II.7.1. Principe 17

II.7.2. Mode opératoire 18

CHAPITRE III : PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS 19

III.1. Présentation des résultats 19

III.2. Discussion des résultats 21

III.2.1. Comparaison des teneurs en potassium, sodium, cuivre et manganèse dans les fruits des 5 cultivars 21

III.2.2. Comparaison des teneurs en potassium, sodium, cuivre et manganèse dans les feuilles des 5 cultivars 24

III.2.3. Comparaison des teneurs en potassium, sodium, cuivre et manganèse entre les fruits et les feuilles des 5 cultivars 28

III.2.4. Influence des paramètres physico-chimiques du sol sur la teneur en éléments minéraux des organes du Gombo 30

CONCLUSION GENERALE 32

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 33

AVANT PROPOS

Le présent mémoire est initialement rédigé dans l'objectif de poursuivre l'activité de recherche qui a été menée par nos prédécesseurs chercheurs du Centre de Recherche en Sciences Naturelles et de l'environnement (CRSNE).Ces chercheurs ont mené une activité sur la plante appelé Gombo en kirundi UMURENDA et qui est une plante récente ici au Burundi .Ils se sont basés sur l'identification des caractères morphologiques de certains cultivars mais ils ne sont pas parvenus à faire des recherches sur la composition biochimique de ces différents cultivars .

Dans l'objectif de compléter l'activité menée par nos prédécesseurs chercheurs, nous déterminerons les teneurs de ces différents cultivars en certains éléments minéraux (Potassium, Sodium, Manganèse et Cuivre).

Après la détermination de ces éléments minéraux, nous ferons une étude comparative des teneurs en éléments minéraux entre les feuilles et les fruits ainsi qu'entre ces différents cultivars

INTRODUCTION GENERALE

Au Burundi, l'agriculture reste une activité très importante dans le processus de développement : Le plan national de développement place la production agricole au premier plan **(PND-BURUNDI, 2018)**. Elle occupe plus ou moins 95% de la population active et fournit 95% de l'offre alimentaire. Bien que cette activité occupe 90% de la population Burundaise **(MINAGRIE, 2014)**, la malnutrition persiste au Burundi et trouve ses racines dans les carences nutritionnelles surtout une insuffisance d'absorption d'aliments riches en micronutriments **(WFP-BURUNDI, 2012)**. Ces micronutriments sont indispensables au bon fonctionnement de notre organisme qui ne les synthétise pas et agissent dans la plupart des systèmes enzymatiques, des métabolismes et de la construction cellulaire **(BURDIN et al., 2014)**.

Ainsi, l'ion sodium (Na^+) étant le principal cation du milieu extracellulaire, il retient l'eau et est ainsi le garant de l'hydratation extracellulaire. Il est également présent dans le sang. Toute perte de sodium (vomissement, diarrhées, sudation forte) risque d'entraîner une déshydratation **(MIZEHOUN, 2016)**. Le potassium étant le principal cation du compartiment intracellulaire, participe activement à la contraction musculaire, à la transmission de l'influx nerveux et, d'une manière générale, à tous les potentiels de membrane **(VALDIGUIE, 2000)**.

Le cuivre est essentiel au métabolisme cellulaire puisqu'il est indispensable à l'activité d'un grand nombre d'enzymes, soit comme constituant de l'enzyme, soit comme cofacteur. Ainsi, il intervient dans de nombreuses réactions enzymatiques, notamment celles qui impliquent une oxydo-réduction (dans ces réactions, le cuivre permet de lier ou d'activer l'oxygène moléculaire) **(PICAUD, 2017)**.

Chez l'homme, le manganèse est essentiel pour le fonctionnement optimal de nombreux systèmes enzymatiques, où il peut intervenir en tant que partie intégrante d'un coenzyme. Mais, le plus souvent, le manganèse intervient dans les systèmes enzymatiques en tant que cofacteur non spécifique en se fixant sur le substrat ou sur l'apoprotéine **(MISSY, 2001)**.

Les déficits en oligo-éléments (micronutriments) peuvent évoluer vers des carences qui correspondent à une insuffisance majeure et qui est à l'origine de manifestations pathologiques parfois dramatiques **(PICAUD, 2017)**.

Le gombo appartient à la famille des Malvacées et au genre *Abelmoschus*. Cette plante est récente au Burundi **(NKENGURUTSE et al., 2018**) et il a été montré qu'elle est riche en

magnésium, potassium, manganèse , sodium et en cuivre **(KOUASSI, 2013)**. En Afrique, le gombo est un légume de grande consommation et il est cultivé sur toute l'étendue du territoire ivoirien **(CNRA-COTE D'IVOIRE, 2007)**.

La caractérisation des morphologies et des rendements des cultivars cultivés au Burundi vient d'être rapportés par nos collègues du Centre de Recherche des Sciences Naturelles et de l'Environnement **(NKENGURUTSE et al., 2018)**. Les résultats ont révélé 5 cultivars bien distincts par l'analyse en composante principale (ACP) et ANOVA. Sans faire recours au traitement phytosanitaire ni fertilisant, des rendements comparables à ceux décrits dans d'autres pays **(IVANICE et al., 2013)** ont été obtenus. Ainsi, la culture de gombo semble être une activité prometteuse au Burundi **(NKENGURUTSE et al., 2018)**.

D'autres recherches ont été menées sur cette plante. Ainsi, l'évaluation des facteurs influençant le profit de la culture de gombo dans les conditions pédoclimatiques et socio-économiques de Lubumbashi en RDC **(KALUMBU et al., 2015)** a montré que les contraintes phytosanitaires, les coûts de transport et les faibles prix aux producteurs limitent considérablement la rentabilité financière de la culture de gombo. Aussi**,** l'effet de la date de semis sur la production du gombo (*abelmoschusspp*) a été étudié **(FONDIO et al., 2003)**. Il a été constaté que la date de semis joue une influence sur la croissance en hauteur, le développement végétatif des plants, le fleurissement et le rendement en fruit.

De plus, l'influence des conditions agro- climatiques de Sédhiou au Sénégal sur le rendement de six variétés de gombo (*Abelmoschus esculentus (L.) Moench*) a été étudié et les résultats ont montré que la variété Shirangevee était plus productive (11,26 t ha-1) que les autres. Le pourcentage d'attaque des capsules était très faible chez la variété F1 Lima (4,85 %) et les capsules les plus longues ont été observées chez les variétés Shukarsha (19,00 cm) et Shirangevee (18,68 cm) **(THIAW et al., 2019)**. Il a été montré que le gombo a une bonne tolérance au déficit hydrique survenant lors de la boutonisation et de la floraison **(SAWADOGO et al., 2006)** et que le fumier organique joue un rôle important dans la réponse du gombo face au déficit hydrique **(KONATE et al., 2016).**

D'après ces derniers travaux de recherche sur le gombo, il nous parait intéressant de faire l'étude sur les cinq cultivars déjà identifiés **(NKENGURUTSE et al., 2018)** parmi les vingt-quatre cultivars de gombo que nous avons semés ici au Burundi en déterminant leur teneur en éléments minéraux. Ce travail est le premier au Burundi et il permettra de savoir s'il est nécessaire de multiplier le gombo dans l'agriculture burundaise.

En effet, les teneurs nutritionnelles dépendent des régions **(FAO, 2015)** et climats **(HARKAT, 2014)**. Il est important de montrer que la culture du gombo pourra résoudre le problème nutritionnel au Burundi. Aussi, tous les organes d'une plante n'ont pas la même teneur en éléments minéraux **(GUEGUEN, 1960)**. La présente étude va montrer l'organe de la plante le plus riche en tels ou tels autres éléments minéraux.

De cela, on formule **l'hypothèse** qu'il y aurait une différence de teneurs en éléments minéraux dans les feuilles et dans les fruits en fonction des cultivars.

L'objectif global vise à contribuer à l'amélioration de la nutrition de la population burundaise, en contribuant à connaître les vertus nutritionnelles du gombo.
Pour arriver à cet objectif global, trois objectifs spécifiques ont été fixés. **Le premier objectif spécifique** est de déterminer la teneur en éléments minéraux (sodium, potassium, cuivre et manganèse) dans les feuilles et les fruits des cinq cultivars de gombo rencontrés au Burundi puis **le deuxième** consiste à faire une étude comparative des teneurs en éléments minéraux, entre les cinq cultivars et **le dernier objectif spécifique** est de faire une comparaison des teneurs en éléments minéraux des feuilles et fruits de gombo pour en déterminer la partie la plus riche.

CHAPITRE I : GENERALITES

I.1. ABELMOSCHUS ESCULENTUS (L.) MOENCH

I.1.1. Espèce Abelmoschus esculentus

❖ **Description botanique**

- Feuilles

Portées par un long pétiole (Jusqu'à 35 cm), les feuilles de gombo sont alternées et présentent un limbe le plus souvent palmatilobé. Les feuilles sont en général de couleur verte avec une différence qui se situe au niveau de la couleur des nervures.

Elles peuvent être de coloration verte ou rouge. La forme de la feuille est variable sur un même pied, il faut donc attendre à partir de la huitième feuille pour observer une stabilisation de la forme **(PIZONGO, 2014)**.

- Tige

La tige de l'espèce est érigée et peut atteindre 1,5 à plus de 3 m de haut. Elle est cylindrique, de couleur pourpre ou verte, glabre ou légèrement pubescente et se lignifie ultérieurement. La tige présente des ramifications dressées ou courbées vers le bas et qui sont plus ou moins importantes suivant les variétés. Sur le plan agricole, on distingue deux groupes de variétés : les variétés à tiges courtes et celles à tiges longues. Il existe cependant une large gamme de plantes dont la hauteur est intermédiaire **(PIZONGO, 2014)**.

- Racines

Le gombo a un système racinaire pivotant avec de nombreuses racines secondaires. Ce système lui permet d'une part de fixer la plante en profondeur et d'autre part d'y puiser l'eau et les sels minéraux dont elle a besoin **(PIZONGO, 2014)**.

- Fleurs et les fruits

Les fleurs de gombo, comme celles de la plupart des Malvacées, sont éphémères, hermaphrodites, axillaires, solitaires et de grandes dimensions. Elles sont de couleur crème, jaune ou jaune d'or avec une coloration rouge à la base des cinq pétales libres. L'anthèse se produit très tôt dans la matinée. A l'aube, les fleurs sont épanouies. Elles demeurent ouvertes toute la matinée et se referment dans le milieu de l'après-midi. Elles sont fanées le soir et les pétales tombent dès le lendemain.

Le fruit est une capsule érigée, cylindrique, fusiforme, de section ronde (fruit lisse) ou anguleuse (5 à plus de 10 arêtes par fruit). De coloration variable (vert à rouge), les fruits peuvent être duveteux, légèrement rugueux ou épineux. Ils sont récoltés frais quelques jours après la floraison. En effet, la croissance du fruit est maximale la première semaine. Au-delà, il se lignifie et devient impropre à la consommation. A maturité, les fruits deviennent fibreux et s'ils ne restent pas complètement fermés, s'ouvrent par des fentes longitudinales **(OUEDRAOGO, 2009)**.

- Graines

De forme globuleuse à ovoïde, glabres ou duveteuses, les graines de gombo sont assez grosses et de couleur grise. Conservées dans des conditions favorables, elles peuvent conserver leur pouvoir germinatif durant deux ans et même plus **(OUEDRAOGO, 2009)**.

I.1.2. Cycle végétatif

Le cycle du gombo varie de trois mois pour les variétés les plus précoces à un an et parfois plus pour les plus tardives. La multiplication se fait par graine. La germination a généralement lieu au bout d'une semaine. Selon la variété et les conditions climatiques, la floraison se produit un à deux mois après le semis. Elle est continue dans le temps. *Abelmoschus* est autocompatible.

Cependant, il est aussi susceptible de fécondation croisée par des insectes pollinisateurs à un taux qui peut atteindre 20%. Après la fécondation, la croissance du jeune fruit est rapide. L'ovaire de moins de 2 cm donne en trois jours un fruit de plus de 5 cm de long. La croissance est ralentie par la suite. Pour l'utilisation en légumes, les jeunes fruits sont cueillis environ une semaine après la floraison. En enlevant régulièrement les jeunes fruits, on obtient une croissance végétative et une floraison soutenues, ce qui prolonge la durée de la période productive.

La maturation correspond à la phase de lignification du fruit. Elle commence une semaine après la floraison et dure environ un mois **(OUEDRAOGO, 2009)**.

I.1.3. Exigences écologiques

I.1.3.1. Exigences climatiques

Le gombo est une espèce bien adaptée aux climats chauds et humides. Il est sensible à la sécheresse mais cette sensibilité varie suivant les phases du cycle. L’effet du stress hydrique

en phase de boutonisation est très néfaste pour le gombo et se manifeste par une baisse des composantes du rendement. Cependant, un arrosage artificiel peut permettre au gombo de satisfaire ses besoins en eau et en sels minéraux. En climat sahélien, les besoins en eau du gombo au cours d'un cycle cultural complet sont de l'ordre de 780 à 1000 mm.*A. esculentus* ne supporte pas des températures nocturnes trop basses. Il nécessite des températures supérieures à 20°C pour avoir une croissance normale. L'initiation florale et la floraison sont retardées à mesure que la température s'élève et les meilleurs rendements sont obtenus en périodes sèches **(Nana, 2005**). Le gombo est une plante photopériodique. Cependant, sa large répartition géographique jusqu'à des latitudes de 35-40° indique qu'il y a des différences marquées entre cultivars à cet égard **(OUEDRAOGO, 2009)**.

I.1.3.2. Exigences édaphiques

Le gombo tolère une grande diversité de sols. Cependant, il préfère les sols profonds, limono-sableux, bien drainés et riches en matières organiques. Le pH optimal pour la culture du gombo varie de 6,2 à 6,5 **(OUEDRAOGO, 2009)**.

I.1.4. Maladies et insectes ravageurs

I.1.4.1. Maladies

Abelmoschus esculentus est hautement sensible aux maladies. Les maladies cryptogamiques les plus couramment rencontrées sont :

- ✓ **La cercosporiose** : cette maladie se manifeste par des taches foliaires et peut provoquer une défoliation des plantes. Les agents causaux sont *Cercospora abelffcschi et Cercospora malayensis.*

Les feuilles qui sont atteintes par cette infection se dessèchent et tombent. On peut lutter contre cette maladie par des applications de manèbe, de captafol ou de benomyl **(OUEDRAOGO, 2009)**.

- ✓ **La fonte de semis** : elle est due à une multitude de champignons du sol tels que *Macrophominaphaseoli* (Maubl) et *Fusariumoxysporum* (Schelcht) qui provoquent un flétrissement des plants de gombo. Le stade plantule est le plus sensible **(PIZONGO, 2014)**.

- ✓ **Le flétrissement :** Cette maladie est provoquée par *Fusarium oxysporum* f. sp. Vasinfectum qui attaque le système vasculaire à partir des racines entrainant l'apparition

des feuilles chlorotiques, une diminution de la croissance et enfin un flétrissement de la plante.

Pour lutter contre cette maladie, on recommande de recourir à une rotation culturale d'au moins trois ans et à la désinfection des semences **(OUEDRAOGO, 2009)**.

- ✓ **Le blanc :** les symptômes du blanc (Oïdumabelmoschi) apparaissent sous forme de taches poudreuses blanches sur les deux faces des feuilles. Celles-ci se dessèchent et finissent par tomber **(PIZONGO, 2014)**.
- ✓ **La fusariose :** Cette maladie est causée par *Fusarium oxysporum* f. sp. *Vasinfectum*. Elle attaque la plante à tous ses stades de croissance et surtout au stade de préfloraison **(PIZONGO, 2014).**
- ✓ **La bactériose :** La bactériose due à *Xanthomonas axonopodis* pv. *Malvacearum* est la principale maladie bactérienne du gombo dans les stations où celui-ci est cultivé par irrigation. Les symptômes apparaissent à tous les stades du développement. Les bactéries causent la fonte des semis et la perte des jeunes plants **(PIZONGO, 2014)**.
- ✓ **Les viroses :** Les maladies virales importantes rencontrées en Afrique tropicale sont dues au virus de la mosaïque du gombo (Okra mosaïc *tymovirus*, OkMV), au virus de l'enroulement des feuilles (Okra leaf curl virus, OkLCV) et au virus de la mosaïque à nervures jaunes (Hibiscus yellow vein mosaïc virus, HYMV). Le virus de la mosaïque du gombo est surtout disséminé par la mouche blanche (*Bemisia tabaci*). On ne peut lutter contre ces virus qu'en luttant contre leurs vecteurs **(OUEDRAOGO, 2009)**.

I.1.4.2. Ravageurs

Parmi les ravageurs connus du gombo, on distingue essentiellement :

a) les grillons (*Brachytrupe membranaceaus*) : Les stades phénologiques sensibles de la culture sont les semis et le stade plantule.

b) les thrips (*Frankliniella occidentalis*) ou thrips califomien, Frankliniella. Schultzei (thrips du coton). Les thrips peuvent attaquer le gombo aux stades du semis et au stade juvénile précoce mais aussi lors de la fructification, sur les fleurs et les boutons floraux.

c) les cicadelles ou jassides : Elles provoquent un jaunissement du bord des feuilles avec un enroulement de celles-ci vers le haut. Tous les stades du développement de la plante sont sensibles avec cependant une plus grande sensibilité au cours des stades jeunes.

d) les acariens : Au niveau de la culture du gombo deux principales espèces d'acariens sont prédominantes. Il s'agit de *Tetranychusspp*. et *Polyphagotarsonemuslatus*. A tous les stades du développement du gombo, la plante est susceptible d'être attaquée.

Des petits points blancs apparaissent sur le limbe foliaire puis finissent souvent par couvrir toute la surface de la feuille donnant un aspect blanc jaunâtre et sec. Les feuilles se recroquevillent, sèchent et tombent **(PIZONGO, 2014)**.

e) Les escargots : Ils causent des dégâts considérables en grandes cultures ou en maraîchage. Ils sont souvent présents dans les sols cultivés et provoquent des destructions de semis, de jeunes plantations mais aussi des dégâts qualitatifs sur le feuillage et les tiges, des souillures, et des perforations de tubercules **(MONTPELLIER, 2005)**.

I.1.5. Lutte contre les ravageurs du gombo

I.1.5.1. Lutte préventive

Pour prévenir les dégâts causés par les ravageurs et les maladies du gombo, un certain nombre de mesures doit être pris. Il faut entre autres : choisir des terrains bien drainés ,aérés et éviter de semer trop dense; les labours profonds de 30 à 40 cm permettent de détruire les galeries et d'extirper les formes larvaires cachées dans le sol ; détruire tous les résidus de matière végétale de la récolte précédente pour éviter que des œufs ou des larves de certains pathogènes qui y seraient encore ne poursuivent leur cycle de vie; éviter la culture du gombo sur un terrain qui a été ensemencé auparavant avec une spéculation de la famille des Malvacées comme par exemple l'aubergine, la tomate etc. Utiliser autant que possible des variétés résistantes aux maladies et adaptées au milieu. La jachère ou la rotation avec des céréales sont conseillées. Il faut réduire au maximum les transferts de matériels agricoles souillés des zones infectées vers les zones saines pour éviter la contamination et l'augmentation du champ de propagation des ravageurs. Dans tous les cas, respecter l'itinéraire technique du gombo (bonne densité de semis, bon plan de fumure, bon désherbage surtout au stade plantule) pour une bonne croissance avec des plantes vigoureuses. La lutte préventive est particulièrement très importante dans le cas des virus car les mesures curatives ont très peu d'utilité **(PIZONGO, 2014)**.

I.1.5.2. Lutte curative

Le gombo est une plante très sensible aux attaques des nuisibles et ravageurs. Pour leur protection, il est souvent fait recours à la lutte curative au moyen de produits phytosanitaires appropriés. Il s'agit de : fongicides avec le carberdazine, le mancozèbe, l'oxychlorure de cuivre qui sont des substances actives et nocives contre les champignons et acaricides avec l'abamectine. Le souffre et le cuivre sont aussi utilisés comme substances actives et nocives contre les acariens. L'intervalle de pulvérisation est fonction de l'importance des pullulations et de la période. En effet, au stade de fructification, il est déconseillé de traiter les plants car les fruits pourraient être contaminés et donc impropres à la consommation **(PIZONGO, 2014)**.

I.2. Généralités sur les traitements statistiques

I.2.1. Principe des tests statistiques

I.2.1.1. Méthodologie

Le principe des tests d'hypothèse est de poser une hypothèse de travail et de prédire les conséquences de cette hypothèse pour la population ou l'échantillon. On compare ces prédictions avec les observations et l'on conclut en acceptant ou en rejetant l'hypothèse de travail à partir des règles de décisions objectives. Définir les hypothèses de travail, constitue un élément essentiel des tests d'hypothèses de même que vérifier les conditions d'application de ces dernières.

Différentes étapes doivent être suivies pour tester une hypothèse : (1) définir l'hypothèse nulle, notée H0, à contrôler ; (2) choisir une statistique pour contrôler H0 ; (3) définir la distribution de la statistique sous l'hypothèse « H0 est réalisée » ; (4) définir le niveau de signification du test α et la région critique associée ; (5) calculer, à partir des données fournies par l'échantillon, la valeur de la statistique ; (6) prendre une décision concernant l'hypothèse posée **(RUCH, 2014)**.

I.2.1.2. Hypothèse nulle et hypothèse alternative

L'hypothèse nulle notée H0 est l'hypothèse que l'on désire contrôler : elle consiste à dire qu'il n'existe pas de différence entre les paramètres comparés ou que la différence observée n'est pas significative et est due aux fluctuations d'échantillonnage. Cette hypothèse est formulée dans le but d'être rejetée.

L'hypothèse alternative notée H1 est la "négation" de H0, elle est équivalente à dire « H0 est fausse ». La décision de rejeter H0 signifie que H1 est réalisée ou H1 est vraie **(RUCH, 2014)**.

I.2.1.3. Statistique et niveau de signification

Une statistique est une fonction des variables aléatoires représentant l'échantillon. Le choix de la statistique dépend de la nature des données, du type d'hypothèse que l'on désire contrôler, des affirmations que l'on peut admettre concernant la nature des populations étudiées. La valeur numérique de la statistique obtenue pour l'échantillon considéré permet de distinguer entre H0 vraie et H0 fausse **(RUCH, 2014**).

I.2.1.4. Test d'homogénéité

Le test d'homogénéité ou de comparaison consiste à vérifier que K($K \geq 2$) échantillons (groupes) proviennent de la même population ou, cela revient à la même chose, que la distribution de la variable d'intérêt est la même dans les K échantillons **(RUCH, 2014)**.

I.2.1.5. Tests de normalité

Ils mesurent en fait le degré de linéarité des observations **(LUCAS et al, 2006)**.

I.2.2. Quelques tests d'analyse en statistique

I.2.2.1. Analyse en composantes principales (ACP)

Le but de l'analyse en composantes principales est d'identifier les relations linéaires existantes parmi les différentes variables du système, en utilisant les données d'entrée et de sortie du système. La première étape de cette méthode est la construction d'une matrice contenant l'ensemble des données disponibles sans effectuer une distinction entre les entrées et les sorties du système **(THARRAULT, 2008)**.

I.2.2.2. Analyse de la variance (ANOVA)

I.2.2.2.1. Terminologie

1. On appelle réponse une variable dont nous cherchons à comprendre le comportement.

2. On appelle facteur toute variable que nous voulons utiliser pour analyser les variations de la variable réponse. On notera souvent les différents facteurs par A, B, C,… . Dans le contexte de l'analyse de variance, les facteurs seront considérés comme des variables qualitatives. Les

niveaux ou modalités de chaque facteur seront notés en indexant la variable correspondante : A1, …. , AI si le facteur A possède I modalités **(CARBON, 2015)**.

I.2.2.2.2. Objectif

L'analyse de la variance (ANOVA) est une méthode statistique qui permet d'étudier la modification de la moyenne μ d'une quantité Y (variable réponse quantitative) selon l'influence éventuelle d'un ou de plusieurs facteurs d'expérience qualitatifs (traitements ...). Dans le cas où la moyenne n'est influencée que par un seul facteur (noté facteur A), il s'agit d'une analyse de la variance à un seul facteur (« one way ANOVA ») **(CARBON, 2015).**

I.2.2.2.3. Conditions fondamentales de l'ANOVA

1. Les p échantillons comparés sont **indépendants.**

2. La variable quantitative étudiée suit une **loi normale** dans les p échantillons comparés.

3. Les p échantillons comparées ont même variance : **Homogénéité des variances** ou homoscédasticité **(MYRIAM, 2017)**.

I.2.2.3. Comparaison multiple (Test de Newman Keuls et de Tekuy)

Son but était de classer les traitements par groupes qui sont significativement différents.

Pour notre cas, les tests de normalité et d'homogénéité ont été utilisés pour vérifier respectivement si les données sont distribuées selon une loi normale et s'il y a l'homogénéité entre les variances avant d'utiliser le test ANOVA. Le test ANOVA a permis de faire une comparaison entre les moyennes des teneurs en élément minéral dans chaque cultivar.

Ensuite, si le Test ANOVA montrait une différence significative entre les moyennes des teneurs, la comparaison multiple a été utilisée à travers le test de TukeyHonestly (TukeyHSD) pour faire le classement de ces différents cultivars en fonction des teneurs en élément minéral.

Ce test va permettre de montrer un cultivar qui est plus riche en cet élément minéral que les autres. Le test d'analyse en composantes principales a été également utilisé pour vérifier s'il y a une différence significative entre les feuilles et les fruits **(MYRIAM, 2017)**.

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

II.1. Localisation de la zone d'étude

L'étude a été menée sur le terrain d'expérimentation de la Faculté des Sciences de l'Université du Burundi. Cette dernière se trouve dans la Commune Mukaza en Mairie de Bujumbura. Selon les images satellitaires du 9 février 2020 recueillies à l'aide du logiciel Google Earth lorsque notre terrain d'expérimentation était en place, ce terrain est situé à 29, 384264° de longitude Est, -3,381672° de latitude sud et à 864 m d'altitude.

La figure 2.1montre la carte de localisation du champ d'expérimentation

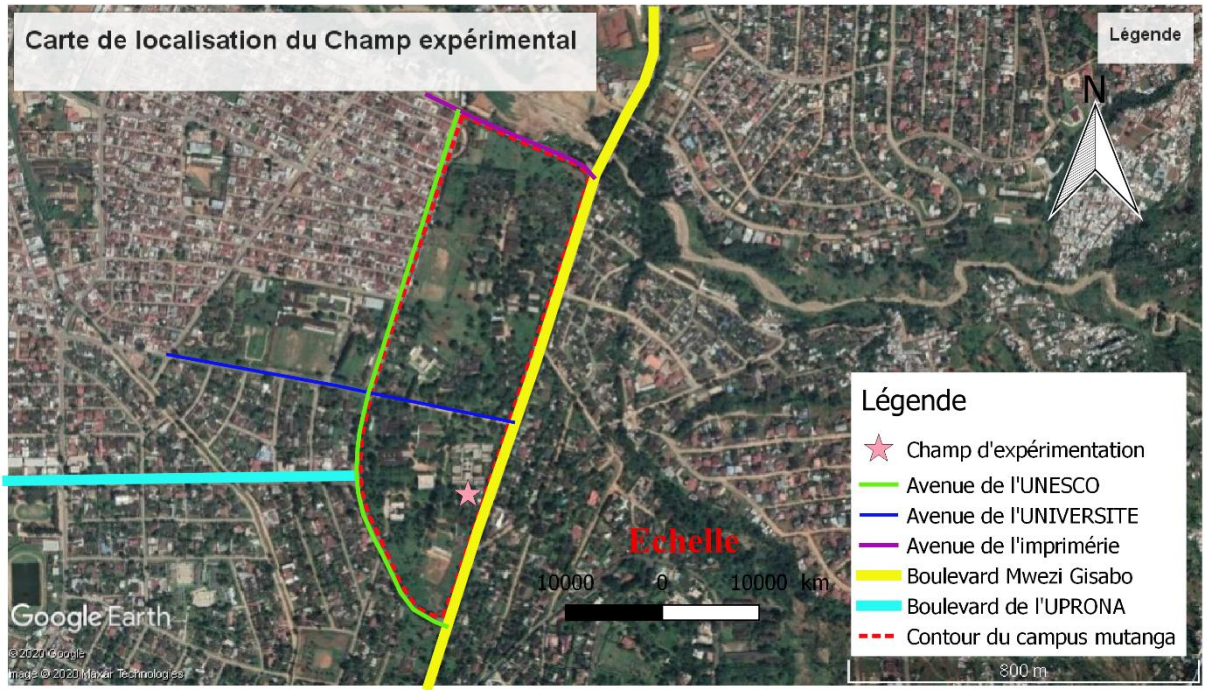


Figure 2.1 : Carte de localisation du terrain d'expérimentation

II.2. Caractérisation du sol du terrain d'expérimentation

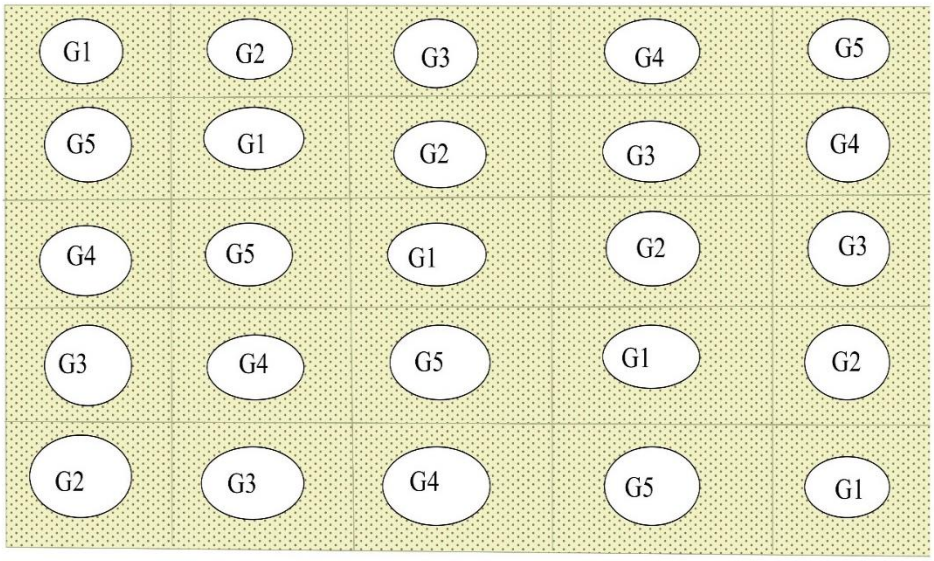
Le terrain d'expérimentation a été bien aménagé et bien drainé pour pouvoir planter dans un sol plus ou moins léger. Une fumure organique a été ajoutée au sol pour augmenter la fertilité du sol. Pour avoir les caractéristiques du sol dans lequel nous allions semer, trois échantillons du sol ont été prélevés : le sol initial, sol avec compost et le sol après récolte. Les paramètres suivants ont été analysés en utilisant la méthode de **KIBIRITI et al ., 1986.**

- ✓ Le PH ;
- ✓ Conductivité électrique (CE) ;

- ✓ Capacité d'échange cationique (CEC) ;
- ✓ Carbone organique total ;
- ✓ Azote total ;
- ✓ Phosphore assimilable ;
- ✓ Potassium échangeable ;
- ✓ Sodium échangeable ;
- ✓ Cuivre échangeable ;
- ✓ Manganèse échangeable ;
- ✓ Acidité échangeable totale ;
- ✓ La granulométrie.

II.3. Semis

Avant d'introduire les semences dans le sol, les graines des cultivars sur lesquels portait l'étude ont été sélectionnées dans le laboratoire botanique du Département de Biologie de l'Université du Burundi. Les poquets ont été tracés à distance de 50 cm l'un de l'autre. Après la fertilisation par la fumure organique dans les poquets, on y a introduit les graines à raison de trois graines par poquet suivant la forme suivante représentée dans la Figure 2.2. :



Légende :

G1 =Cultivar1
G2=Cultivar2
G3=Cultivar3
G4=Cultivar4
G5=Cultivar 5

Figure 2.2 : Représentation du terrain d'expérimentation qui spécifie le rangement des poquets

II.4. Caractérisation morphologique des cinq cultivars de Gombo.

Les caractéristiques morphologiques des 5 cultivars sont indiqués dans le Tableau 2.1 et montrent que leurs morphologies diffèrent.

Tableau 2.1 : Caractéristiques morphologiques des 5 cultivars de gombo qui ont fait l'objet de l'étude

Groupes étudiés	**Caractéristiques morphologiques**					
	Tige	**Feuille**			**Fleur**	**Fruit**
		Nervure	Pétiole	Découpure	Calice	
G1	Verte	Verte (rouge insertion)	Verte (tache rouge minuscule)	Palmatipartite	Verte	Verte
G2	Verte	Verte (rouge insertion)	Verte (tache rouge minuscule)	Palmatipartite	Verte	Verte
G3	Verte	Verte complet	Verte	Palmatipartite	Verte	Verte (Tache rouge/jeune)
G4	Verte-rouge	Rouge à ½	Rouge	Palmatifide	Tendance rouge	Verte
G5	Verte-rouge	Verte (rouge insertion)	Rouge	Palmatifide	Tendance rouge	Verte

La figure 2.3 montre les cinq différents cultivars de gombo cultivés. On remarque qu'ils sont différents au niveau de la couleur (des tiges, des nervures, des pétioles, des calices et des fruits) et au niveau de la découpure des feuilles (les feuilles de quelques-uns sont Palmatipartites et les autres ont des feuilles qui sont Palmatifides).

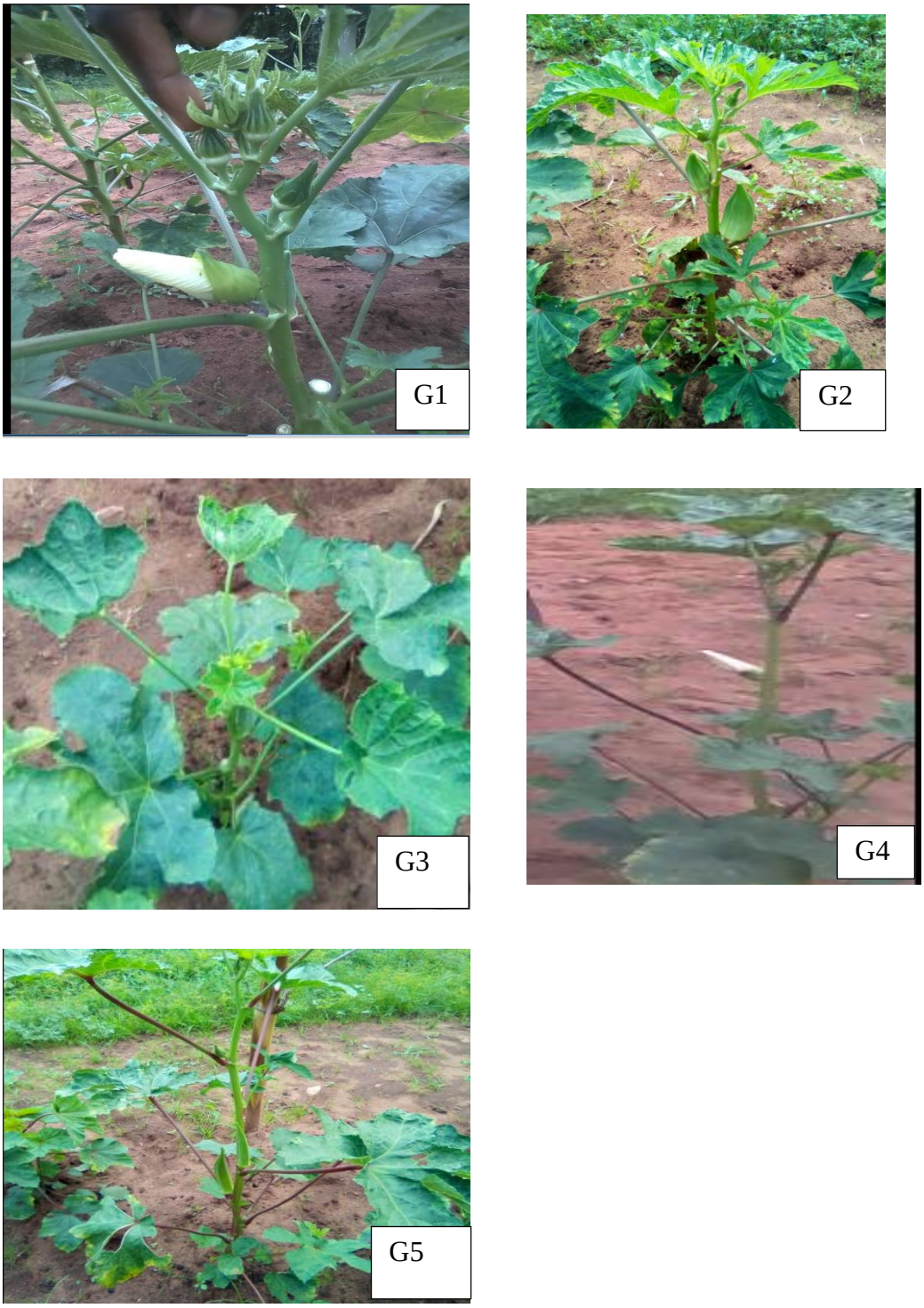


Figure 2.3 : Photos des cinq Cultivars de Gombo

Les caractéristiques morphologiques de ces cinq cultivars sont indiquées dans le Tableau 2.1.

II.5. Echantillonnage

L'échantillonnage a été effectué dans une période d'environ de 3 semaines s'étalant du 11mars au 2 avril 2020. Des fruits de maturité d'une semaine et quatre jeunes feuilles

terminales ont été récoltés dans des paniers numérotés en fonction du cultivar et de la partie échantillonnée.

Les échantillons ont été transportés vers le laboratoire du Département de chimie, Université du Burundi pour être séchés dans l'étuve réglé à 105 ^{0}C. L'étuve utilisée pour faire le séchage est de type ULM 400 et a les caractéristiques suivantes :

- ✓ Puissance :1400 W
- ✓ Tension :230V
- ✓ Fréquence : 50/60 HZ
- ✓ Température maximale : 220 ^{0}C

II.6. Minéralisation et préparation des solutions

Les échantillons ont été analysés dans le Laboratoire d'Analyse des Sols et Produits Agro-Alimentaires (LASPA) de l'Institut des Sciences Agronomiques du Burundi (ISABU).

II.6.1. Minéralisation

Des quantités de 1,5 g à 2 g d'échantillons finement broyés ont été pesées dans des creusets en porcelaine puis ont été mises au four CARBOLITE RHF 146 à 450°C. Après refroidissement, 5 ml d'acide nitrique 1 mol. l^{-1} est ajouté à la cendre obtenue puis porté à évaporation totale sur un bain de sable. Au résidu est ajouté 5 ml d'acide chlorhydrique 0,1 mol. l^{-1} qui est remis au four à 400°C pendant 30 min. Le résidu final est récupéré avec 10mL d'acide chlorhydrique 1 mol. l^{-1} puis versé dans une fiole de 50 ml. Le creuset est rincé deux fois avec 10 ml de l'acide chlorhydrique. La fiole est complétée à 50 ml avec l'acide chlorhydrique. Dans les mêmes conditions, un essai à blanc est réalisé **(AOAC, 1990**).

II.6.2. Préparation des gammes d'étalonnage

Pour la préparation des gammes d'étalonnage, la méthode utilisée est celle décrite dans la littérature **(PINTA, 1971)**.

II.6.2.1. Potassium

Des volumes de 0,0 ; 0,2 ; 0,5 ; 1,0 ; 2,0 ; 5,0 ; 10,0 ml de solution de potassium 100 ppm ont été introduits successivement dans sept fioles jaugées de 100 ml. Ensuite10ml de chlorure de lanthane 10% ont été ajoutés dans chacune des sept fioles jaugées. Ces volumes ont été complétés à 100 ml avec l'acide chlorhydrique 0,05M.

II.6.2.2. Sodium

Des volumes de 0,0 ; 0,2 ; 0,5 ; 1,0 ; 2 ,0 ; 5,0 ml de solution de sodium 100 ppm ont été introduits successivement dans six fioles jaugées de 100 ml. Ensuite 10 ml de chlorure de lanthane 10% ont été ajoutés dans chacune des six fioles jaugées. Ces volumes ont été complétés à 100 ml avec l'acide chlorhydrique 0,05M.

II.6.2.3. Manganèse

Des volumes de 0, 0 ; 0,2 ; 0,5 ; 1,0 ; 2,0 ; 5,0 ; 10,0 ml de solution de manganèse 100 ppm ont été introduits successivement dans sept fioles jaugées de 100 ml. Ces volumes ont été complétés à 100 ml avec l'acide chlorhydrique 0,05M.

II.6.2.4. Cuivre

Des volumes de 0,0 ; 0,2 ; 0,5 ; 1,0 ; 2,0 ; 5,0 ml de solution de Cuivre100ppm ont été introduits successivement dans six fioles jaugées de 100 ml. Ces volumes ont été complétés à 100 ml avec l'acide chlorhydrique 0,05M.

II.7. Dosage par spectrophotométrie d'absorption atomique(SAA) (ADOUANI, 2020)

Le spectrophotomètre d'absorption atomique qui a été utilisé est le spectrophotomètre d'absorption atomique SAA-Flamme de type PERKIN-ELMER ANALYST 400 et le logiciel d'intégration des résultats était WINLAB 32AA FLAM.

II.7.1. Principe

Un faisceau de lumière monochromatique de fréquence telle qu'il soit absorbable par l'élément à doser est envoyé dans une vapeur atomique de cet élément. La mesure de l'intensité lumineuse avant et après le passage dans la vapeur permet de déterminer le pourcentage de l'absorption. Dans des conditions bien déterminées, celui-ci est fonction non seulement de la concentration en atomes de la vapeur atomique, qui n'a pas grand intérêt, mais surtout de la concentration de la solution ou du produit initial que l'on cherche à déterminer. Pour obtenir ce résultat, il faut produire un faisceau incident suffisamment intense. Mais, il est nécessaire également que le mode de production de la vapeur atomique soit bien précisé.

II.7.2. Mode opératoire

Lors du dosage des éléments minéraux, les longueurs d'onde, le débit d'acétylène et d'air pour chaque type d'élément minéral étaient déjà définies sur le spectrophotomètre d'absorption atomique (SAA).

Ainsi, pour le dosage du potassium, sodium, manganèse et cuivre, les longueurs d'onde étaient respectivement de 766,49 nm ; 589,00 nm ; 279,48 nm et 324,75 nm ; avec un débit d'acétylène de 10l/min et le début d'air de 2,5l/min.

Après avoir observé que la courbe d'étalonnage est linéaire et après avoir vu que la lampe correspondant de l'élément à doser a atteint son énergie maximale, les solutions contenant les cendres de nos échantillons ont été amenées afin de lire leur concentration en cet élément minéral.

CHAPITRE III : PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS

III.1. Présentation des résultats

Les résultats sont présentés dans trois tableaux différents.

Le tableau 3.1 montre les teneurs en potassium, sodium, cuivre et manganèse dans les fruits de chaque cultivar (en mg/100 g de matière sèche).

Tableau 3.1 : Teneurs moyennes en potassium, sodium, cuivre et manganèse dans les fruits

	FRUITS			
Eléments minéraux / **cultivars**	**K** (mg/100 g de MS)	**Na** (mg/100 g de MS)	**Cu** (mg/100 g de MS)	**Mn** (mg/100 g de MS)
G1	1763,70±24,30	11,60±1,34	0,45±0,09	22 ,50±3,60
G2	2253,80±130,70	15,10±0,05	0,69±0,01	15,60±1,11
G3	1442,50±108,10	5,66±0 ,56	0,40±0,00	12,60±0,47
G4	2264,16±70,50	7,81±0,18	0,96±0,19	21,80±1,08
G5	1821 ,10±35,90	14,10±0,36	0,97±0,04	18,90±0,13

Pour effectuer une comparaison des teneurs dans les parties de la plante, le dosage des éléments minéraux dans les feuilles a été effectué et les résultats sont présentés dans le Tableau 3.2.

Tableau 3.2: Teneurs moyennes en potassium, sodium, cuivre et manganèse dans les feuilles

	FEUILLES			
Eléments Minéraux / **Cultivars**	**K** (mg/100 g de MS)	**Na** (mg/100 g de MS)	**Cu** (mg/100 g de MS)	**Mn** (mg/100 g de MS)
G1	2380,40±50,50	16,60±1,74	0,398±0,06	3 ,64±0,82
G2	1361,70±73 ,00	26,70±0,55	0,34±0,04	2,88±0 ,20
G3	1908,70±82,50	17,80±3,87	0,391±0,06	1,96±0,13
G4	2192,70±102,30	17,70±1,11	0 ,24±0,07	≤0,5
G5	1915,40±118,20	24,70±0,00	0,54±0,01	1,49±0,12

Pour vérifier l'influence des paramètres physico-chimiques du sol sur la teneur en élément minéraux des organes de la plante, l'étude du sol a été effectuée et les résultats sont présentés dans le Tableau 3.3.

Tableau 3.3 : Résultats des paramètres physico-chimiques du sol

Paramètres analysés			**sol sans fumier**	**sol avec fumier**	**sol après récolte**
pH H_2O			6,22±0,03	7,14±0,04	6,44±0,04
Conductivité électrique (CE) (µS/Cm)			37,10±0,79	454±11,36	30,50±0,70
Carbone organique total (%C)			0,51±0,02	0,64±0,01	0,55±0,01
Azote (%N)			0,17±0,01	0,39±0,01	0,20±0,01
Phosphore assimilable (mg/kg)			5,84±0,18	34±2,62	5,46±0,53
Capacité d'échange cationique (CEC) (méq/100g)			5,25±0,14	5,65±0,26	5,65±0,17
Potassium échangeable (méq/100g)			0,34±0,04	3,39±0,06	0,33±0,04
Sodium échangeable (méq/100g)			0,08±0,00	0,13±0,01	0,06±0,01
Manganèse échangeable (mg/Kg)			19,40±0,17	20,40±1,80	24,50±0,35
Cuivre échangeable (mg/Kg)			1,11±0,11	1,43±0,39	1,32±0,12
Acidité total échangeable (méq/100g)			0,26±0,02	0,19±0,01	0,144±0,01
Granulométrie	**%Sable**	1000µm	1,67±0.00	1,49±0.00	1,42±0.00
		500µm	11,16±0.00	10,57±0.00	10,59±0.00
		250µm	16,37±0.00	4,23±0.00	1,69±0.00
		100µm	5,73±0.00	0,14±0.00	0,05±0.00
		50µm	0,15±0.00	0,03±0.00	0,01±0.00
	% limon	Limon Grossier (L.G)	39,32±0.00	71,86±0.00	71,38±0.00
		Limon fin (L.F)	2,09±0.00	2,61±0.00	3,62±0.00
	%argile		23,51±0.00	9,07±0.00	11,25±0.00

III.2. Discussion des résultats

III.2.1. Comparaison des teneurs en potassium, sodium, cuivre et manganèse dans les fruits des 5 cultivars

Le tableau 3.1 montre les teneurs moyennes en potassium, sodium, cuivre et manganèse dans les fruits de chaque cultivar. Les teneurs dans les cultivars G1, G2, G3, G4 et G5 sont représentées respectivement par G1, G2, G3, G4 et G5. L'analyse descriptive et l'analyse ANOVA des teneurs de chaque élément minéral dans chaque cultivar indique que : les teneurs en potassium, sodium, cuivre et en manganèse varient d'un cultivar à l'autre ; et que parmi les cinq cultivars, c'est le cultivar 5 qui est plus riche en cuivre (au degré de confiance de 95%). En effet les teneurs en cuivre des cultivars G1, G2, G3, G4 et G5 sont respectivement : 0,45±0,09mg/100 de matière sèche ; 0,69±0,013mg/100 de matière sèche ; 0,40±0,00mg/100 de matière sèche ; 0,96±0,19mg/100 de matière sèche et 0,97±0,04mg/100 de matière sèche. Pour savoir le cultivar le plus riche en cuivre, les différentes teneurs ont été comparées.

Le tableau 3.4 montre la comparaison multiple par le test de Tukey. Cette fois, G1, G2, G3, G4 et G5 représentent respectivement les teneurs en cuivre dans les fruits des cultivars G1, G2, G3, G4 et G5.

Tableau 3.4 : Comparaison multiple (Test de Tekuy) des teneurs en cuivre dans les fruits des cinq cultivars

	Estimate	lwr	upr
G2 - G1 == 0	2.3550	-2.3476	7.0576
G3 - G1 == 0	-0.5400	-5.2426	4.1626
G4 - G1 == 0	5.0900	0.3874	9.7926
G5 - G1 == 0	5.2300	0.5274	9.9326
G3 - G2 == 0	-2.8950	-7.5976	1.8076
G4 - G2 == 0	2.7350	-1.9676	7.4376
G5 - G2 == 0	2.8750	-1.8276	7.5776
G4 - G3 == 0	5.6300	0.9274	10.3326
G5 - G3 == 0	5.7700	1.0674	10.4726
G5 - G4 == 0	0.1400	-4.5626	4.8426

G1	G2	G3	G4	G5
"a"	"ab"	"a"	"b"	"b"

Dans ce tableau, on remarque que (G5-G3)>(G5-G1)>(G5-G2)>(G5-G4) . Ceci indique que le clasement des teneurs en cuivre est le suivant : G3<G1<G2<G4<G5. Par conséquent, c'est le cultivar 5 qui est le plus riche en cuivre.

Les teneurs en manganèse des cultivars 1, 2, 3, 4 et 5 sont respectivement : 22 ,5±3,6 mg ; 15,6±1,11mg ; 12,6±0,47mg ; 21,8±1,08 mg ; 18,9±0,138 mg (/100 g de matière sèche).

La comparaison multiple de ces teneurs par le Test de Tukey au degré de confiance de 95 % a donné les résultats du Tableau 3.5.

Tableau 3.5 : Comparaison multiple (Test de Tekuy) des teneurs en manganèse dans les fruits des cinq cultivars

	Estimate	lwr	upr
G2 - G1 == 0	-69.3333	-120.5562	-18.1105
G3 - G1 == 0	-99.3333	-150.5562	-48.1105
G4 - G1 == 0	-7.6667	-58.8895	43.5562
G5 - G1 == 0	-36.3333	-93.6022	20.9356
G3 - G2 == 0	-30.0000	-81.2229	21.2229
G4 - G2 == 0	61.6667	10.4438	112.8895
G5 - G2 == 0	33.0000	-24.2689	90.2689
G4 - G3 == 0	91.6667	40.4438	142.8895
G5 - G3 == 0	63.0000	5.7311	120.2689
G5 - G4 == 0	-28.6667	-85.9356	28.6022

G1	G2	G3	G4	G5
"c"	"ab"	"a"	"c"	"bc"

On remarque que (G1-G3)>(G1-G2)> (G1-G5)> (G1-G4) et le classement des teneurs en manganèse devient : G3<G2<G5<G4<G1 . En conséquence, c'est le cultivar 1 qui est plus riche en manganèse (au degré de confiance de 95%).

Les teneurs en sodium dans G1, G2, G3, G4 et G5 sont respectivement : 11,6±1,34 mg ; 15,1±0,055mg ; 5,66±0,566mg ; 7,81±0,182mg ; 14,1±0,368 mg (/100g de matière sèche).

Les résultats de la comparaison de ces teneurs sont consignés dans le Tableau 3.6.

Tableau 3.6: Comparaison multiple (Test de Tekuy) des teneurs en sodium dans les fruits des cinq cultivars

	Estimate	lwr	upr
G2 - G1 == 0	34.0000	6.8661	61.1339
G3 - G1 == 0	-59.9000	-87.0339	-32.7661
G4 - G1 == 0	-38.4000	-65.5339	-11.2661
G5 - G1 == 0	24.0000	-3.1339	51.1339
G3 - G2 == 0	-93.9000	-121.0339	-66.7661
G4 - G2 == 0	-72.4000	-99.5339	-45.2661
G5 - G2 == 0	-10.0000	-37.1339	17.1339
G4 - G3 == 0	21.5000	-5.6339	48.6339
G5 - G3 == 0	83.9000	56.7661	111.0339
G5 - G4 == 0	62.4000	35.2661	89.5339

G1	G2	G3	G4	G5
"b"	"c"	"a"	"a"	"bc"

Cette comparaison montre que (G2-G3)>(G2-G4)>G2-G1)>(G2-G5) ; ce qui aboutit au classement suivant : G3<G4<G1<G5<G2. En conséquence, G2 est le cultivar qui est plus riche en sodium que les autres.

Pour l'élément potassium, c'est le cultivar 4 qui est plus riche en cet élément minéral. Cela a été montré par les teneurs en potassium dans les cultivars 1, 2, 3, 4 et 5 qui sont respectivement pour 100 g de matière sèche : 1763,7±24,3 mg ;2253,8±130,7 mg ;1442,5±108,1 mg/ ;2264,166±70,5 mg et 1821,1±35,9 mg.

Le Tableau 3.7 montre la comparaison multiple par le test de tukey (à l'intervalle de confiance de 95 %).

Tableau 3.7: Comparaison multiple (Test de Tekuy) des teneurs en potassium dans les fruits des cinq cultivars

	Estimate	lwr	upr
G2 - G1 == 0	4900.8333	371.8527	9429.8140
G3 - G1 == 0	-3211.8333	-7740.8140	1317.1473
G4 - G1 == 0	5004.1667	475.1860	9533.1473
G5 - G1 == 0	573.5000	-3955.4806	5102.4806
G3 - G2 == 0	-8112.6667	-12163.5101	-4061.8232
G4 - G2 == 0	103.3333	-3947.5101	4154.1768
G5 - G2 == 0	-4327.3333	-8378.1768	-276.4899
G4 - G3 == 0	8216.0000	4165.1566	12266.8434
G5 - G3 == 0	3785.3333	-265.5101	7836.1768
G5 - G4 == 0	-4430.6667	-8481.5101	-379.8232

G1	G2	G3	G4	G5
"a"	"b"	"a"	"b"	"a"

A partir de ce tableau, on peut remarquer que (G4-G3)> (G4-G1)> (G4-G5)> (G4-G2) et que le classement des teneurs en potassium est alors :G3<G1<G5<G2<G4.

De ce qui précède, il est facile de remarquer que les fruits des 5 cultivars de gombo cultivés au jardin expérimental du CRSNE de l'Université du Burundi ont des teneurs en sels minéraux différentes. Pour ce, il faut consommer les fruits d'un cultivar le plus riche dans un tel ou tel autre élément minéral.

III.2.2. Comparaison des teneurs en potassium, sodium, cuivre et manganèse dans les feuilles des 5 cultivars

Le tableau 3. 2 montre les teneurs moyennes en potassium, sodium, cuivre et manganèse dans les feuilles des différents cultivars. Les teneurs dans les cultivars G1, G2, G3, G4 et G5 sont représentées respectivement par G1, G2, G3, G4 et G5. L'analyse descriptive et l'analyse par ANOVA des teneurs permettent de déterminer le cultivar dont les feuilles sont plus riches en cuivre que les autres cultivars. Le tableau 3.8 montre les résultats de cette comparaison.

Tableau 3.8: Comparaison multiple (Test de Tekuy) des teneurs en cuivre dans les feuilles des cinq cultivars

	Estimate	lwr	upr
G2 - G1 == 0	-0.5200	-3.0638	2.0238
G3 - G1 == 0	-0.0700	-2.8566	2.7166
G4 - G1 == 0	-1.5850	-4.3716	1.2016
G5 - G1 == 0	1.4867	-1.0572	4.0305
G3 - G2 == 0	0.4500	-2.0938	2.9938
G4 - G2 == 0	-1.0650	-3.6088	1.4788
G5 - G2 == 0	2.0067	-0.2686	4.2819
G4 - G3 == 0	-1.5150	-4.3016	1.2716
G5 - G3 == 0	1.5567	-0.9872	4.1005
G5 - G4 == 0	3.0717	0.5278	5.6155

G1	G2	G3	G4	G5
"ab"	"ab"	"ab"	"a"	"b"

Ces résultats indiquent que (G5-G4)>(G5-G2)>(G5-G3)>(G5-G1), dans ce cas, il devient plus facile de noter que le classement des teneurs en cuivre dans les feuilles des ces cinq cultivars par ordre croissant est le suivant: G4<G2<G3<G1<G5. Par conséquent, les feuilles du cultivar G5 sont les plus rches en cuivre.

Les résultats contenus dans le Tableau 3.9 montrent que (G1-G4)>(G1-G5)>(G1-G3)>(G1-G2) et que le classement des teneurs en manganèse est alors G4<G5<G3<G2<G1.

Tableau 3.9: Comparaison multiple (Test de Tekuy) des teneurs en manganèse dans les feuilles des cinq cultivars

	Estimate	lwr	upr
G2 - G1 == 0	-7.6333	-16.0940	0.8273
G3 - G1 == 0	-16.7833	-26.2426	-7.3241
G4 - G1 == 0	-36.4333	-44.8940	-27.9727
G5 - G1 == 0	-21.2667	-29.7273	-12.8060
G3 - G2 == 0	-9.1500	-18.6093	0.3093
G4 - G2 == 0	-28.8000	-37.2606	-20.3394
G5 - G2 == 0	-13.6333	-22.0940	-5.1727
G4 - G3 == 0	-19.6500	-29.1093	-10.1907
G5 - G3 == 0	-4.4833	-13.9426	4.9759
G5 - G4 == 0	15.1667	6.7060	23.6273

G1	G2	G3	G4	G5
"d"	"cd"	"bc"	"a"	"b"

On peut alors conclure que les feuilles de G1 sont plus riches en manganèse que les autres.

Tableau 3.10: Comparaison multiple (Test de Tekuy) des teneurs en sodium dans les feuilles des cinq cultivars

	Estimate	lwr	upr
G2 - G1 == 0	101.5000	22.7074	180.2926
G3 - G1 == 0	12.5000	-66.2926	91.2926
G4 - G1 == 0	11.5000	-67.2926	90.2926
G5 - G1 == 0	81.5000	2.7074	160.2926
G3 - G2 == 0	-89.0000	-167.7926	-10.2074
G4 - G2 == 0	-90.0000	-168.7926	-11.2074
G5 - G2 == 0	-20.0000	-98.7926	58.7926
G4 - G3 == 0	-1.0000	-79.7926	77.7926
G5 - G3 == 0	69.0000	-9.7926	147.7926
G5 - G4 == 0	70.0000	-8.7926	148.7926

G1	G2	G3	G4	G5
"a"	"c"	"ab"	"ab"	"bc"

Dans ce tableau, on peut noter que (G2-G1)>(G2-G4)>(G2-G3)>(G2-G5) et le classement des teneurs est le suivant: G1<G4<G3<G5<G2. Ainsi, les feuilles de G2 sont plus riches en sodium que les autres cultivars.

Tableau 3.11: Comparaison multiple (Test de Tekuy) des teneurs en potassium dans les feuilles des cinq cultivars

	Estimate	lwr	upr
G2 - G1 == 0	-10187.0000	-13713.2527	-6660.7473
G3 - G1 == 0	-4717.0000	-8243.2527	-1190.7473
G4 - G1 == 0	-1877.0000	-5403.2527	1649.2527
G5 - G1 == 0	-4649.6667	-7868.6802	-1430.6531
G3 - G2 == 0	5470.0000	1943.7473	8996.2527
G4 - G2 == 0	8310.0000	4783.7473	11836.2527
G5 - G2 == 0	5537.3333	2318.3198	8756.3469
G4 - G3 == 0	2840.0000	-686.2527	6366.2527
G5 - G3 == 0	67.3333	-3151.6802	3286.3469
G5 - G4 == 0	-2772.6667	-5991.6802	446.3469

G1	G2	G3	G4	G5
"c"	"a"	"b"	"bc"	"b"

En effet, il est facile de noter que (G1-G2)>(G1-G3)>(G1-G5)>(G1-G4) ; ce qui aboutit au classement suivant : G2<G3<G5<G4<G1. Les résultats du Tableau 3.11 indiquent que ce sont les feuilles du cultivar G1 qui sont plus riche en potassium par rapport aux autres.

La comparaison des teneurs en éléments minéraux dans les feuilles des différents cultivars montre une diversité de ces derniers. Ainsi les feuilles du cultivar 5 sont plus riches en cuivre alors que les feuilles du cultivar 1 contiennent plus de manganèse et de potassium que les feuilles des autres cultivars. Aussi, les feuilles du G2 sont les plus riches en sodium.

Même si les cultivars 3 et 4 ont des teneurs en éléments minéraux inferieures aux autres, on peut noter que ces teneurs sont comparables, parfois plus importantes que celles décrites dans des travaux réalisés dans d'autres pays **(IVANICE et al., 2013)**.

De ce qui précède, l'on peut conclure que si on est dans le besoin du cuivre, il est préférable de manger les feuilles du G5 ; si on est dans le besoin du manganèse, il est préférable de

manger les feuilles du G1 ; si on est dans le besoin du sodium, il est préférable de manger les feuilles du G2 ; si on est dans le besoin du potassium, il est préférable de manger les feuilles du G1.

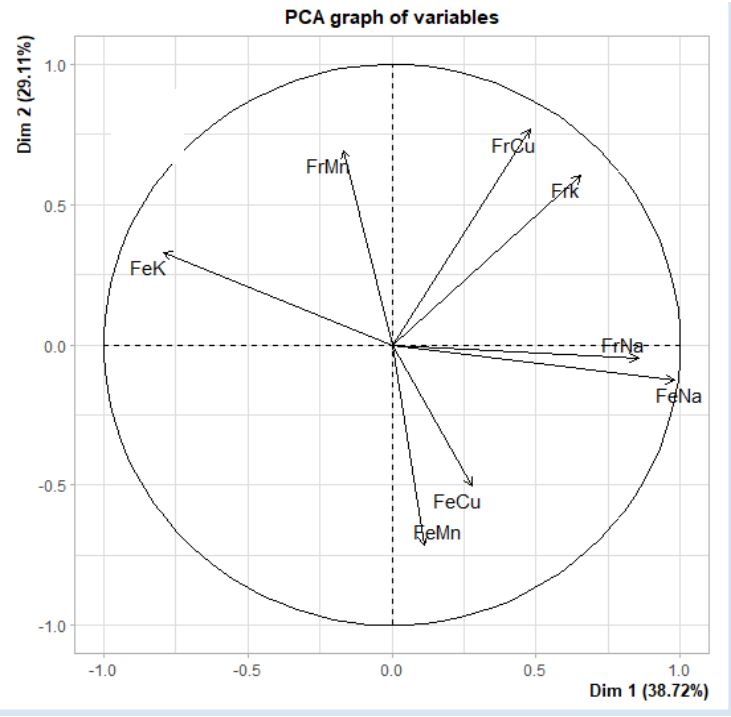
Les teneurs moyennes de nos cultivars en élément minéraux (potassium, sodium et manganèse) sont plus importantes que celles des cultivars Dioula et Baoulé cultivés en côte d'Ivoire sauf pour l'élément cuivre où les teneurs sont presque les mêmes **(KOUASSI et al., 2013)** et **(KOUASSI, 2013)**. Aussi nos cultivars sont plus riches en potassium , en cuivre et moins riches en sodium que ceux qui sont cultivés au Brésil **(IVANICE et al., 2013) .** Ils sont également moins riches en sodium et plus riches en potassium que ceux qui sont cultivés au Nigeria **(ADEPOJU et al., 2015)**. Par contre nos cultivars ont presque la même teneur en potassium et en cuivre et des teneurs différentes en sodium et en manganèse que les cultivars cultivés en Afrique du sud **(MAHAMAT et al., 2015)** .

Cette différence des teneurs pourrait être expliquée par la nature des cultivars, le pH et la composition du sol qui sont différentes car le gombo s'adapte à différents types de sol mais il se développe mieux sur les sols légers, bien drainants et riches en matières organiques **(FONDIO et al., 2003)**.

III.2.3. Comparaison des teneurs en potassium, sodium, cuivre et manganèse entre les fruits et les feuilles des 5 cultivars

Pour faire la comparaison des teneurs en éléments minéraux entre les organes de la plante, nous avons utilisé le test ACP et les résultats sont montrés à la figure 3.1.

A partir de cette figure, on remarque que la différence des teneurs en éléments minéraux entre les feuilles et les fruits, surtout pour le manganèse, cuivre et potassium, est significative.



Légende :

FeK : Teneur des feuilles en potassium

FrK : Teneur des fruits en potassium

FeNa : Teneur des feuilles en sodium

FrNa : Teneur des fruits en sodium

FeMn : Teneur des feuilles en manganèse

FrMn : Teneur des fruits en manganèse

FeCu : Teneur des feuilles en cuivre

FrCu : Teneur des fruits en cuivre

Figure 3.1. Analyse en composantes principales, cercle de corrélation des teneurs en éléments minéraux des organes (feuilles et fruits)

En effet, l'axe des abscisses noté dim1indique que 38,72% de la variance totale correspondent à la variance entre les teneurs en potassium et manganèse dans les fruits et les teneurs en ces mêmes éléments dans les feuilles. On note que la teneur en potassium dans les feuilles (FeK) et dans les fruits (FrK) est respectivement dans les abscisses négatives et dans les abscisses positives. Ce qui indique une différence significative entre des teneurs des feuilles et des fruits en potassium. Il en est de même pour les teneurs en manganèse (FeMn et FrMn). La méthode utilisée est décrite dans la littérature **(MAHAMAT et al., 2015)**. L'axe des ordonnées, noté dim 2 indique que 29,11% de la variance totale permettent de constater une différence significative entre la teneur des fruits en cuivre (FrCu) placée dans les ordonnées positives et la teneur des feuilles en cuivre (FeCu) placée dans les ordonnées négatives **(MAHAMAT et al., 2015).**

Les Tableaux 3.1 et 3.2 montrent les résultats des teneurs moyennes en éléments minéraux des feuilles et des fruits et permettent de faire une comparaison entre ces deux organes. Il est facile de noter que les feuilles du G1, G3 et G5 sont plus riches en potassium que leurs fruits.

Les feuilles de tous les cultivars sont plus riches en sodium que les fruits de ces mêmes cultivars (voir Tableau 3.1 et 3.2).

Pour l'élément manganèse, les feuilles des cultivars G1, G2, G3, G4 et G5 sont moins riches par rapport aux fruits de ces mêmes cultivars (voir Tableau 3.1 et 3.2).

Les fruits des cultivars G1, G2, G3, G4 et G5 sont plus riches en cuivre que les feuilles de ces mêmes cultivars (voir Tableau 3.1 et 3.2).

De ce qui précède, il est facile de noter que les feuilles sont plus riches en micronutriments majeurs (potassium et sodium) et les fruits sont plus riches en oligo-éléments (manganèse et cuivre).

III.2.4. Influence des paramètres physico-chimiques du sol sur la teneur en éléments minéraux des organes du Gombo

Les résultats du tableau 3.3 montrent que la teneur en carbone organique total, et le pH du sol dans lequel les différents cultivars ont été plantés sont respectivement 0,643±0,01% et 7,14±0,04. La teneur en carbone organique total représente la teneur en matière organique total. Ce dernier paramètre et le pH du sol sont des paramètres qui influencent le développement du gombo. En effet, il a été montré que le gombo se développe bien sur un sol où le pH est compris entre 6 et 7. L'intervalle des valeurs de pH acceptable se situe entre 5,8 et 7,5 avec un idéal de 6 à 7 **(KONATE et al., 2017)**. Il est important de noter que les résultats obtenus sont situés dans cet intervalle.

Le Tableau 3.3 montre aussi les teneurs en potassium échangeable (3,39±0,06méq/100g du sol) et le sodium échangeable (0,13±0,01méq/100g du sol). On remarque une grande différence entre ces teneurs de deux éléments dans le sol. Cette grande différence a été observée dans les teneurs des organes des différents cultivars. Ceci s'explique par le fait que il y a une corrélation entre la teneur du sol en sodium et potassium assimilables et la teneurs en ces éléments minéraux dans les plantes **(SCHEIDECKER, 1959**)**.**

Aussi, la teneur en manganèse échangeable dans le sol (20,4±1,80 mg/kg du sol) et celle du cuivre échangeable dans le sol (1,43±0,39 mg/kg du sol) ont été déterminées. On remarque une différence entre les teneurs en manganèse et en cuivre échangeable du sol. Cette différence s'observe aussi entre les teneurs des organes des différents cultivars en ces éléments minéraux (0,6978±0,0686mg/100g de matière sèche pour le cuivre contre18,28±1,2796 mg/100g de matière sèche pour le manganèse). Cette corrélation a été observée dans d'autres travaux **(TOUNDOU, 2016)**.

En effet, il a été montré que le prélèvement des ions par la plante est une fonction du mouvement du soluté depuis les agrégats de sol vers la surface racinaire. Aussi, le pH (7,14±0,04), la conductivité électrique (454±11,36 µS/Cm) et la teneur en matière organique (0,643±0,01%C) interviennent dans la phytodisponibilité des Eléments Traces Métalliques (E.T.M) du sol. La phytodisponibilité étant l'aptitude d'un élément trace à passer dans un compartiment du sol où il sera directement assimilable par une plante **(TOUNDOU, 2016)**.

Par conséquent, la teneur des feuilles et des fruits des différents cultivars en manganèse est largement supérieure à la teneur de ces différents cultivars en cuivre parce que la teneur en manganèse échangeable du sol est largement supérieure à celle du cuivre échangeable du sol. Cela montre que la teneur du sol en éléments minéraux exerce une influence sur la teneur des feuilles et des fruits en éléments minéraux.

CONCLUSION GENERALE

L'objectif global de ce travail était de participer à l'amélioration de la nutrition de la population burundaise en contribuant à connaitre les vertus nutritionnelles du Gombo. Ces dernières devraient nous aider à savoir si la culture de cette plante pourrait être l'une des solutions dans la lutte contre la malnutrition au Burundi.

En effet, les résultats ont montré que les différents cultivars de gombo sont riches en éléments minéraux dont l'organisme a besoin. Aussi comme les feuilles sont riches en éléments minéraux dits majeurs et que les fruits sont riches en oligo-éléments, la consommation des feuilles et des fruits mélangés serait une stratégie d'assurer pour la population burundaise une bonne alimentation.

Ainsi d'après les résultats obtenus au cours de ce travail, il faut vulgariser la culture de cette plante dans le but de lutter contre la mal nutrition dans notre pays. De plus, la culture de gombo est une activité à recommander pour améliorer l'alimentation de la population burundaise.

Donc, on peut conclure en disant que cette partie qui concerne les vertus nutritionnelles du gombo est intéressante pour améliorer l'alimentation de la population burundaise. De plus, les paramètres physico-chimiques du sol ont montré que la culture de cette plante est possible et même prometteuse. C'est pour cela que d'autres travaux concernant cette nouvelle plante devraient être menés afin que toutes les vertus nutritionnelles et probablement thérapeutiques soient connues. Après, la promotion de la culture de cette plante au Burundi devrait suivre.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. ADEPOJU, OLADEJO T, ADEFILA, SAMUEL A. (2015) *Effects of Processing Methods on Nutrient Retention of Processed Okra (Abelmoschus Esculentus) Fruit.* ResearchGate, volume 4, page 61-68.

2. ADOUANI. (2O20) *la spectroscopie atomique (sa).* Université Ferhat Abbas Sétif-1, page 2-5.

3. AOAC. (1990) *Officials Methods Analysis. United* States of America, volume 1, page 1-771.

4. BURDIN L. (2014) *oligothérapie et personne âgée : intérêt du chrome, du sélénium, du zinc et du cuivre.* Université Toulouse III Paul Sabatier, page 20.

5. CARBON M. (2015) *Analyse de la Variance.* Université de Laval, page 52-53.

6. ELHAJJI A. (2000). *Techniques Spectroscopiques.* Filière SMC, page 30.

7. FAO. *Les sols sont fondamentaux pour la végétation que l'on cultive ou gère pour produire aliments, fibres, combustibles et produits médicinaux.* Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture Viale delle Terme di Caracalla 00153 Rome, Italie, page 1-4.

8. FONDIO L, DJIDJI A, KOUAME C, AÏDARA S, HALA N. (2007*) Bien cultiver le gombo en Côte d'Ivoire.* Centre National de Recherche Agronomique, page 1.

9. FONDIO L., DJIDJI H. A., C. KOUAME C., TRAORE D. (2003) *effet de la date de semis sur la production du gombo (Abelmoschus spp.) dans le centre de la cote d'ivoire.* Agronomie Africaine, volume 15, page 13-27.

10. GERRANO A. (2018) *Agronomic Performance, Nutritional Phenotyping and Trait Associations of Okra (Abelmoschus esculentus) Genotypes in South Africa.* Web of sciences, page 70-76.

11. GUÉGUEN L. et FAUCONNEAU G. (1960) *Etude sur les variations des teneurs en matières azotées et en éléments minéraux du dactyle.* Annales de zootechnie, INRA/EDP Sciences, page 157-179.

12. HARKAT H. (2014) Appréciation *de la nutrition minérale de quelques vignobles de la région de Skikda par la démarche de l'enquête.* Université de Constantine 1, page 15.

13. IVANICE F., DOS SANTOS, ANA M.P, DOS SANTOS., UENDERSON A., BARBOSA, JEANE S., LIMA, DEBORA C., DOS SANTOS, GERALDO D., MATOS. (2013) *Multivariate analysis of the mineral content of raw and cooked okra (Abelmoschus esculentus L.).* Microchemical Journal, volume 110, page 439-443

14. KALUMBU J, OKOTOMA B, MUSAYA E, SIKUZANI Y et KIMUNI L. *Facteurs influençant le profit de la culture de gombo dans les conditions pédoclimatiques et socio-économiques de Lubumbashi en RDC.*International Journal of Innovation and Applied Studies, volume 12, page 820-830

15. KONATE B., NANA R., ZONGO J., BADIELB., NANEMA L., TAMINI Z. (2017) *evaluation of agro-physiological and biochemical parameters of a variety and four accessions of gombo [Abelmoschus esculentus (l.) moench] grown under naturalfield conditions.* International Journal of Recent Scientific Research volume 8, page 21154-21162.

16. KONATE B., NANA R., NANEMA L., BADIEL B., SAWADOGO M., TAMINI Z. (2016) *Réponsemorphophysiologique du gombo [Abelmoschus esculentus (L.) Moench] soumis à la biofertilisation et à des stress hydriques.*International Journal of Biological and Chemical Sciences, volume 10, page 2108-2122.

17. KOUASSI J.B., CISSE-CAMARA M., SESS D.E., TIAHOU G.G., MONDE A.A. , DJOHAN F.Y. (2013) *Détermination des teneurs en fer, en calcium, en cuivre et en zinc de deux variétés de gombo.* Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège, Volume 82, page 22-32.

18. KOUASSI J.B., CISSE-CAMARA M., SESS D.E., TIAHOU G.G., MONDE A.A. , DJOHAN F.Y. (2013) *Détermination des teneurs en Magnésium, Potassium, Manganèse et Sodium de deux variétés de gombo*. Journal of Applied Biosciences, volume 67, page 5219-5227.

19. MONTPELLIER (2005) *conférence internationale sur les ravageurs en agriculture*, Groupe de Recherche en Agriculture Biologique BP 1222 F-84911 avignoncedex 9, page 1, 2 et 7.

20. LEWALLE J. (1972) *Les étages de végétation du Burundi occidental.* Bulletin du Jardin botanique National de Belgique / Bulletin van de Nationale Plantentuin van België, volume 42, page 1-171+173-247.

21. LUCAS R., SODJINOU E., HOUEDOUGBE F.N. (2006) *Conditions d'application des méthodes statistiques paramétriques : applications sur ordinateur.* University of Abomey-Calavi, page 39.

22. MAHAMAT-SALEH M., DIALLOD.M., NDIAYE O., NIANG K, SANE S., TOUROUMGAYE G., François MATTY F., GUISSE A. (2005) *Influence des caractéristiques physico-chimiques des sols sur la flore et la végétation ligneuse de trois stations du tracé de la grande muraille verte du Tchad.* Journal of Applied Biosciences, volume 95, page 8937-8949.

23. MINAGRIE (2014) *états généraux de l'agriculture et de l'élevage (EGAE), édition 2014.* Ministère de l'agriculture et de l'élevage, page 1.

24. MISSY P. (2001) *recherche de nouveaux chélateurs du manganèse, en vue de la détoxication de l'organisme, études in vivo et in vitro.* Université de Metz, page 35.

25. MIZEHOUN A. (2016) *apport alimentaire de sodium, potassium et iode, relation avec l'état nutritionnel au bénin.* Université de limoges / Université d'Abomey-Calavi, page 17.

26. MYRIAM (2016) *Analyse de la variance à un facteur.* Université de Strasbourg , page 22,76.

27. NANA R. (2005). *Influence de la fréquence et de la période d'arrosage sur l'économie d'eau: adaptation physiologique du gombo (Abelmosehus eseulentus (L.) Moench) en culture de contre saison.* Université de Ouagadougou, Burkina Faso, page 67.

28. NKENGURUTSE J. , NZOYISUBIZIKI J., BIGENDAKO M J., NKURUNZIZA M., MBONIHANKUYE C., NTAKARUTIMANA V. (2018) Caractérisation *Préliminaire de la Morphologie et du Rendement des Cultivars du Gombo, Abelmoschus esculentus (L.) Moench, Cultivés au Burundi. Perspectives d'avenir.*annales des sciences et des sciences appliquées, volume 4, page 182-200.

29. OUEDRAOGO (2009) *Caractérisation agromorphologique comparée de cinq variétés de gombo (abelmoschus esculentus (l.) moench*. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, page 5, 6-8.

30. PICAUD C. (2017) *Oligo-éléments : excès, carences et conseil officinal*. Université de Limoges, page 45, 100.

31. PINTA (1971) *Spectrométrie d'absorption atomique.* Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, tome 1et tome 2, page 1-855.

32. PIZONGO (2014) *Réponse de variétés de gombo (Abelmoschus esculentus l) aux engrais chimiques et à la fumure organique*. université polytechnique de bobo-dioulasso, page 5-6,9-12.

33. PND-BURUNDI (2018) *Plan national de Développement du Burundi 2018-2027*. comité chargée d'éditer le plan national du développement au Burundi, page 18.

34. RUCH (2014) *Statistique : tests d'hypothèses*. Bordeaux 1, page 5, 6.

35. SAWADOGO M ., ZOMBRE G.,BALMA D. (2006) *Expression de différents écotypes de gombo (abelmoschus esculentus l.) au déficit hydrique intervenant pendant la boutonisation et la floraison.*Biotechnology, Agronomy and Society and Environment, volume 10, page 43-54.

36. SCHEIDECKER, D. (1959) *Méthodes d'étude des besoins minéraux des plantes*. office de la recherche scientifique et technique outre-mer,centre de formation de physiologie végétale, page 19.

37.THARRAULT, Y. (2008) *Diagnostic de fonctionnement par analyse en composantes principales : application a une station de traitement des eaux usées*. Institut National Polytechnique de Lorraine-INPL, page 4.

38. THIAW M., NDIAYE D.,SÉNE M., MBAYE T., BALDÉ M (2009) *Evaluation du rendement de six variétés de gombo (abelmoschus esculentus (l.) moench) dans les conditions agro-climatiques de Sédhiou au Sénégal.* Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture, volume 2, page 69-75.

39.TOUNDOU (2016) *Evaluation des caractéristiques chimiques et agronomiques de cinq composts de déchets et étude de leurs effets sur les propriétés chimiques du sol, la physiologie et le rendement du maïs (Zea mays L. Var. Ikenne) et de la tomate (Lycopersicum esculentum L.)* Université de Limoges, page 1-213.

40. VALDIGUIE (2000) *Biochimie clinique*. université Paul-Sabatier de Toulouse,page 7.

41. WFP-BURUNDI (2012) *Analyse des données secondaires de la sécurité alimentaire, vulnérabilité et nutrition au Burundi*. federal minitsry for economic cooperation and development, page 9.