REPUBLIQUE DU BURUNDI
Ministère de l'Environnement, de l'Agriculture et de l'Elevage

Centre d'Echange d'Information
sur la Biodiversité
CHM-BURUNDAIS

ISSN 2519-0113 (Imprimé)

Bulletin scientifique sur l'environnement et la biodiversité

ISSN 2519-0121 (En ligne)

Bulletin Scientifique sur l'Environnement et la Biodiversité

Bulletin N°3

Numéro spécial :

HOMMAGE A FEU NZIGIDAHERA BENOIT (1964-2018)

museum

LA COOPÉRATION BELGE AU DÉVELOPPEMENT .be

Bujumbura, Juillet 2019

BULLETIN N° 3

Bulletin Scientifique sur l'Environnement et la Biodiversité publié annuellement.

Siège de publication: Office Burundais pour la Protection de l'Environnement

Editeur: Centre d'Echange d'Informations en matière de Diversité Biologique, CHM (Clearing House Mechanism)

© OBPE-CHM. 2019

B.P. 2757 Bujumbura, Tél.: (257) 22234304
E-mail: obpe_burundi@yahoo.fr, **Site web:** http://bi.chm-cbd.net

Comité de rédaction:

Rédacteur en Chef:

Prof BANGIRINAMA Frédéric, Ecole Normale Supérieure

Rédacteur en Chef Adjoint:

Prof. HABONIMANA Bernadette, Université du Burundi

Rédacteurs associés:
Ecologie : Dr. NDUWARUGIRA Déogratias, Université du Burundi
Conservation : Prof. NDAYISHIMIYE Joël, Université du Burundi
Valorisation des ressources naturelles : Dr NKENGURUTSE Jacques, Université du Burundi
Systématique : Prof. MPAWENAYO Balthazar, Université du Burundi
Pollution : Dr. BIGUMANDONDERA Patrice, Université du Burundi
Risques et catastrophes naturelles : Dr. SINDAYIHEBURA Anicet, Université du Burundi

Comité scientifique:
1. Ecologie
Prof. NIYONKURU Charles, Université du Burundi
Dr. NDIHOKUBWAYO Noël, Ecole Normale Supérieure
Dr. SIBOMANA Claver, Université du Burundi
Dr. NDUWIMANA André, Université du Burundi
Dr. HAVYARIMANA François, Université du Burundi
Mr. NTASHAVU Dieudonné, Office Burundais pour la Protection de l'Environnement
Mr. NDAYIZEYE Liévin, Office Burundais pour la Protection de l'Environnement
Dr. MASUMBUKO Céphas, Université Officielle de Bukavu
Prof. BOGAERT Jan, Université de Liège
2. Conservation
Prof. NGEZAHAYO Fréderic, Ecole Normale Supérieure
Prof. MASHARABU Tatien, Université du Burundi
Mr. MASABO Onesphore, Office Burundais pour la Protection de l'Environnement
Mr. NZIGIYIMPA Léonidas, Office Burundais pour la Protection de l'Environnement
Mr. FOFO Alphonse, Office Burundais pour la Protection de l'Environnement
Prof. BIZURU Elias, Université Nationale du Rwanda
3. Valorisation des ressources naturelles
Prof. NDUWIMANA André, Université du Burundi
Prof. NTAKARUTIMANA Vestine, Université du Burundi
Prof. NIZIGIYIMANA Libérate, Université du Burundi
Prof. NDAMANISHA Jean Chrysostome, Université du Burundi
Prof. NUSURA Hassan, Université du Burundi
Dr. NIYONGABO Désiré, Ecole Normale Supérieure
Dr. BANDUSHUBWENGE Denis, Université du Burundi
Dr. NIMENYA Nicodème, Université du Burundi
4. Systématique
Prof. NTAKIMAZI Gaspard, Université du Burundi
Prof. DUSHIMIRIMANA Sévérin, Ecole Normale Supérieure
Dr. BANYANKIMBONA Gaspard, Université du Burundi
Msc. NDAYIKEZA Longin, Office Burundais pour la Protection de l'Environnement
Mme MANIRAKIZA Odette, Office Burundais pour la Protection de l'Environnement
Dr. SUSINI Marie-Lucie, Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique
Mr. GAUGRY Yves, Flora Fauna & Man Ecological Services Ltd
Prof. MUNYULI M.B. Theodore, Department of Agriculture and Biology
5. Pollution
Dr. NSAVYIMANA Gaston, Université du Burundi
Dr. BISORE Simon, Ecole Normale Supérieure du Burundi
Msc. POLISI Alphonse, Office burundais pour la Protection de l'Environnement
Dr LINA ALEKE Alex, Université Officielle de Bukavu
6. Risques et catastrophes naturels
Prof. SABUSHIMIKE Jean Marie, Université du Burundi
Dr. BAKUNDUKIZE Charles, Université du Burundi
Dr. NDAYISENGA Aloys, Université du Burundi
Dr. SINDAYIHEBURA Bernard, Université du Burundi
Dr. NDAYIRAGIJE Samuel, Office Burundais pour la Protection de l'Environnement

CONTENU

Effet de l'application du fumier organique et de l'association du haricot sur la productivité du tournesol au Burundi: cas de la plaine de Bujumbura

Bangirinama Frédéric, Nyandwi Servat, Ntagahoraho Cyrille & Sinzobatohana Agricole. .....… 1-15

Caractérisation et organisation spatio-temporelle des feux actifs au Burundi de 2001 à 2016 sur base des données MODIS

Niyongabo Elias & Mbarushimana Didier..... 16-31

Valorisation des plantes comestibles de la flore naturelle du Burundi: une contribution à la réduction de la malnutrition

Ntakarutimana Vestine, Gahungu Godefroid, Nsavyimana Gaston & Ndayishimiye Joël.....32-44

Fabrication des briquettes combustibles à base des déchets solides ménagers et de bouse de vache.

Sinzinkayo Elie & Ndikumana Edouard 45-53

Usages des plantes d'intérêt socio-économique au sein des communautés Mahi et Nago de la Commune de Savalou au Bénin

Gbesso Gbodja Houéhanou François, Osseni Abdel Aziz1, Ajavon Ayi Yves Césaire & Tente Brice… 54-66

HOMMAGE A FEU NZIGIDAHERA BENOIT (1964-2018)

Nous rendons hommage dans ce bulletin n°3 à une grande figure, feu NZIGIDAHERA Benoît (Paix à son âme) qui fut un homme de référence, une légende inoubliable, un vrai génie et ami de la nature, le botaniste par excellence, le travailleur infatigable et l'homme de terrain. Chef de Service Recherche en Biodiversité à l'Office Burundais pour la Protection de l'Environnement (OBPE) et Point Focal National du CHM burundais, il a énormément contribué au progrès de la recherche en biodiversité et à la protection de la flore et de la faune du Burundi.

Feu NZIGIDAHERA Benoît a toujours œuvré pour une collaboration interinstitutionnelle et multi-acteurs au Burundi. Il était également reconnu comme un champion de la biodiversité par de grandes organisations et plateformes internationales comme l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) et la Convention sur la Diversité Biologique (CDB). Ainsi, à partir de 2003, feu NZIGIDAHERA Benoît a été à l'origine du partenariat entre l'Institut Royal des Sciences Naturelles (IRSNB) et son programme CEBios, financé par la Coopération belge au Développement, et l'OBPE. Ce partenariat a permis d'établir un programme de recherche, d'échange d'information, de sensibilisation et de conservation de la biodiversité au Burundi. Dans le but de diffuser les connaissances scientifiques sur la biodiversité à l'échelle mondiale, feu NZIGIDAHERA Benoît, à travers le Centre d'Echange d'Informations sur la Biodiversité du Burundi (CHM-Burundi), a fortement contribué en 2006 à la création du Bulletin Scientifique de l'Institut National pour l'Environnement et la Conservation de la Nature (INECN) devenu, en 2015, le Bulletin Scientifique sur l'Environnement et la Biodiversité dont il était le Rédacteur en Chef.

C'est ainsi qu'en 2016, le CHM-Burundi a reçu un certificat de mérite en matière d'échange d'information lors de la Treizième Conférence des Parties (COP13) tenue à Cancun au Mexique. En 2018, le CHM-Burundi a reçu une médaille d'or décernée par le Secrétaire exécutif de la CBD lors de la Quatorzième Conférence des Parties (COP14) sur la Biodiversité à Charm el-Cheikh en Egypte.

Dans ce numéro spécial, ses anciens collègues, ses anciens amis et étudiants aujourd'hui enseignants des universités et chercheurs dans différentes institutions, lui rendent hommage en optant de l'immortaliser à travers leurs œuvres dans un esprit d'équipe si cher à feu Benoît. Ces auteurs ont répondu aux questions spécifiques liées à la conservation de la nature et la sauvegarde de la biodiversité. Telle était la préoccupation primordiale et quotidienne du feu Benoît. Dans ce bulletin spécial, les articles traitent divers domaines, comme l'écologie et la valorisation des ressources naturelles. Pour rester fidèle à l'esprit d'ouverture qui caractérisait feu Benoît, ce bulletin sur l'environnement et la biodiversité a encouragé et accepté les contributions venant de différents horizons.

***Bull. sci. environ. biodivers.* 3: 1-**

ARTICLE DE RECHERCHE

ISSN 2519-0113 (Imprimé)

Bulletin scientifique sur l'environnement et la biodiversité

ISSN 2519-0121 (En ligne)

Effet de l'application du fumier organique et de l'association du haricot sur la productivité du tournesol au Burundi: cas de la plaine de Bujumbura

[1]Bangirinama F., [2]Nyandwi S., [1]Ntagahoraho C. & [1]Sinzobatohana A.

[1] École normale supérieure, Département des Sciences Naturelles, BP 6983, Bujumbura, Burundi

[2] Université du Burundi, Faculté des Sciences, Département de Mathématiques, BP 2700, Bujumbura, Burundi

Auteur correspondant: Bangirinama Frédéric, **E-mail**: bangifre2003@yahoo.fr

Reçu: *le 03 Janvier 2017* Accepté: *le 18 Avril 2017* Publié: *le 28 Juin 2018*

RESUME:

Mots clés: rendement, levée, croissance, floraison et maturation.

La culture du tournesol a été introduite au Burundi au cours des années 1930. La vulgarisation de la culture de tournesol et l'augmentation de sa productivité pourraient contribuer à l'amélioration de la sécurité alimentaire de la population burundaise. Le tournesol offre actuellement des opportunités en matière de sécurité alimentaire et de développement économique. L'atteinte de cet objectif nécessite une maitrise de ses techniques culturales et de ses exigences écologiques. C'est dans ce cadre qu'une étude basée sur le suivi d'une culture de tournesol dans les conditions d'association avec le haricot et d'application ou non de fumure organique a été conduite. Les résultats obtenus ont confirmé un effet significatif du fumier sur tous les paramètres mesurés contrairement à l'association tournesol-haricot. D'autres études sur les ravageurs, les maladies et l'association d'autres cultures sont recommandées pour améliorer les connaissances dans ce domaine.

ABSTRACT

The cultivation of sunflower was introduced in Burundi during the 1930s. The popularization of the sunflower crop and the increase of its productivity could contribute to the improvement of the food security of the Burundian population. Sunflower currently offers opportunities for food security and economic development. The achievement of this objective requires a mastery of its cultivation techniques and its ecological requirements. A study based on the follow-up of the sunflower crop under conditions of association with the bean and application or not of organic fertilizer was conducted. The results obtained confirmed a significant effect of manure on all parameters measured in contrast to the sunflower-bean association. Further studies on pests, diseases and the association of other crops are recommended to improve knowledge in this area.

Key words: yield, emergence, growth, flowering and maturation

INTRODUCTION

1.1. Description

Le nom scientifique du tournesol, *Helianthus annuus* **l**. fait référence à la forme caracteristique de son inflorescence composée, le capitule. Il provient des mots grecs Helios et Anthos qui signifient respectivement « soleil » et « fleur ». Le tournesol est en quelque sorte la « fleur du soleil » (Evon, 2008).

Originaire d'Amérique, sa distribution à travers le monde entier s'est réalisée grâce aux routes commerciales de l'époque. (Baert, 1992 *in* Nimubona, 1994). Au niveau de l'Afrique, la production est concentrée surtout en Afrique du Sud (Nyabyenda, 2007). En Afrique tropicale, les principaux pays producteurs par ordre d'importance sont Zimbabwe, Soudan, Tanzanie, Kenya, Zambie, Mozambique, Angola et Malawi (Romain, 2001).

1.2. Ecologie

Le tournesol est cultivé à partir de 40°S à 55°N mais les plus grandes productions sont entre les latitudes 20-50°N et 20-40° S (Weiss, 1983). En Afrique tropicale, le tournesol peut être cultivé depuis le niveau de la mer jusqu'à une altitude de 2500 m (Romain, 2001).

1.2.1. Sol

Le tournesol pousse bien dans des nombreux types de sols. En général, les sols qui conviennent pour le maïs peuvent également être utilisés pour la production du tournesol. Il est possible d'atteindre des rendements satisfaisants sur des sols sableux assez légers. Elle est sensible à la saturation en eau, ne supporte pas les sols acides. La gamme du pH la plus favorable pour la croissance du tournesol est de 6,0 et 7,5 (Romain, 2001).

Les nutriments adéquats sont essentiels pour le rendement élevé des semences. L'azote doit être lié à la disponibilité du phosphore et de la potasse. Le phosphore ne donne aucune augmentation significative du rendement. Le potassium est essentiel pour une croissance saine et un rendement élevé et des réponses à l'absence d'autres nutriments sont réduits (Weiss, 1983). La culture du tournesol est particulièrement sensible à la carence en Bore (Doorenbos, 1980).

1.2.2. Climat

Le tournesol demande un climat chaud. Sa teneur en huile dépend beaucoup de la quantité de chaleur que reçoit la plante, tout particulièrement durant la phase de maturation des graines. Il résiste bien au froid jusqu'a -6 à -8°C (Memento de l'agronome, 1998). Pour une germination optimale, la température mensuelle moyenne doit être supérieure à 10°C. Pour une croissance optimale, le tournesol préfère des températures comprises entre 18 et 27°C (Romain, 2001).

A des températures élevées, les abeilles sont moins actives, ce qui réduit la pollinisation et la formation des graines. La maturation est favorisée par temps sec et chaud (Romain, 2001). En général, les semences des plantes annuelles ne germent pas à des températures en dessous de 7°C et au-dessus de 30°C (Vallée & Bilodeau, 1999).
La lumière est absolument indispensable au tournesol pour accomplir son cycle végétatif (Memento de l'agronome, 1998). Le rayonnement a non seulement un impact sur la productivité mais aussi un effet important sur la vitesse de croissance des limbes. Une variation de la densité de couvert influe sur la quantité de lumière interceptée par la plante (Casadebaig, 2008).

Les besoins en eau du tournesol s'élèvent à 500 à 600 mm de pluie environ durant son cycle végétatif. Ces besoins sont surtout importants durant les 50 à 70 jours qui suivent le semis (Memento de l'Agronome, 1998) et plus particulièrement du stade bouton floral et au début de la formation des graines (Vespa, 1985 *in* Nimubona, 1994). En outre, le tournesol est une plante qui résiste assez bien à la sécheresse compte tenu de son système radiculaire bien développé. Il craint les excès d'humidité (Memento de l'Agronome, 1998).

1.3. Contraintes de la culture du tournesol

Les oiseaux et les rongeurs peuvent provoquer des pertes considérables pendant la maturation

de la culture et il faut prendre des mesures de lutte par exemple les répulsifs chimiques, canons à oiseaux et récolte précoce (Prota, 2007). Les dégâts d'oiseaux sont d'autant plus faibles que la levée est rapide. Les chenilles de noctuelles terricoles (ou vers gris), dont les morsures détruisent les jeunes plantes, sont à surveiller dès la levée de la culture pour une intervention rapide si nécessaire (CETIOM, 2015).

Les ravageurs provoquent moins de dégâts que les maladies. Cependant la petite limace grise, limace horticole et la tipule des prairies ainsi que le thrips du tabac et d'oignon attaquent surtout les jeunes plantes. Le moineau domestique, le verdier et la linotte mélodieuse dévorent les graines du capitule à maturité (Mestries *et al.*, 2011). Les myriapodes (iules, blaniules, scutigérelles), ravageurs souterrains, très localement présents et de façon occasionnelle peuvent être maîtrisés de la même façon que les taupins (CETIOM, 2015). En ce qui concerne les insectes, ils sont plus nombreux et beaucoup sont propres à un continent (Prota, 2007).

Les maladies cryptogamiques les plus importantes auxquelles la culture du tournesol est soumise sont causées par *Phoma* (*Phoma macdonaldii*), *Plasmopara halstedii* (le mildiou), *Phomopsis* (*Phomopsis helianthi*) et *Sclérotinia* (*Sclérotinia sclerotiorum*). Grâce au progrès génétique, la principale méthode de lutte contre les maladies du tournesol repose aujourd'hui sur l'utilisation de variétés à bon comportement (INRA, 2011).

La lutte agronomique regroupe une diversité de mesures contribuant à réduire le risque d'attaques et à limiter l'impact de celles-ci sur la culture. Basées sur la prévention (ex. succession de cultures), l'esquive (ex. date de semis) ou la création de conditions peu favorables à l'expression du champignon pathogène (rationnement végétatif), ces mesures sont autant de pratiques dont l'effet partiel sur les maladies du tournesol a été démontré (INRA, 2011).

L'association, au cours du temps et à l'échelle de la région, des méthodes de lutte agronomique, génétique, chimique et biologique, est la clé pour une maîtrise efficace et durable des maladies du tournesol (INRA, 2011). Lors de l'usage des insecticides, il faut le faire à ce que ces derniers utilisés pour lutter contre les ravageurs du tournesol ne soient pas toxiques pour les abeilles pollinisatrices pendant la période de floraison (Prota, 2007).

I.4. Usages et culture de tournesol au Burundi

La culture du tournesol reste pour le Burundi une culture plastique avec moins de contraintes biotiques et abiotiques (MINAGRIE, 2008). Cette plante est introduite au Burundi au cours des années 1930, le tournesol pousse dans beaucoup de zones écologiques du pays mais entre très peu dans la constitution de la ration alimentaire des populations rurales à cause de l'insuffisance et de l'absence des infrastructures de transformation post-récolte et des programmes cohérents de sa promotion (MINAGRIE, 2008).

Elle est entreprise dans le Bugesera et le Bweru. Une usine de trituration a été mise en place dans la province de Kirundo. La production nationale est estimée à moins de 1000 tonnes (MINAGRIE, 2008).

L'huile du tournesol est excellente et l'on s'en sert comme l'huile de table au même titre que l'huile d'arachide et l'huile d'olive. Elle est même considérée comme un produit diététique et préconisée, à ce titre, pour des propriétés anti cholestérol (Memento de l'Agronome, 1998). Elle renferme des acides linoléiques qui sont essentielles à la vie de l'homme (Andriaens, 1951).

D'après les nutritionnistes, cette huile est fortement recommandée par les diététiciens en raison de la forte proportion des acides gras essentiels qu'elle contient. De plus, son contenu élevé en acides gras polyinsaturés et faible en acides gras saturés en fait un choix santé (Med, 2006). Elle est composée d'environ 90 % d'acides gras insaturés et 10 % d'acides gras saturés (Romain, 2001), Ce qui en fait une huile recommandée pour les régimes visant à réduire les forts taux de cholestérol dans le sang (FAO, 1990).

Les graines de tournesol contiennent 45 % d'huile comestible et 13 à 20 % de protéines facilement digestibles ainsi qu'un tourteau riche en protéines, utilisé pour l'alimentation du bétail comme les porcs, les volailles et les bovins (Memento de l'Agronome, 1991). Il est aussi exploité par l'agro-industrie pour la fabrication des savons, des lubrifiants, des détergents et des peintures (MINAGRIE, 2008).

De par ses multiples usages, il importe de porter à la connaissance du public des exigences écologiques du tournesol au cours de son cycle végétatif. C'est dans ce cadre qu'une étude basée sur le suivi d'une culture de tournesol dans les conditions d'association avec le haricot et d'application ou non de fumure organique a été conduite. Les hypothèses vérifiées sont à deux : « le fumier influence le cycle de croissance et le rendement du tournesol », l'association haricot-tournesol influence le cycle de croissance et le rendement du tournesol ».

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. Matériels

2.1.1. Site d'étude

Une culture de tournesol a été réalisée dans la plaine de l'Imbo sur un terrain de l'Ecole Normale Supérieure. Sur une période de quatre ans (2010-2013), le diagramme ombrothermique de la plaine de l'Imbo (Figure 1) montre une saison sèche de mai à septembre. Les précipitations sont abondantes aux mois de mars et décembre.

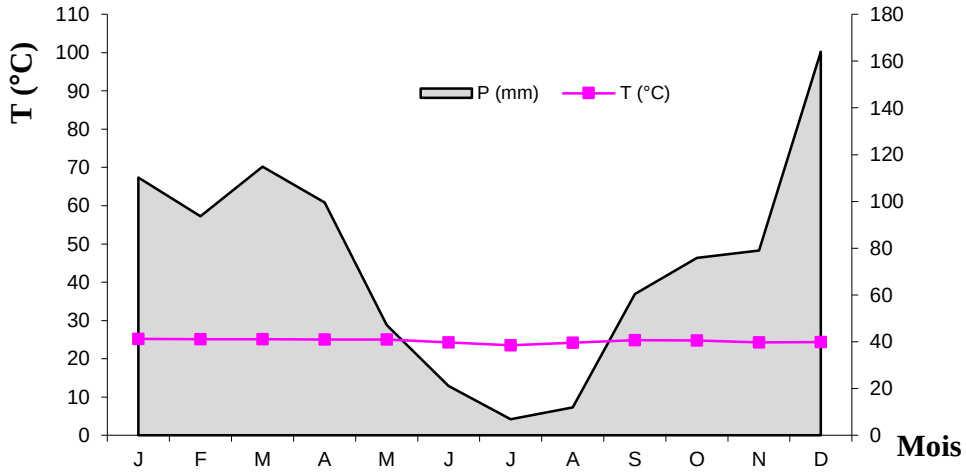


Figure 1: Diagramme ombrothermique (IGEBU, 2010-2013)

Le sol de l'Imbo comprend quatre principales catégories: les sols noirs argileux "igihomba", les sols limoneux "ikigobe", les sols sablonneux " umusenyi ", les sols salins " igitumba " et les sols argilo-sablonneux " inombe ". Le sol de notre zone d'étude appartiendrait à la catégorie des sols noirs argileux (avec un pH de 7,37).

Les autres matériels utilisés sont entre autres la houe, la corde, l'arrosoir, le GPS OREGON 450, le mètre ruban, le couteau, le pH mètre, la machette, l'appareil photo, la balance, le râteau, une règle graduée, un bloc-notes et un stylo et de petits morceaux de moustiquaires bien lavés pour éviter les oiseaux venant ravager les capitules**.**

2.2. Méthodes

2.3.1. Dispositif expérimental

Sur un terrain bien labouré, 4 lignes, avec 10 poquets sur la ligne 1 et la ligne 4 et 5 poquets sur la ligne 2 et 3 ont été installées (Figure 2). L'écartement entre les lignes était 160 cm et la distance entre les plantes était 44 cm. Pour suivre l'influence du fumier organique sur la productivité du tournesol, les poquets des lignes 1 et 2 ont reçu chacun 250 g de fumier organique tandis que ceux des lignes 3 et 4 sont restés sans fumier servant ainsi de témoins. Pour tester l'impact de l'association tournesol-haricot, les poquets des lignes 1 et 4 ont reçu alternativement trois graines de tournesol et de haricot tandis que les lignes 2 et 3 ont servi de témoins.

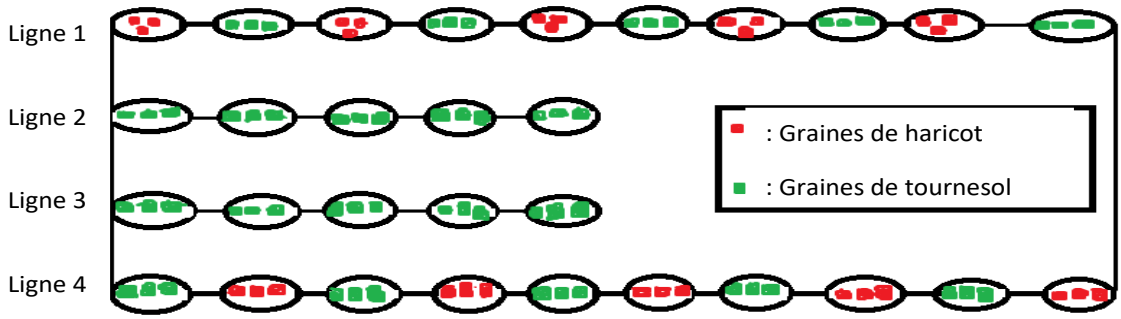


Figure 2 : Dispositif expérimental

2.3.2. Collecte et analyse des données

La collecte des données a concerné la hauteur des plantes et le nombre de feuilles par plante chaque fois après huit jours; le diamètre des feuilles en longueur et en largeur, le diamètre des capitules et le diamètre au collet tous les six jours. Le nombre de capitules par plante était compté tous les quatre jours. Le suivi a été réalisé pour tous ces paramètres jusqu'à la stabilité de la croissance de la plante et quand les feuilles et les capitules ont cessé d'apparaître. La récolte a été faite quand la moitié des feuilles des plantes était devenue sèche (Photos 1 & 2).

Photos 1 & 2 : Capitules du tournesol à l'âge de la récolte

En ce qui concerne le rendement, la détermination du nombre de graines par capitule, du nombre de capitules par plante et du poids de 1000 graines en faisant une comparaison entre les lignes avec fumier et celles sans fumier, ce qui a permis d'estimer la productivité du tournesol.

Pour s'assurer de l'effet du fumier et de l'association tournesol-haricot sur les paramètres du cycle végétatif (hauteur, diamètre au collet, diamètre des feuilles en longueur et en largeur, diamètre des capitules, nombre de feuilles,) et le rendement (nombre de graines par capitule et nombre de capitules), il a été utilisé respectivement le test F de l'analyse de la variance à une voie (ANOVA à un seul facteur) et le test de Bonferroni pour détecter où résident les différences significatives.

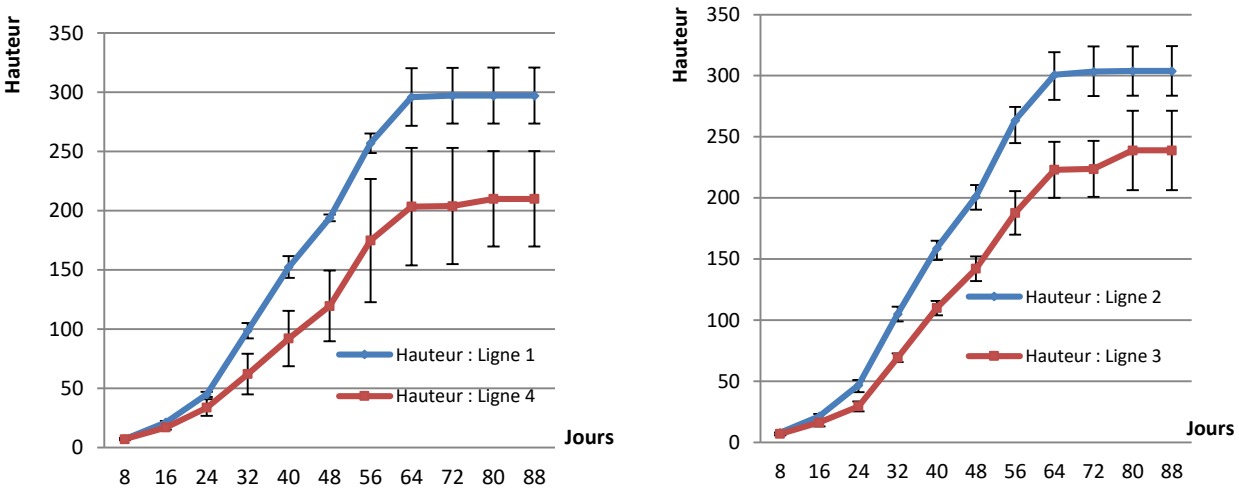
3. RESULTATS

3.1. Cycle végétatif du tournesol

Le taux de germination a été de 83,3 % après une période de 11 jours après le semis. La période végétative est en moyenne de 113 jours, soit 3 mois 23 jours. La floraison est apparue après 68 jours de la levée des jeunes

plantules.et la durée moyenne de maturation des capitules a été de 46 jours (Figures 3 & 4, photo 3).

Pour la vitesse de croissance, elle est plus importante pour les lignes 1 et 2 ayant reçu du fumier. La croissance était lente durant les premiers jours (24 jours de la levée), très rapide à partir du 24ème jour jusqu'au 64ème jour et a commencé à se stabiliser vers la maturité (à partir du 64ème jour jusqu'au 80ème jour). Cela s'est manifesté pour les lignes sans fumier et celles avec fumier.



Figures 3 & 4. Courbes de la croissance de la hauteur du tournesol

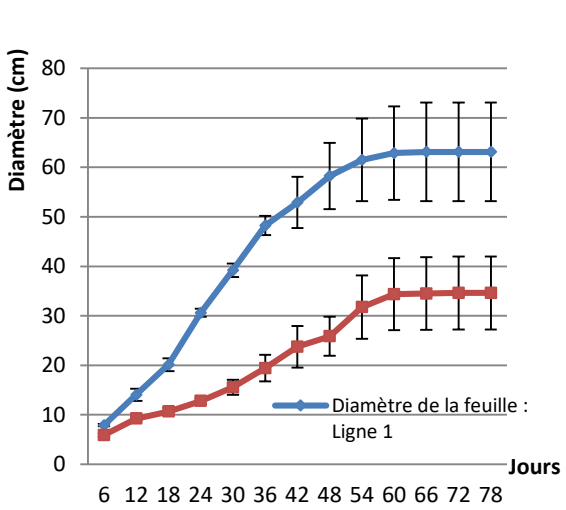
Photo 3. *Helianthus annuus* (Tournesol) après un mois de la levée

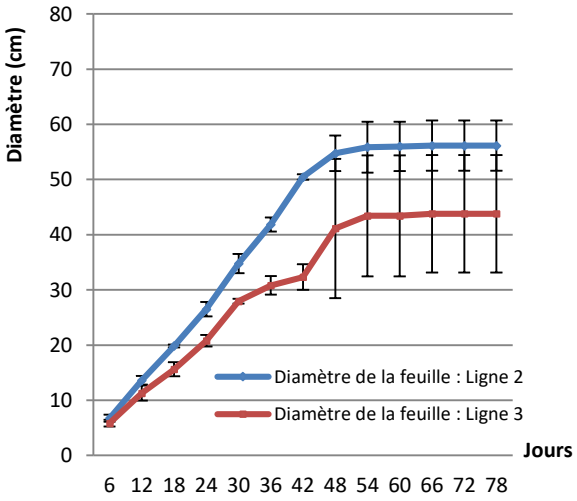
3.2. Croissance du diamètre des feuilles en longueur et en largeur

La croissance du diamètre des feuilles en longueur (Figures 5 & 6) a été plus rapide pour les lignes avec fumier que les lignes sans fumier. Dès la levée, le rythme de croissance (du diamètre en longueur) pour les lignes avec fumier était rapide que pour les lignes sans fumier. Toutefois, à partir du 18éme jour, parmi les lignes avec fumier, la croissance des feuilles (en longueur) de la ligne 1 était rapide que celle de la ligne 2. Pour le cas des lignes sans fumier, la croissance du diamètre des

feuilles en longueur de la ligne 3 était très rapide que celle de la ligne 4 depuis la levée.

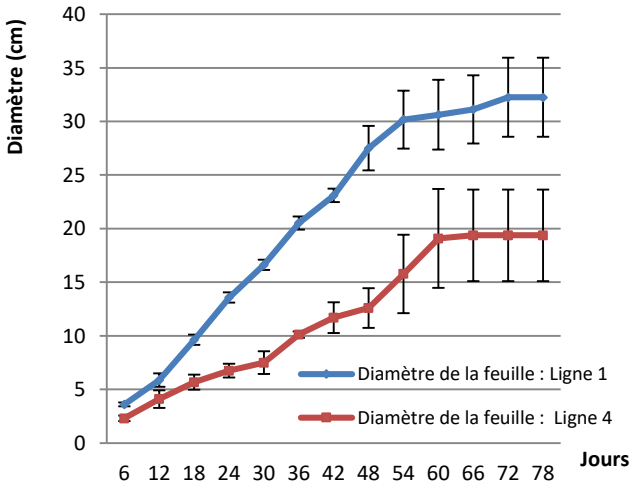
A partir du 48ème et 54ème jour de la levée, la tendance à la stabilité de la croissance du diamètre des feuilles en longueur a été observée respectivement pour les lignes 2 et 3 et pour lignes 1 et 4. La stabilité proprement dite a été atteinte au 66ème jour de la levée pour les lignes 1, 2,3 et 72ème jour pour la ligne 4.

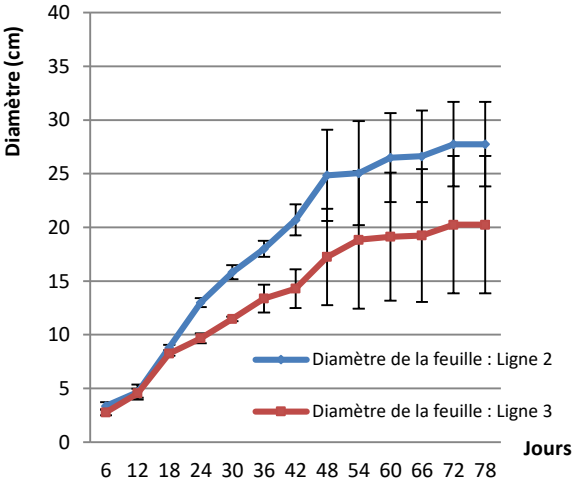




Figures 5 & 6. Courbes de la croissance de diamètre en longueur des feuilles

La croissance du diamètre en largeur des feuilles (Figures 7 & 8) pour la ligne 1 était rapide dès la levée que la ligne 2 et aussi, elle était rapide depuis la levée pour la ligne 3 que la ligne 4. La tendance à la stabilité a commencé au 54ème et 60ème jour de la levée respectivement pour les lignes 1 et 3 et pour les lignes 2 et 4. La stabilité proprement dite étant observée au 72ème jour pour les lignes 1, 2,3 et au 66ème jour pour la ligne 4.



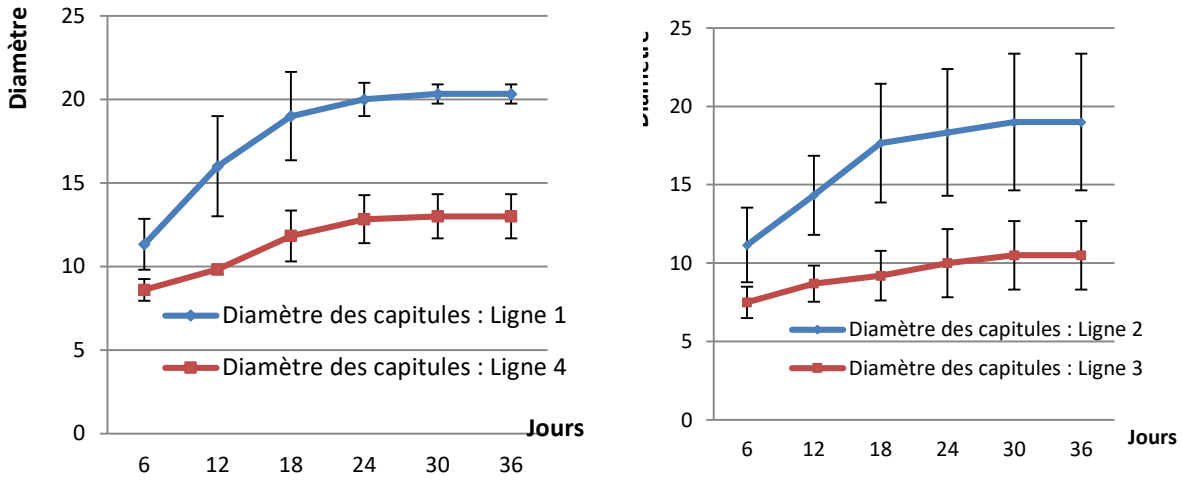


Figures 7 & 8. Courbes de croissance du diamètre des feuilles en largeur

3.3. Diamètre des capitules du tournesol

En général, la croissance en diamètre des capitules (Figures 9 & 10) était rapide et grande pour les lignes avec fumier que celles sans fumier. Les lignes avec fumier avaient une croissance rapide mais avec une croissance élevée pour la ligne 1 que pour la ligne 2 durant les 18 premiers jours. De même, durant cette même période, la croissance en diamètre des capitules étaient rapide pour la ligne 4 que la ligne 3.

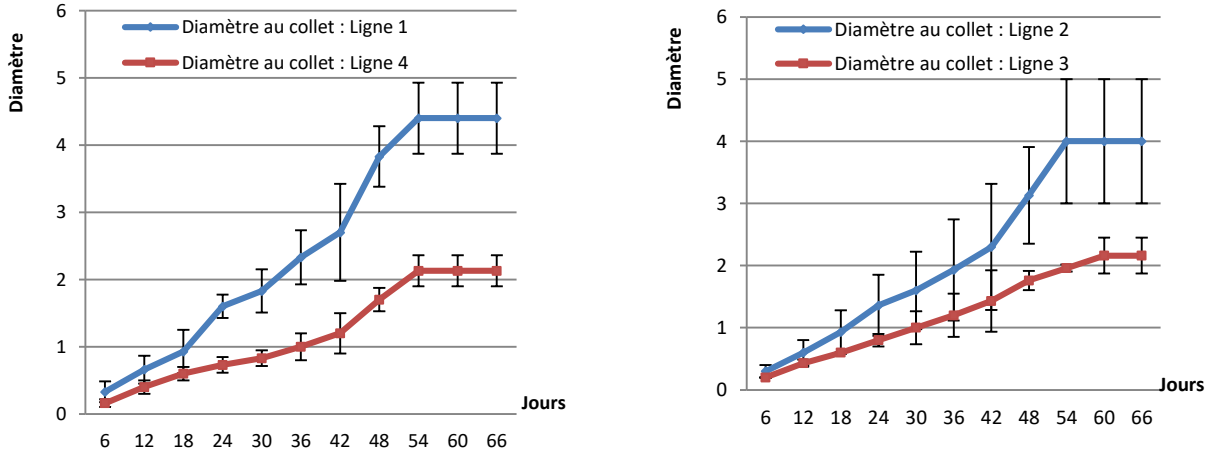
Pour toutes lignes, la tendance à la stabilité a commencé depuis le 18ème jour tandis que la stabilité proprement dite a été observée au 30ème jour de l'apparition des capitules.



Figures 9 & 10. Courbes de la croissance en diamètre du capitule

3.4. Diamètre au collet

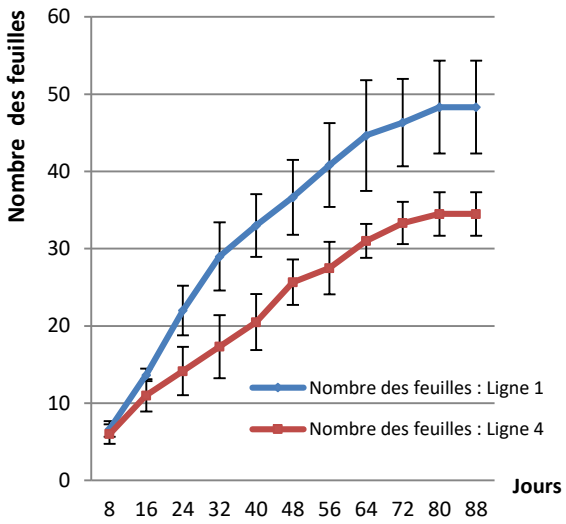
La croissance en diamètre au collet (Figures 11 & 12) est rapide pour les lignes avec fumier que celles sans fumier. Depuis la levée jusqu'au 18èmejour, le rythme de croissance pour les lignes 1 et 2 était presque le même, et cela a été observé également pour les lignes 3 et 4. Au 48ème jour de la levée, la tendance à la stabilité a été observée pour les lignes 1, 2, 3 et 4 tandis que la stabilité proprement dite s'est manifestée au 54ème jour pour les lignes 1, 2 et 4 et au 60ème jour de la levée pour la ligne 3.

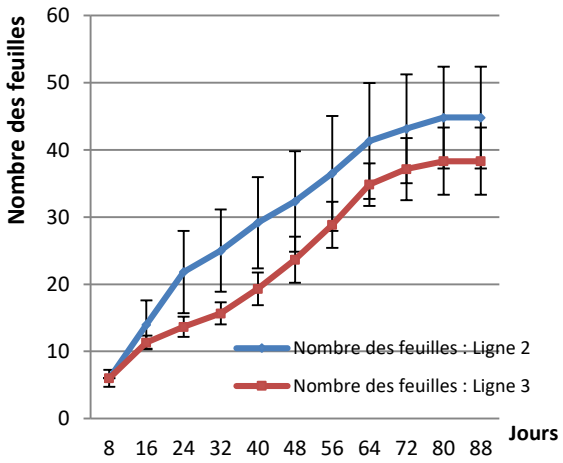


Figures 11 & 12. Courbe de croissance en diamètre au collet du tournesol

3.5. Nombre des feuilles

Les feuilles apparaissent rapidement et avec le même rythme pour les lignes avec fumier jusqu'au 24ème jour contrairement aux lignes sans fumier (Figures 13 & 14). A partir de ce jour, le nombre de feuilles apparaissait en nombre élevé pour la ligne 1 que la ligne 2. Pour les lignes 3 et 4, à partir du 24ème jour jusqu'à 56ème jour, le nombre de feuilles était en nombre élevé pour la ligne 4 que pour la ligne 3 mais à partir du 56ème jour jusqu'à la stabilité de l'apparition du nombre de feuilles, la ligne 3 connaît par contre un nombre élevé des feuilles que celui de la ligne 4. La stabilité a commencé au 80ème jour de l'apparition des feuilles.





Figures 13 & 14: Courbe de l'apparition du nombre des feuilles

3.6. Rendement

Les plantes des lignes (3 et 4) n'ayant pas bénéficié de fumier ont donné un nombre moins élevé de capitules par rapport à la ligne 1 et 2.

Pour le nombre de graines, les pieds des lignes (ligne 1 et ligne 2) ayant reçu du fumier donnent des capitules qui ont un grand nombre des graines (ligne 1: 2036 et ligne 2: 1799 en moyenne) comparativement aux autres lignes (ligne 3 et ligne 4) sans fumier (ligne 3 : 471 et ligne 4: 723 en moyenne).

Egalement, plus le diamètre du capitule est grand, plus élevé est le nombre des graines. Donc, le fumier aurait exercé une influence sur le nombre des graines par capitule.

Enfin, les graines récoltées sur les capitules des lignes sans fumier ont un poids faible par rapport à celles provenant des pieds des lignes avec fumier. Mille graines des lignes avec fumier pèsent 40 g contre 30 g pour les lignes sans fumier.

3.7. Test de l'effet du fumier et de l'association sur la croissance et le rendement

Les tableaux 1 et 2 présentent la synthèse des résultats des tests utilisés pour vérifier statistiquement l'influence du fumier et de l'association respectivement sur les différents paramètres observés et mesurés au cours de la période végétative du tournesol. Le fumier a une influence sur tous les paramètres explorés contrairement à l'association du haricot au tournesol.

Tableau 1. Vérification de l'influence du fumier sur chaque paramètre observé (+ : Le fumier a exercé une influence, F: Fischer, degré de signification 0,05).

Paramètre observé	F calculé	F observé (α)	Décision	Conclusion
Hauteur du tournesol	13,6531	3,10	α < 13,6531	+
Diamètre au collet	12,0974	4,07	α < 4,07	+
Diamètre en longueur des feuilles	8,9596	3,49	α < 8,9596	+
Diamètre en largeur des feuilles	6,8718	3,49	α < 6,8718	+
Diamètre de capitule	10, 2226	4,07	α < 10,2226	+
Nombre de feuilles	6, 9213	3,10	α < 6,9213	+
Nombre de capitules	3,7254	3,10	α < 3,725	+
Nombre de graines/capitule	25,8098	4,07	α < 25,8098	+

Taleau 2. Vérification de l'influence de l'association sur chaque paramètre observé (- : pas d'influence; calc.: calculé; obs.: observé).

Ligne	Paramètre obervé.	t calculé	t observé	Décision	Conclusion
L1et L2	Hauteur du tournesol	0,3776	2,086	t cal. < t obs.	-
	Diamètre au collet	1,1713	2,086	t calc. < t obs.	-
	Diamètre en longueur des feuilles	1,4297	2,086	t calc. < t obs.	-
	Diamètre en largeur des feuilles	1,6564	2,086	t calc. < t obs.	-
	Diamètre de capitule	0,9051	2,086	t calc. < t obs.	-
	Nombre de feuilles	1,0597	2,086	t calc. < t obs.	-
	Nombre de capitules	0,1976	2,086	t calc. < t obs.	-
	Nombre de graines/capitule	1,5513	2,086	t calc. < t obs.	-
L3et L4	Hauteur du tournesol	1,6511	2,086	t calc. < t obs.	-
	Diamètre au collet	0,0975	2,086	t calc. < t obs.	-
	Diamètre en longueur des feuilles	1,8739	2,086	t calc. < t obs.	-
	Diamètre en largeur des feuilles	0,3239	2,086	t calc. < t obs.	-
	Diamètre de capitule	1,6972	2,086	t calc. < t obs.	-
	Nombre de feuilles	1,1606	2,086	t calc. < t obs.	-
	Nombre de capitules	0,3982	2,086	t calc. < t obs.	-
	Nombre de graines/capitule	1,6518	2,086	t calc. < t obs.	-

4. DISCUSSION

4.1. Cycle végétatif

4.1.1. Levée

Les résultats de cette étude montrent qu'après 11, 14 jours pour les lignes avec fumier et 10 jours pour les lignes avec fumier, toutes les graines du tournesol avaient déjà germées. Ces résultats sont proches de ceux observés par d'autres auteurs. En effet, la levée des graines de tournesol se situe entre 5 et 10 jours (Prota, 2007) et entre 7 et 15 jours (Académie d'Agriculture de France, 1949). Cette légère différence pourrait dépendre du faible pouvoir germinatif des graines mais aussi des conditions édaphiques du milieu de culture qui diffèrent d'une zone écologique à l'autre. En effet, le temps nécessaire à la levée de la culture est uniquement fonction de la température (Angus et *al*., 1981 *in* Casadebaig, 2008) et de la profondeur du semis, à partir du moment où la teneur en eau du lit de semence est adéquat.

4.1.2. Durée du cycle du tournesol

La période végétative du tournesol au cours de l'expérimentation a été de 113 jours en moyenne, soit 3 mois 23 jours (avec 112 jours pour les lignes avec fumier et 114 jours pour les lignes sans fumier). Ces résultats corroborent ceux de Med (2006) qui avait indiqué dans son étude que la maturité du tournesol est de 100 à 120 jours. De plus, cette durée du cycle végétatif du tournesol est habituellement d'environ 4 mois, mais varie dans une fourchette de 75 à 180 jours (Prota, 2007); de 80 à plus de 170 jours (Abou, 2006); de 120 à 150 jours (Memento de l'Agronome, 2012), de 100 à 120 jours (MINAGRIE, 2008) et de 80 à 180 jours (Gallais & Bannerot, 1992).

La légère différence peut s'expliquer par les conditions climatiques, édaphiques, culturales et génotypiques. En effet, la température est implicite au travers de ses effets sur la durée du cycle et explicite sur le niveau de l'activité métabolique, les autres contraintes comme le déficit hydrique édaphique ou les carences minérales affectent principalement le développement et la croissance des organes ainsi que le niveau d'activité photosynthétique (Casadebaig, 2008).

4.1.3. Durée de floraison-maturité

La durée de floraison-maturité est de 46 jours en moyenne (49 jours pour les lignes avec fumier et 43 pour les lignes sans fumier). Ce nombre moyen est proche de ceux d'autres études antérieures. En effet, la floraison-maturité du tournesol exige 30 à 45 jours (Prota, 2007); 50,9 jours en moyenne (Chervet & Vear, 1990), entre 30 et 40 jours (Gallais & Bannerot, 1992) et de 70 et 150 jours (CETIOM, 2012). Le nombre moyen que nous avons trouvé se situe dans l'intervalle proposé par Prota (2008). Il est moins élevé par rapport la durée proposée par CETIOM (2012).

Cette période de floraison-maturité dépend des variétés utilisées, des conditions écologiques de culture (température surtout), des génotypes et des conditions culturales. En plus, la préparation du sol est un élément fondamental. L'alimentation azotée doit être précoce pour permettre un bon remplissage (formation des ébauches florales), et en période de post floraison, un déficit hydrique entraine une diminution de la durée du couvert foliaire et la durée de son activité s'en trouve affectée (Desanlis, 2013).

4.1.4. Levée-floraison

Les premières fleurs ont été observées après 68 jours en moyenne (avec 64 jours pour les lignes avec fumier et 72 jours pour les lignes sans fumier). La levée-floraison du tournesol se situe entre 10 et 80 jours (CETIOM, 2012) et en moyenne de 70,8 cm (Chervet & Vear, 1990). Cette durée de levée-floraison est sous l'influence de divers facteurs à savoir les conditions climatiques, culturales, régionales et génotypiques. En effet, la température agit de façon indirecte en régulant le niveau de l'activité métabolique. Les autres contraintes comme le déficit hydrique édaphique ou les carences minérales affectent principalement le développement et la croissance des organes ainsi que le niveau d'activité photosynthétique (Casadebaig, 2008).

4.1.5. Hauteur

La hauteur moyenne des pieds de tournesol cultivés a varié de 300,55 cm pour les lignes avec fumier et de 224,44 cm pour les lignes sans fumier. Dans les deux cas, nos résultats sont comparables à ceux des autres auteurs. En effet, cette hauteur varie de 50 à

500 cm (Med, 2006), entre 50 cm et 400 cm (Ngomirakiza, 2006), entre 100 cm et 400 cm (Baert, 1985 *in* Nimubona, 1994), entre 50 cm et 300 cm (Abou, 2006), de 200 à 400 cm (Prota, 2007), entre 300 cm à 400 cm (Nyabyenda, 2007) et entre 70 cm à 350 cm (Memento de l'Agronome, 2002). La hauteur du tournesol peut dépasser 2 m (Pesson & Louveau, 1984; Boullards, 2001; Melinda, 2007).

Ainsi, la variabilité constatée peut s'expliquer par le fait que la performance d'une variété de tournesol s'exprime de façon différente en fonction des conditions environnementales (sol, climat, année) et de la conduite de la culture (date de semis, conduite azotée, irrigation) (Allinne, 2009). De plus, les plantes bien alimentées en azote sont plus vigoureuses et présentent une hauteur supérieure aux plantes carencées en azote (Ozer et *al*., 2004 *in* Desanlis, 2013).

Enfin, l'augmentation de la densité du peuplement provoque l'élongation de la tige, probablement du fait d'une compétition pour la lumière (Desanlis, 2013) de même que le déficit hydrique édaphique ou les carences minérales affectent principalement le développement et la croissance des organes (Casadebaig, 2008).

4.1.6. Diamètre des feuilles

Le diamètre moyen de la feuille est de 50 cm en longueur et de 30 cm en largeur pour les lignes avec fumier; et 39,21 cm en longueur et 19,81 cm en largeur pour les lignes sans fumier. Ces résultats sont supérieurs à ceux des autres auteurs. En effet, le diamètre des feuilles est de 10 à 30 cm de longueur et de 5 à 20 cm de largeur (Ngomirakiza, 2006; Memento de l'Agronome, 2002).

Cette différence peut dépendre de la densité de peuplement et des facteurs environnementaux et abiotiques. Quatre facteurs ont été identifiés comme limitants dans les environnements de cultures usuelles: la température, le rayonnement, l'eau et l'azote du sol (Connor & Sandras 1992; Connor & Hall, 1997 *in* Casadebaig, 2008). Desanlis (2013) indique également que la taille des feuilles varie considérablement en fonction de l'alimentation azotée, le nombre de feuilles n'étant cependant pas affecté.

De plus, tout excès de la croissance foliaire en préfloraison (indice foliaire > à 2, 5) entraine une surconsommation en eau préjudiciable au maintien de la surface foliaire pendant la floraison (Champolivier *et al.*, 2011 *in* Desanlis, 2013).

Enfin, une variation de la densité du couvert influe sur la quantité de lumière interceptée par la plante et la compétition pour cette ressource réduit la vitesse de croissance des limbes entrainant une surface finale plus faible (Rawson & Handmarsh, 1983; Rey, 2003 *in* Casadebaig, 2008).

4.1.7. Diamètre du capitule

Le diamètre moyen du capitule trouvé a été de 19,66 cm pour les lignes avec fumier et 11,75 cm pour les lignes sans fumier. Le diamètre moyen du capitule dépend de la variété de tournesol considérée. En effet, il est de 14 à 17 cm pour les variétés riches en huile, de 30 à 50 cm pour les variétés pauvres mais riches en matières amylacées et de 17 à 25 cm pour le groupe intermédiaire (Baert, 1985 *in* Nimubona, 1994).

Le diamètre du capitule est très variable, il est de 5 à 50 cm (Abou, 2006; Gallais & Bannerot, 1992), de 10 à 40 cm (Ngomirakiza, 2006), de 15 à 40cm (Nyabyenda, 2007), de 10 à 40 cm (Memento de l'Agronome, 2002), de 15 à 30 cm (Demol, 2002) et de 32 cm (Rossier & Parmentier, 1809).

Cette variabilité est plus liée aux conditions hydriques, climatiques et culturales au cours du la période florale. En effet, le peuplement serré, qui entraine une compétition intra spécifique, provoque la réduction du nombre d'akènes par plante. L'alimentation azotée quant à elle agit sur le degré de remplissage des grains en assurant une bonne activité photosynthétique (Blanchet *et al.*, 1987 *in* Desanlis, 2013).

Pour l'alimentation hydrique, tout excès de la croissance foliaire en préfloraison (indice foliaire > à 2,5) entraine une surconsommation en eau préjudiciable au maintien de la surface foliaire pendant le remplissage des ébauches (Champolivier et *al*., 2011 *in* Desanlis). Tous ces facteurs interfèrent sur la croissance en diamètre du capitule.

4.1.8. Diamètre au collet

Les résultats de cette étude donnent une valeur moyenne de 4,2 cm du diamètre au collet pour les

lignes avec fumier et de 2,14 cm de diamètre pour les lignes sans fumier. Les résultats des autres auteurs sont similaires aux nôtres et indiquent un diamètre moyen au collet de 2 à 8 cm (Vandenput, 1981 *in* Muhitira, 1996), 2,34 cm (Chervet & Vear, 1990), 3 à 6 cm (Prota, 2007), 1 à 4 cm (Gallais & Bannerot, 1992) et 2 à 7 cm (Evon, 2008).

Plusieurs facteurs influent sur ce paramètre. Le diamètre au collet quelque fois dépend de l'alimentation azotée car celle-ci permet aux plantes bien alimentées d'être plus vigoureuses et présentent ainsi un diamètre des tiges supérieur aux plantes carencées en azote (Ozer *et al.*, 2004 *in* Desanlis, 2013). L'irrigation a aussi une influence sur le diamètre car un déficit hydrique édaphique en affecte le développement et la croissance des organes (Casadebaig, 2008).

4.1.9. Nombre de feuilles

Les pieds de plantes suivis au cours de la période végétative ont donné en moyenne 46 feuilles par plante pour les lignes avec fumier et 36 feuilles pour les lignes sans fumier ce qui explique l'importance du fumier dans la croissance du tournesol. Chervet & Vear (1990) et Evon (2008) ont respectivement trouvé dans leurs études 27 et 20 à 30 de feuilles en moyenne par tige.

Le nombre de feuilles peut dépendre de l'alimentation en azote qui influence le couvert végétal, et de l'alimentation en eau qui influence le maintien et l'établissement des ébauches foliaires (Desanlis, 2013). Ce nombre peut aussi dépendre du rayonnement et de la densité du peuplement.

4.2. Rendement

4.2.1. Nombre de graines par capitule

Le nombre moyen de graines que le capitule peut contenir est de 1917 pour les lignes avec fumier et 597 pour celles sans fumier. Chervet & Vear, 1990 ont trouvé 850 grains et 1155 grains par capitule respectivement dans le premier et dans le second essai. Les facteurs qui peuvent interagir et jouer le rôle de facteurs limitants sont entre autres l'alimentation en eau des plantes et les conditions culturales. En effet, Allinne (2009) précise qu'en dépit de son bon comportement face à la sècheresse (enracinement profond, ajustement de la surface foliaire,…), il subsiste une fluctuation interannuelle du rendement et de la teneur en huile notamment lors des contraintes hydriques marquées au moment de la phase de floraison qui détermine le nombre de graines par capitule.

De plus, l'élaboration du rendement s'effectue tout le long du cycle, et dépend du nombre des ébauches florales, du nombre d'akènes fécondés lors de la floraison et enfin du remplissage des akènes (remobilisation) (Merrien, 1992 *in* Allinne, 2009).

4.2.2. Poids pour 1000 graines

Le poids de 1000 graines trouvé est de 40 g et 30 g respectivement pour les lignes avec fumier pour des lignes sans fumier. Pour d'autres auteurs, le poids pour 1000 graines varie de 40 à 200 g (Abou, 2006), de 40 à 60 g (Prota, 2007), de 30 et 100 g (Gallais & Bannerot, 1992), de 40 et 200 g (Romain, 2001). Ces rendements dépendent du rayonnement solaire, des conditions culturales (fumure) mais aussi des maladies.

En effet, en période de post floraison, un déficit hydrique entraine une diminution de la durée du couvert foliaire et de son activité et en conséquence le poids de 1000 graines et la teneur en huile s'en trouvent affectés (Desanlis, 2013). L'eau et la fertilisation azotée sont les facteurs déterminants pour la culture car l'obtention des graines de qualité dépend de leur approvisionnement (Abou, 2006). Enfin, les nutriments (NPK) adéquats sont essentiels pour le rendement élevé des semences (Weiss, 1983).

De même, la compétition intra spécifique entraine la réduction de la surface foliaire et du nombre d'akènes par plante ainsi que de leur masse moyenne (Desanlis, 2013).

5. CONCLUSION

Le suivi du cycle végétatif des pieds du tournesol en association avec le haricot d'une part, et avec ou non l'application de la fumure organique d'autre part, a été réalisé à l'aide des mesures régulières des paramètres de la croissance comme la hauteur, le diamètre au collet, le nombre de feuilles, le nombre de capitules, le diamètre du capitule et le diamètre en longueur et en largeur de la feuille. Le rendement a été estimé en l'exprimant par le poids de 1000 graines et le nombre de graines par capitule. Le test

F de l'analyse de la variance à une voie, a confirmé que le fumier organique a un effet significatif sur tous les paramètres de croissance et de rendement considérés. Quant à l'association tournesol-haricot, la méthode de Bonferroni a montré que l'association pratiquée n'avait pas eu d'influence sur les paramètres pris en compte.

6. BIBLIOGRAPHIE

Abou A. F. T., 2006.- Déterminisme de la tolérance du tournesol à *Phoma macdonaldii* au collet et sur racines: approches génétiques et histologiques. INPT, Spécialité: Biosciences Végétales, 196 p.

Académie d'Agriculture de France, 1949.- Compte rendus hebdomadaires des séances de l'académie d'Agriculture de France. *L'académie*, 306 p.

Allinne C., 2009.- Modélisation éco physiologique et analyse génétique pour la recherche des génotypes du tournesol adaptés aux basses températures causés par le semis précoces. INPT, thèse, 166 p.

Andriaens E.L., 1951.- Les oléagineux du Congo-belge. Bruxelles, 321 p.

Boullards B., 2001.- Pantes médicinales du monde croyances et réalités. De Boeck Secundair, 636 p.

Casadebaig P., 2008.- Analyse et modélisation des interactions génotypes-environnement de culture: application au tournesol (*Helianthus annuus*). INPT, thèse, 196 p.

CETIOM, 2012.- Guide de culture (tournesol), 24 p.

CETIOM, 2015.- Guide de culture du tournesol, 32 p.

Chervet B. & Vear F., 1990.- étude des relations entre la précocité du tournesol et son rendement, sa teneur en huile, son développement et sa morphologie agronomique, EDP Sciences, 56 p.

Demol J., 2002.- Amélioration des plantes: Application aux principales espèces cultivées en régions tropicales. Presse Agronomique de Gembloux, 581 p.

Desanlis M., 2013.- Analyse et modélisation des effets de la conduite de culture sur deux maladies cryptogamiques majeures du tournesol : *Phoma macdonaldii* et *Phomopsis helianthi*. INPT, thèse, 222 p.

Doorenbos J., 1980.- Réponses des rendements à l'eau. Food et Agriculture Organization, 225 p.

Evon P.M., 2008.-Nouveaux procédés de bio raffinage du tournesol plante entière par fractionnement thermo-mécano-chimique en extrudeur bi-vis: Etude de l'extraction aqueuse des lipides et de la mise en forme du raffinat en agro matériaux par thermo moulage. INPT, thèse, 388 p.

FAO, 1990.- Utilisation des aliments tropicaux: graines oléagineuse tropicale. Edition Quae, 93 p.

Gallais A. & Bannerot H., 1992.- Amélioration des espèces cultivées, objectifs et critères de sélection. Edition Quae, 768 p.

INRA, 2011.- Carrefour de l'innovation agronomique, 164 p.

Med A. A. M., 2006.- Marché mondial des Oléagineux. INA, 367 p.

Mélinda W., 2007.- Fleurs comestibles: Du jardin à la table. Les éditions Fides, 278 p.

Memento de l'Agronome 1991.- Ministères des Affaires Etrangères. CIRAD-GRET, 878 p.

Memento de l'Agronome, 1998.- Ministères des Affaires Etrangères. 4ème édition ,1523 p.

Memento de l'Agronome, 2002.- Ministères des Affaires Etrangères. Edition Quae, 1646 p

Memento de l'Agronome, 2012.- Ministères des Affaires Etrangères. CIRAD-GRET, 1642 p.

Mestries E., Deasanlis M., Seassau C., Moinard J., Debaeke P. &Dechamp G., 2011.- Impact de la conduite de la culture sur les maladies du tournesol. *Innovations agronomiques*14, 164 p.

MINAGRIE (Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage), 2008.- Stratégie Agricole Nationale. Bujumbura, 110 p.

Muhitira V., 1996.- Essais comparatives des

cultivars d'*Helianthus annuus* dans la région de Bututsi. U.B. Mémoire, 55 p.

Ngomirakiza J.B., 2006.- Perspectives du développement de la culture du tournesol en Commune de Kirundo. U.B. Mémoire, 63 p.

Nimubona L., 1994.- Perspectives d'*Helianthus annuus* (tournesol) comme plante oléagineuse dans la région Naturelle de Bututsi. U.B. Mémoire, 106 p.

Nyabyenda P. 2007.- Les plantes cultivées en régions tropicales d'altitude d'Afrique: culture industrielle et d'exportation, cultures fruitières, cultures maraîchères, Presse Agronomique de Gembloux, 238 p.

Pesson P. & Louveaux J., 1984.- Pollinisation et Productions végétales. Edition Quae, 663 p.

Bull. sci. environ. biodivers. 3: 16-31

ISSN 2519-0113 (Imprimé)

Bulletin scientifique sur l'environnement et la biodiversité

ISSN 2519-0121 (En ligne)

ARTICLE DE RECHERCHE

Caractérisation et organisation spatio-temporelle des feux actifs au Burundi de 2001 à 2016 sur base des données MODIS

Niyongabo Elias[1] **& Mbarushimana Didier**[2]

[1] Office Burundais pour la protection de l'environnement, OBPE, B.P. 2757 Bujumbura, Quartier Jabe, Avenue de l'Imprimerie, N° 12, Email: eliasnniyongabo@gmail.com

[2] Office Burundais pour la protection de l'environnement, OBPE, B.P. 2757 Bujumbura, Quartier Jabe, Avenue de l'Imprimerie, N° 12, Email: mbardi05@gmail.com

Auteur correspondant: Niyongabo Elias, **E-mail**: eliasnniyongabo@gmail.com

Reçu: *le 26 Octobre 2018* Accepté: *le 26 Décembrel 2018* Publié: *le 15 Janvier 2019*

RESUME:

Mots clés: télédétection, aires protégées, biodiversité, puissance radiative du feu

La présente étude est menée au Burundi, en Afrique centrale. Elle se base sur les données feux actifs des satellites MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer), pour une période allant de 2001 à 2016. Partant de ces données, 13.944 pixels de feux (PdF) ont été enregistrés par les capteurs de MODIS (Aqua et Terra) sur la période étudiée. Ces PdF sont plus concentrés au Parc National de la Ruvubu (PNR), à l'Est du Burundi. Les feux surgissent essentiellement durant 4 mois de la saison sèche (de Juin à Septembre), de 6h à 12h dans plus de 77 % des cas. Pour 83,5% des PdF, la Puissance Radiative (PR) varie de faible à très faible, avec une moyenne de 26,29 MW, une valeur minimale de la PR de 2,60 MW et une valeur maximale de 917,50 MW. Par ailleurs, la moyenne de la PR des PdF au PNR (298,09 MW) est 11 fois plus élevée que la moyenne nationale. Il est donc est urgent d'évaluer les effets de ces feux sur la biodiversité du PNR d'une part et d'éradiquer ces feux violents, qui sont des feux tardifs, au moyen des feux précoces de gestion, sur tout le PNR. Au Parc National de la Kibira (PNK), la moyenne de la PR des PdF (40 MW) est supérieure à celle caractéristique des forêts denses humides (15 MW), ce qui traduit une dégradation de certaines zones de ce site. Au Burundi, la naissance, la propagation et l'intensité des feux sont sous la dépendance des activités anthropiques, du type d'habitat et du climat local.

ABSTRACT

***KEYWORDS*:** remote sensing, protected areas, biodiversity, fire radiative power

This study is conducted in Burundi, in Central Africa. It is based on MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer) sensors' active fire data for a period from 2001 to 2016. Based on these data, 13,944 fire pixels (FPs) were recorded by the MODIS sensors (Aqua and Terra) over the period studied. These PdFs are more concentrated in the Ruvubu National Park (RNP) in eastern Burundi. The fires arise mainly during 4 months of the dry season (from June to September), from 6 AM to 12 AM in more than 77% of cases. For 83.5% of the FP, the Radiative Power of Fire (RPF) varies from low to very low, with an average of 26.29 MW, a minimum value of 2.60 MW and a maximum value of 917.50 MW. On the other hand, the average of the RPF of FPs to RNP (298.09 MW) is 11 times higher than the national average. It is therefore urgent to assess the effects of these fires on the RNP's biodiversity on the one hand and to eradicate these late-burning fires, high-fire fires by means of early management fires throughout the NRP on the other hand. At Kibira National Park (KNP), the FRP average of FPs (40 MW) is higher than that the typical one of rainforests (15 MW), which indicates a deterioration of some areas of this protected area. In Burundi, the birth, spread and intensity of fires are dependent on human activities, habitat type and local climate.

1. INTRODUCTION

Les feux de végétation ont fortement contribué à façonner certains écosystèmes naturels et leur biodiversité (Poilecot & Loua, 2009 ; Bowman, *et al.,* 2009 ; Devineau *et al,* 2010 ; Tchakossa, 2012). Ils continuent d'être utilisés comme outils de gestion des formations végétales naturelles et des aires protégées (APs) (Poilecot & Loua, 2009 ; Tchakossa, 2012). Malheureusement, les feux de végétation constituent actuellement un enjeu environnemental majeur pour leur pollution de l'atmosphère ainsi que celle des bassins hydrographiques et pour leur destruction des sols (Bowman, *et al.,* 2009). Ils sont responsables, dans une certaine mesure, de la destruction des écosystèmes forestiers et de leur biodiversité, tant animale que végétale (Poilecot & Loua, 2009).

Au Burundi, les feux de brousses sont cités comme un des menaces de la diversité biologique et des écosystèmes, notamment dans les APs (Nzigidahera, 2007 ; Sibomana *et a.l,* 2008, Nzigidahera & Habonimana, 2016), et devraient être éradiqués au Burundi en 2017, si on se fie à la Stratégie Nationale et Plan d'Action sur la Biodiversité (Ministère de l'Eau, de l'Environnement, de l'Aménagement du Territoire et de l'Urbanisme, 2013). Le constat est que ces feux sont encore loin d'être éradiqués dans la nature burundaise et que les données précises quant à leur localisation, à leur fréquence et leur pouvoir destructeur dans différents coins du pays font défauts. Par ailleurs, s'il a été prouvé que le pouvoir destructeur d'un feu dépend de sa sévérité (Giglio *et al,* 2006 ; Triplet, 2017), aucune étude n'a été menée au Burundi pour évaluer la sévérité desdits feux.

Partant de l'essor de la télédétection en gestion de l'environnement, la présente étude se propose de caractériser et de localiser les feux actifs au Burundi, sur base des données des satellites MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer) Aqua et Terra, pour une période allant de 2001 à 2016. En effet, la télédétection peut être utilisée à trois niveaux dans la gestion des feux: avant, pendant et après. Avant le feu, elle est importante pour la prévention et le contrôle de feux. Pendant le feu, elle est utilisée pour la détection et la surveillance du mouvement des feux dans un paysage donné. Après le feu, elle sert à la cartographie de l'empreinte des feux et à l'évaluation les zones brûlées (Broucke, 2009) ; d'où la pertinence de notre choix, qui, nous l'espérons, va ouvrir la voie à d'exploitation des données de la télédétection dans la gestion de l'environnement au Burundi. Ces données, parfois gratuites, sont réputées pour leur impartialité.

2. METHODOLOGIE

2.1. Zone d'étude (Burundi)

Le Burundi est situé en Afrique centrale (Fig. 1), entre 2°20' et 4°27' de latitude Sud et entre 28°50' et 30°53' de longitude Est. Sa superficie est de 27.834 km² (Bidou *et al,* 1991).

2.1.1. Zones écoclimatiques du Burundi

Suivant la variation de son relief qui influence d'autres caractéristiques physiques et biotiques (Tableau 1 ; figure 1), le Burundi se répartit en 5 régions écoclimatiques à savoir : (i) les terres basses de l'Imbo correspondant à un fossé d'effondrement du Rift Valley occidental ; (ii) la région escarpée de Mumirwa ; (iii) la zone montagneuse qui correspond à la Crête Congo-Nil ; (iv) les plateaux centraux ; (v) les dépressions de Kumoso et de Bugesera. L'altitude varie de 774 m au bord du lac Tanganyika à 2670 m sur les massifs montagneux de la Crête-Congo-Nil (Bidou *et al,* 1991 ; Nzigidahera, 2012).

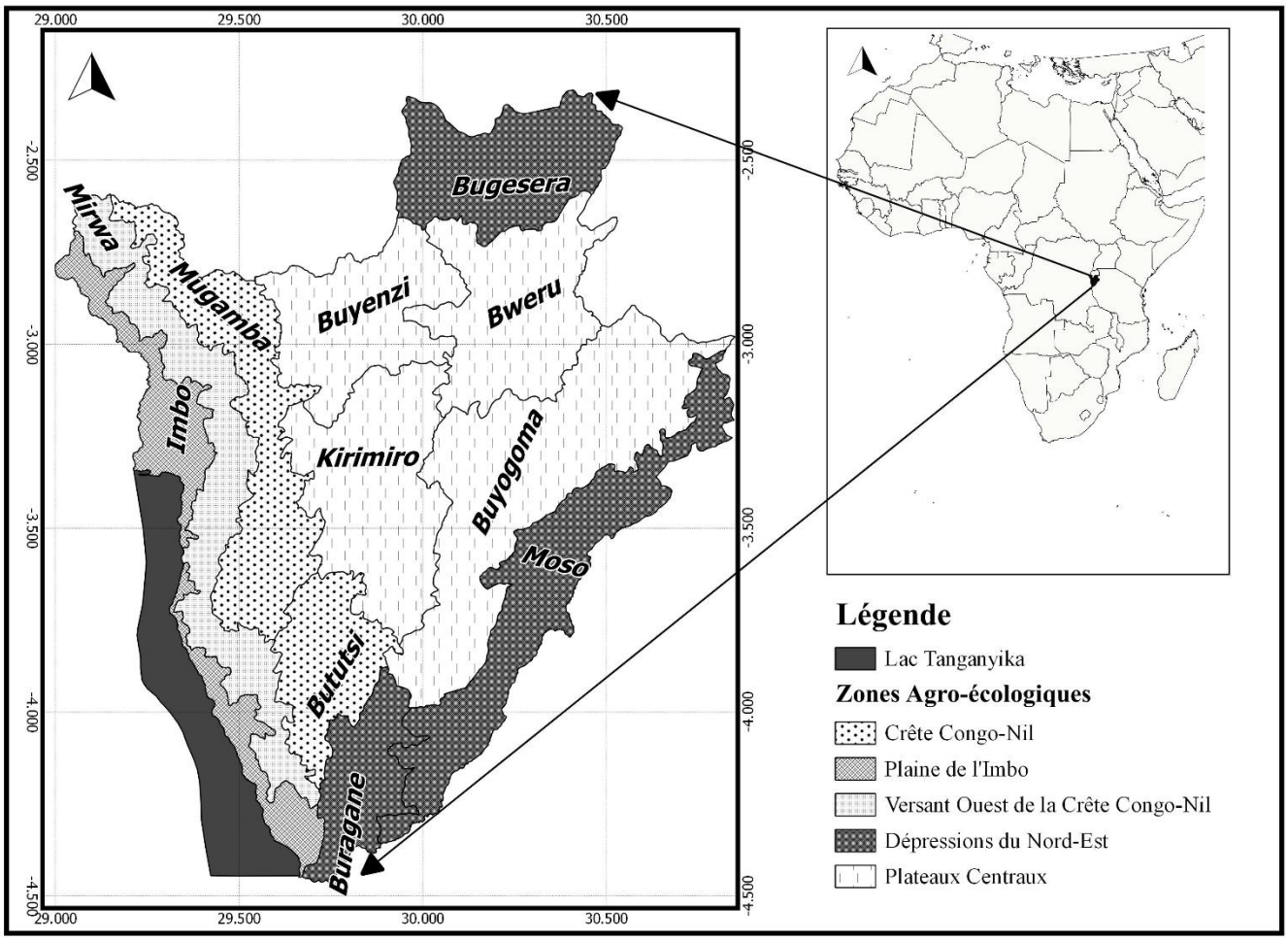


Fig. 1 : Localisation la zone d'étude (Burundi) en Afrique centrale

Tableau 1 : Caractéristiques des 5 régions écoclimatiques du Burundi

Régions écoclimatiques et leurs superficies (en %)[a]	Altitude (m)[a]	Sols[b]	Pentes[b]	Végétations naturelles[a]
Plaine occidentale de l'Imbo (7%)	774-1100	Vertisols, Solonetz, Kaolisols et alluvionnaires	> 5 %	Savanes, parfois forêts claires
Escarpement occidental de Mumirwa (10%)	1100-2000	Ferrisols et feralsols	10 - plus de 80%	Forêts denses
Crête Congo-Nil (15%)	1700-2500	Kaolisols humifères	10 - plus de 80%	Forêts denses de montagnes
Plateaux centraux (52%)	1400-1900	Ferralsols, lithosols	10 - 25 %	Forêts denses
Dépression du Kumoso (16%)	1100-1400	Ferrisols, feralsols, lithosols et alluvionnaires	0 - 25 %	Savanes et forêts claires

[a] Nzigidahera, 2012 ; [b]Rishirumuhirwa, 1998

2.2. Source de données

La présente recherche se base sur les données feux actifs (hotspot) fournies par MODIS, dans le cadre du Système d'Observation de la Terre (Earth Observing System [EOS]) de la NASA (National Aeronautics and Space Administration) (Giglio *et al*, 2003). Actuellement, MODIS est l'une des sources de données les plus importantes pour la cartographie globale des sites d'incendie et des zones brûlées. MODIS utilisent les satellites Terra et Aqua pour capter ses données. Terra fournit des données depuis Février 2000 à nos jours et Aqua fournit des données depuis Juin 2002 à nos jours. Les données MODIS sont disponibles gratuitement (Giglio *et al*, 2003 ; Broucke, 2009 ; Müller et Suess, 2011). Terra traverse l'équateur à environ 10h30 et 22h30

chaque jour tandis que Aqua passe au-dessus de l'équateur à environ 13h30 et 01h30 de chaque jour (Giglio *et al*, 2006).
Les observations de feux actifs ou hotspots faites par les satellites MODIS permettent de générer une gamme de produits dont les coordonnées géographiques (d'un feu) qui sont fournies en UTC (Coordinated Universal Time), avec une résolution d'1 km, la PR d'un feu exprimée en mégawatts (MW), la date et l'heure d'enregistrement du feu, etc. Pour chaque point de feu enregistré, un niveau de confiance, variant de 0 à 100 est fournie (Giglio *et al.*, 2006 ; Davies *et al.*, 2009 ; Brouke, 2009 ; Giglio, 2015). Les données utilisées ont été produites par l'Université du Maryland, fournies par la FIRMS (Fire Information for Resource Management System) de la NASA et sont gratuitement disponibles en ligne sur https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/. Dans la présente étude, les coordonnées géographiques, la PR, les dates et les heures d'enregistrement de chaque pixel de feu ont été prises en considération.

2.3. Algorithme de détection des feux

La détection des points de feux par les satellites MODIS est entièrement automatisée (Giglio *et al*, 2003 ; Caillault *et al.*, 2010) et permet la production d'informations sur les feux quotidiens sur la terre entière. L'algorithme de détection identifie les pixels avec un ou plusieurs feux brûlant activement qui sont communément appelés "pixels de feu". Chaque feu détecté représente le centre d'un pixel d'un (1) kilomètre de côté qui contient un ou plusieurs feux actifs (Fig. 2). Les coordonnées d'un feu actif ne représentent pas l'emplacement exact du feu, mais le centre du pixel qui contient le point en feu (Giglio *et al*, 2003 ; Müller et Suess, 2011).
La probablilité de détection d'un feu dépend fortement de sa température, de la surface sur laquelle s'étend le feu et de l'angle de vision du satellite par rapport au nadir. Par ailleurs, les conditions météorologiques locales influencent aussi cette probabilité (Giglio *et al*, 2003). La figure 3 montre, sous forme de matrice de détection, comment varie la probabilité de détection d'un feu en fonction de la température, de la surface couverte par le feu, dans 4 types de biomes.

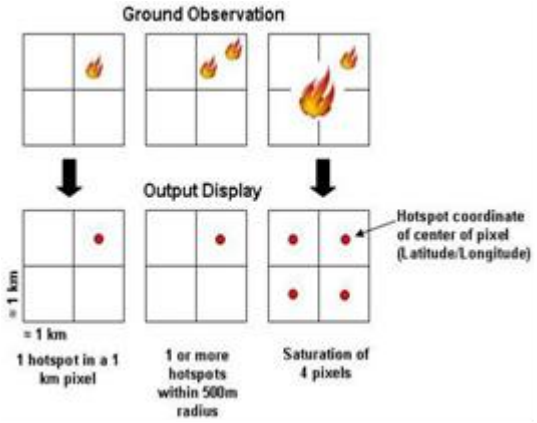


Fig. 2 : Pixels de feu actif: Réalité de terrain et information enregistrée par les satellites MODIS (Müller et Suess, 2011).

2.4. Traitement des données

Pour pouvoir établir une base de PdF avérés, les PdF avec une fiabilité inférieure à 30 %, jugée comme peu fiables, ont été supprimés (Caillault *et al*., 2010, Giglio, 2015). En effet, les PdF actifs sont classés sur une échelle de fiabilité de 1 à 100. Les niveaux de confiance sont basés sur les ajustements quantitatifs de l'algorithme dans le processus de détection. Ainsi, il peut être utile d'exclure les fausses occurrences positives des feux (Giglio *et al.*, 2003 ; Giglio, 2015).
Les coordonnées des PdF actifs ont été projetées dans la carte du Burundi ce qui a permis de localiser les feux et de comparer les différentes régions et certaines aires protégées du Burundi quant à l'occurrence des feux. Pour y arriver, les logiciels QGIS 2.18.13 et logiciel Microsoft Excel 2013 ont été utilisés.
En considérant les dates et les heures d'enregistrement des feux actifs, les feux observés au Burundi ont été groupés par années (2001-2016), par mois de l'année, par jours de la semaine et par heures d'apparition ; ce qui a permis d'établir la saisonnalité et les heures d'occurrence desdits feux partant des 13.944 PdF enregistrés durant la période d'étude (2001-2016). Pour y arriver, le logiciel Microsoft Excel 2013 a été utilisé.

Dans le souci d'apprécier le pouvoir destructeur des feux observés au Burundi, et s'inspirant de Giglio *et al*, 2006 ; les feux actifs du Burundi ont été répartis en 5 catégories, en fonction la PR: les plus faibles (< 15 MW), les faibles (15 MW- 40 MW), les modérés (40 MW – 80 MW), les forts (80 MW – 600 MW) et les plus forts (plus de 600 MW). Le logiciel Microsoft Excel 2013 a été utilisé.

Pour analyser de la saisonnalité de feux dans une année, la méthode UPGMA (Unweigted Pair Group Methode with Arithmetic Mean), regroupant de façon hiérarchique les différents mois de l'année selon la PR et la fréquence de feux a été utilisée. Le logiciel MVSP 3.2 (MultiVariate Statistical Package)

(Kovach, 1997), grâce à son option Cluster Analysis (Analyse par regroupement), a été utilisé. Ainsi, un dendrogramme a été généré. Pour réaliser ce regroupement hiérarchique, l'indice de similarité de Bray-Curtis (IB) a été choisi. L'expression de l'indice de Bray-Curtis est reprise ci-dessous :

$$\mathbf{IB} = \frac{\sum_{k=1}^{n} |Xik - Xjk|}{\sum_{k=1}^{n} (Xik + Xjk)}$$

où :

i et *j* représentent les mois ;

k représente la PR des feux ;

Xik représentent l'abondance de la PR *k* pour le mois *i*.

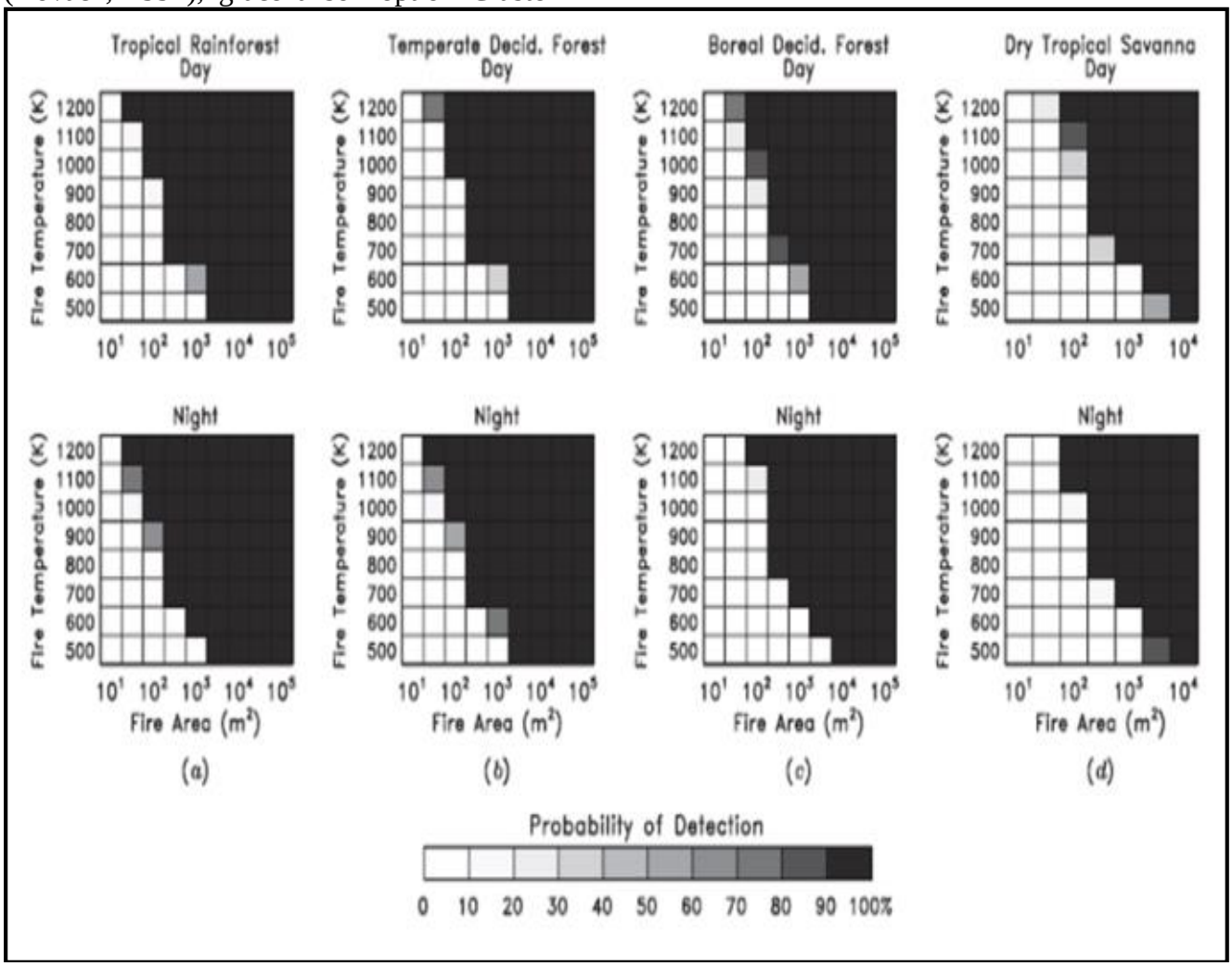


Fig. 3: Probabilité de détection d'un feu en fonction de sa température et de la superficie couverte par le feu ; le satellite étant à 0° par rapport au nadir ; durant la journée (ligne d'en haut) et pendant la nuit (la ligne d'en bas) : (a) Forêt tropicale humide, le soleil à 0° par rapport au zénith ; (b) Forêt tempérée décidue, en été, le soleil à 0° par rapport au zénith ; (c) Forêt décidue boréale, en été, le soleil à 0° par rapport au zénith ; (d) Savane tropicale en saison sèche le soleil à 40° par rapport au zénith (Source : Giglio *et al*, 2003).

3. PRESENTATION DES RESULTATS

3.1. Organisation temporelle et PR des feux enregistrés au Burundi

Après obtention des données et suppression des PdF dont la fiabilité est inférieure à 30 %, il a été constaté que, de 2001 à 2016, 13.944 PdF ont été enregistrés. Ces PdF sont inégalement répartis sur les 16 années étudiées. L'année la plus touchée est 2004 avec 1819 PdF actifs, et l'année la moins touchée par les feux est 2001 avec 292 PdF actifs. La fréquence est élevée en général avant 2005. Après 2005, la fréquence des feux prend deux reculs de 4 ans (de 2006 à 2009 et 2011 à 2014) et remonte en 2010 et en 2015. Au niveau annuel, 4 mois de saison sèche (Juin, Juillet, Août et Septembre) rassemblent 94,1% des PdF enregistrés. Le mois d'Août affiche le pic de la fréquence des feux avec 36,3% des PdF enregistrés. Les mois d'Avril (le plus pluvieux) et de Janvier correspondent à la quasi-absence de PdF avec 0,1% seulement des PdF observés (Tableau 2).

Tableau 2 : Saisonnalité des pixels feux actifs enregistrés au Burundi de 2001 à 2016 selon les mois de l'Année

Année	*J*	*F*	*M*	*A*	*M*	*J*	*J*	*A*	*S*	*O*	*N*	*D*	*Totaux/an*	*%*
2001	0	1	0	0	3	7	84	138	46	12	1	0	292	2,1
2002	0	5	0	0	10	151	567	580	212	66	0	1	1592	11,4
2003	6	3	2	0	2	106	743	487	88	39	3	2	1480	10,6
2004	6	0	5	0	48	360	644	586	141	26	3	0	1819	13,0
2005	1	9	0	8	3	109	419	369	213	50	6	5	1192	8,5
2006	2	3	0	0	1	50	104	85	123	43	0	0	411	2,9
2007	0	0	2	6	2	52	86	177	126	55	10	1	518	3,7
2008	0	5	0	1	20	93	122	192	250	20	2	1	706	5,1
2009	0	5	2	1	3	48	188	180	197	21	2	3	650	4,7
2010	0	3	0	0	5	99	237	685	157	67	0	6	1259	9,0
2011	0	0	1	0	1	48	105	103	39	3	0	3	303	2,2
2012	0	1	4	0	3	63	162	189	86	11	0	2	521	3,7
2013	0	1	1	2	6	110	219	278	149	27	0	0	793	5,7
2014	3	1	0	1	12	55	171	142	75	18	2	9	489	3,5
2015	0	2	9	1	2	60	168	536	181	16	4	0	979	7,0
2016	0	0	3	0	16	116	213	333	213	44	0	2	940	6,7
Totaux/mois	18	39	29	20	137	1527	4232	5060	2296	518	33	35	13944	100
%	0,1	0,3	0,2	0,1	1,0	11,0	30,3	36,3	16,5	3,7	0,2	0,3	100	

Au niveau hebdomadaire, la répartition des PdF entre les jours de la semaine semble aléatoire (Fig. 4). Au niveau journalier, la répartition des PdF est loin d'être aléatoire. En effet, 77,7% des PdF ont été observés durant l'avant midi. Cette fréquence des PdF chute à 7,2 % dans les après-midis, pour remonter à 15% dans la première moitié de la nuit. Les feux sont quasi-absents dans la deuxième moitié de la nuit (Tableau 3).

La PR des feux enregistrés a été analysée. Elle varie de 2,6 MW à 917,5 MW, donc des feux les plus faibles (< 15 MW) aux plus forts (> 600 MW). La distribution de la PR n'est pas uniforme sur cette longue gamme (Fig. 5). En effet, plus de 97% des feux enregistrés ont une PR inférieure à 100 MW et la fréquence diminue au fur et à mesure que la PR croît. La moyenne de la PR des 13.944 PdF est 26,7 MW, avec un écart-type de 32,8 MW.

Tableau 3 : Fréquence journalière des feux actifs observés au Burundi

	[6h-12h [	*[12h-18h [*	*[18h-00h [*	*[00h-6h [*	*Totaux/satellite*	*%*
Aqua	5757	998	317	24	**7096**	**50,9**
Terra	5075	0	1773	0	**6848**	**49,1**
Totaux/période	**10832**	**998**	**2090**	**24**	**13944**	**100**
%	**77,7**	**7,2**	**15,0**	**0,2**	**100**	

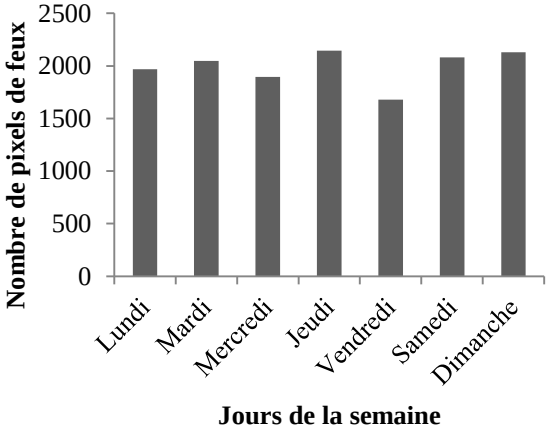


Fig. 4 : Répartition des PdF par jours de la semaine

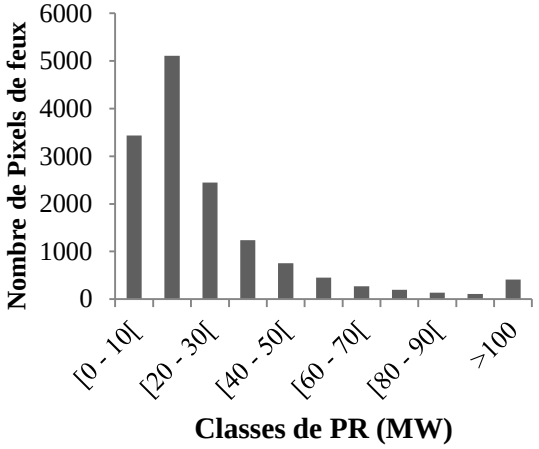


Fig. 5 : Répartition de la PR des PdF observés au Burundi

Tableau 4: Saisonnalité et PR des PdF observés au Burundi

	J	**F**	**M**	**A**	**M**	**J**	**J**	**A**	**S**	**O**	**N**	**D**	***Totaux/catégori***	***%***
Très	11	27	20	15	83	654	185	219	948	21	1	1	**6055**	**43,4**
Faibles	6	9	6	3	42	600	169	202	963	21	1	1	**5586**	**40,1**
Modérés	0	2	1	2	12	199	488	602	271	74	0	2	**1653**	**11,9**
Forts	1	1	2	0	0	74	194	240	112	19	0	3	**646**	**4,6**
Très forts	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	0	0	**4**	**0,0**
Totaux/moi	**18**	**39**	**29**	**20**	**13**	**152**	**423**	**506**	**229**	**51**	**3**	**3**	**13944**	**100**

La classification hiérarchique des PdF au cours de l'année tenant compte de la PR et leur fréquence met en évidence deux principaux groupements correspondant à deux saisons climatiques connues au Burundi : une saison pluvieuse et une autre sèche. La saison pluvieuse est subdivisée en deux périodes, à PdF de très faible à faible PR, dont une qui va du mois de Novembre à Avril et une autre faite des mois de Mai et d'Octobre (extrémités de la saison pluvieuse).

La saison sèche est subdivisée en deux périodes dont une faite des mois de Juin et Septembre (extrémités de la saison sèche) et une autre faite des mois de Juillet et Août (milieu de la sèche) à prédominance des feux de forte à très forte PR (Fig. 6).

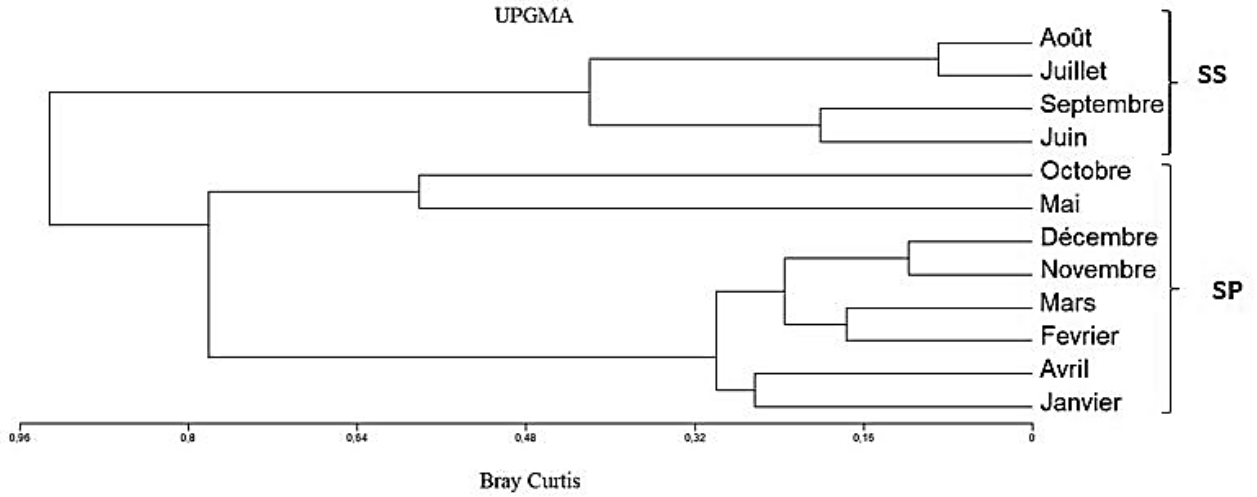


Fig. 6 : Classification saisonnière des PdF observés au Burundi selon leur PR (SP : saison pluvieuse et SS : saison sèche)

3.2. Organisation spatiale et puissance radiative des feux enregistrés au Burundi

La répartition des PdF n'est pas homogène sur le territoire du pays. L'Est en général et le Parc National de la Ruvubu (PNR) en particulier sont les plus touchés par les feux (Fig. 7).
Le PNR, avec moins de 2% de la superficie du pays, concentre à lui seul, 2.133(soit 15,3%) PdF enregistrés au Burundi. Par ailleurs, c'est dans le PNR que se situent les pixels des feux les plus violents (plus de 600MW) et la moyenne de la PR des PdF du PNR (298,09 MW) est 11 fois plus élevée que celle des PdF du Burundi (26,69 MW). De son côté, la densité des PdF (en nombre de PdF/km²/an) dans le PNR (0,26PdF/km²/an) est 8 fois la densité nationale (0,03PdF/km²/an), 3 fois la densité du Parc National de la Rusizi et largement supérieure à celle observée dans les autres APs du Burundi (Tableau 5).

Tableau 5 : Comparaison de la fréquence des feux dans quelques APs du Burundi selon les données MODIS (2001-2016)

	Superficie (ha)	Nombre de PdF	Densité (PdF/km²/an)	Moyenne de la PR (MW)	Ecart-type (MW)	PR Minimale (MW)	PR Maximale (MW)
PNR	50800	2132	0,26	298,09	7,14	6,00	917,50
PNK	45068,25	103	0,01	40,00	49,76	8,00	183,00
Parc National de la Rusizi	10555	151	0,09	21,65	13,29	6,00	52,00
Reserve naturelle Rumonge	600	1	0,01	33,40	NA	33,40	33,40
Faille de Nyakazu	600	6	0,06	10,00	2,83	8,00	12,00
Réserve Naturelle de Murehe	2553,59	1	0,00	28,80	NA	28,80	28,80
Chutes de Karera	142	2	0,09	26,95	6,86	22,10	31,80
Paysage Protégé de Gisagara	2957	1	0,00	10,50	NA	10,50	10,50
Réserve Naturelle de Bururi	3300	5	0,01	25,18	19,55	10,10	59,00
Reserve Naturelle de Kirwena	500	0	0,00	0,00	NA	NA	NA

NA : Non applicable

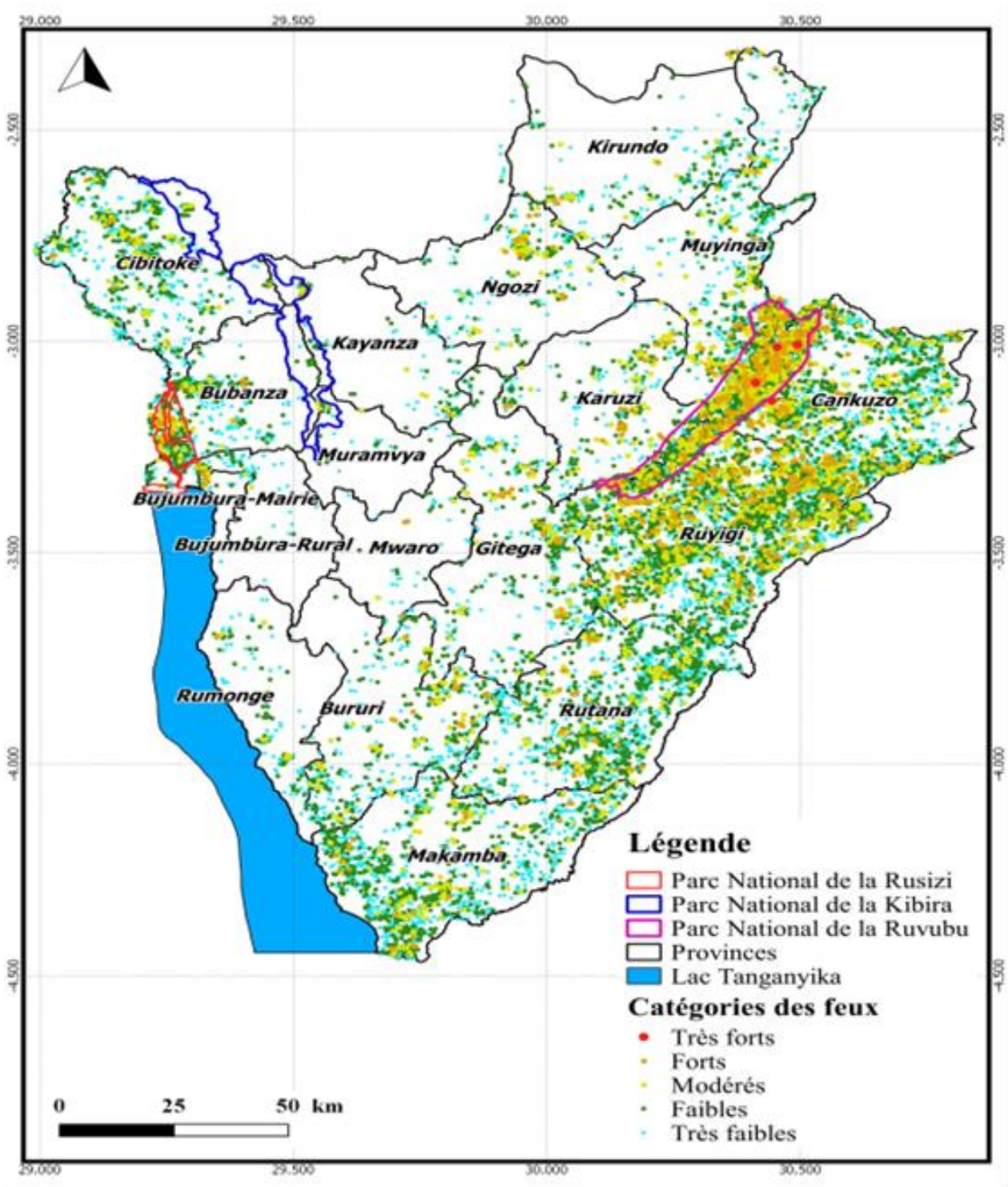


Fig. 7 : Organisation spatiale et PR des feux au Burundi

En considérant les PdF observés de Novembre à Avril, mois d'intenses activités agricoles au Burundi sur l'ensemble du territoire, on se rend compte que ces PdF sont localisés en dehors des APs, que les feux ont une très faible à faible PR qu'ils sont plus représentés à l'Est du pays (Fig. 8).

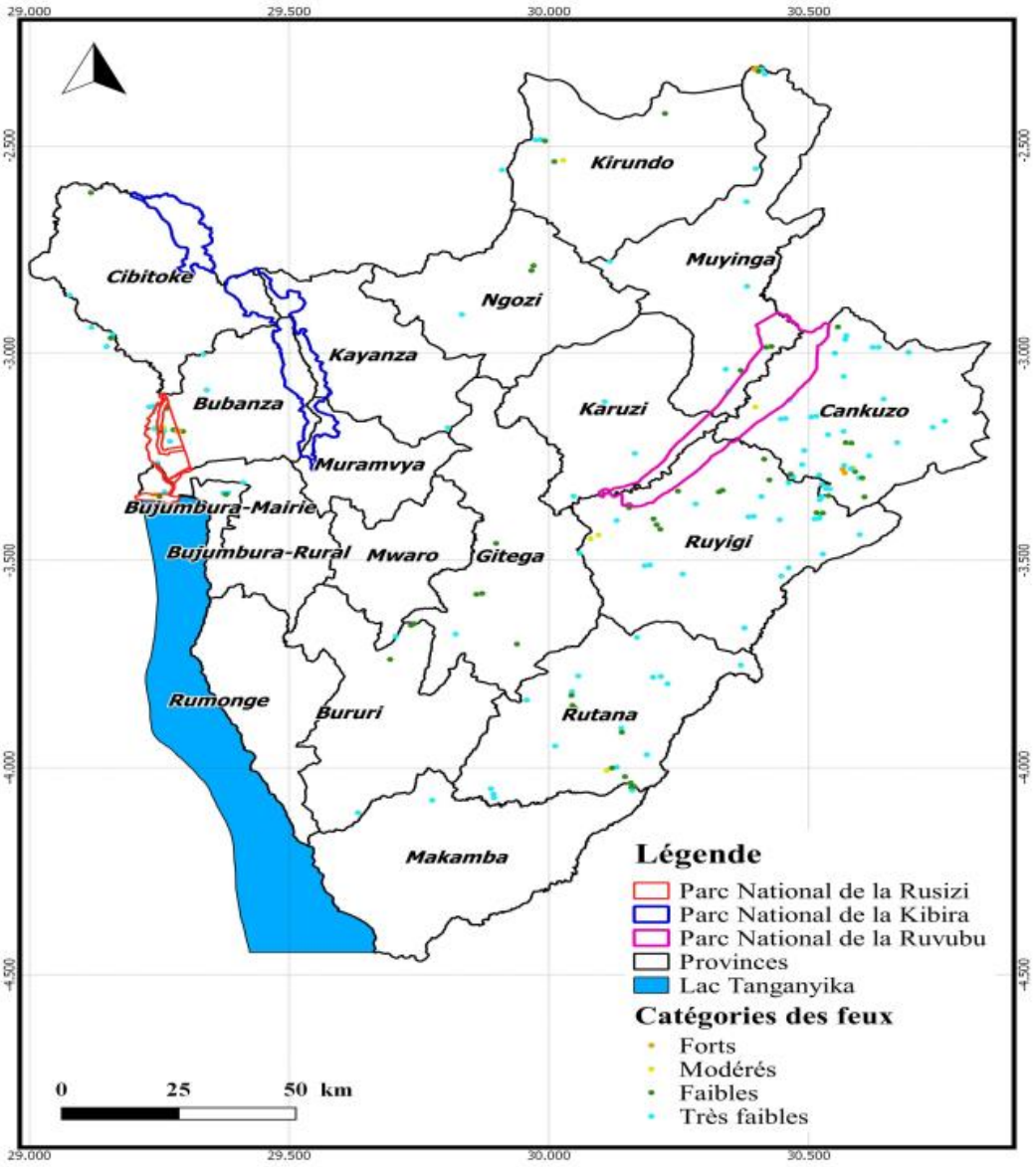


Fig. 8 : Répartition et PR des feux enregistrés aux mois de Novembre à Avril

4. DISCUSSION

Une analyse de l'évolution du nombre de PdF en fonction des années a montré que l'année 2001 a été la moins touchée par les feux de toutes les années étudiées. Cette basse fréquence de feux en 2001 serait liée au fait que le seul satellite Terra fonctionnait et ne pouvait enregistrer des PdF que deux fois par jour (avant-midi et dans la première partie de la nuit) car il traverse l'équateur à 10h30 en montant et à 22h30 en descendant (Giglio *et al*, 2006). Les fréquences élevées des années 2002, 2003 et 2004 seraient dues au fait que le pays traversait une crise socio-politique. En effet, à cette période, les belligérants pouvaient utiliser le feu contre leurs adversaires notamment quand ces derniers étaient cachés dans les forêts (naturelles ou artificielles). Pour les années 2005, 2010 et 2015, la montée de la fréquence des feux serait liée aux périodes électorales. En effet, les élections se sont passées entre les mois de Juin et de Septembre, périodes correspondant à la saison sèche, favorable aux feux de végétation. Durant ces périodes électorales, l'attention des responsables, notamment des APs, aurait été détournée à la faveur des élections et en défaveur de leurs activités quotidiennes.

Les variations annuelles des fréquences des feux au fur des mois sont sous la dépendance du climat local et des activités anthropiques. En effet, la naissance d'un feu est conditionnée par la présence simultanée du combustible, de l'oxygène et d'une source de chaleur (flamme ou étincelle) (Collin *et al*, 2001 ; Masahiro, 2003 ; Valéa, 2005). Quant à sa propagation et sa direction, elles sont sous la dépendance de beaucoup de facteurs, biotiques et abiotiques (Cochrane et Ryan, 2009). Six facteurs majeurs conditionnent l'intensité d'un feu après sa naissance: (i) la quantité de la matière combustible ; (ii) l'humidité du combustible et de l'environnement ; (iii) la température de l'environnement ; (iv) la nature chimique de la matière combustible ; (v) le vent ; (vi) la topographie (Collin *et al*, 2001).

Les mois de Novembre à Avril correspondent aux intenses activités culturales sur l'ensemble du territoire burundais. Au cours de ces activités, des terres anciennement agricoles sont cultivées et de nouvelles sont défrichées (Chrétien, 1984 ; Bidou *et al*, 1991). En cultivant, les herbes généralement fraiches sont ramassées et entassées en de petits tas, nommées « ibiyigira » ou ikiyigira (au singulier), qui couvrent en général moins de 5 m². Ces herbes sont alors brûlées à la fin des travaux champêtres, donc vers la fin de l'avant midi car les cultivateurs rentrent généralement à mi-journée (Chrétien, 1984). Ces herbes, parfois mélangées à leurs racines déterrées du sol, doivent avoir une teneur élevée d'humidité, ce qui implique une basse PR pour ces points de feux. En considérant la PR et la superficie couverte par ces points de feux, et étant donné l'algorithme de détection des feux par les satellites MODIS (Giglio *et al*, 2003), de tels feux ont une probabilité quasi-nulle d'être détectés par les satellites MODIS, bien que leur densité sur terrain puisse atteindre 155 points de feux au km² à Matongo (Kayanza), à Makebuko (Gitega), à Musongati et à Giharo (Rutana). Les quelques feux détectés durant ces mois sont donc liés à de nouvelles terres en défrichement au moyen du feu. Dans ce cas, on peut avoir des feux qui s'étendent sur une superficie assez grande pour ainsi permettre leur détection. En revanche, de tels feux sont plus fréquents à l'Est du pays, dans les provinces de Cankuzo, Ruyigi, Rutana et Makamba ; les provinces les moins densément peuplées du pays, avec une densité de population variant entre 117 et 220 habitants/km² alors que la densité moyenne du pays est de 400 habitants/km² (Ministère de l'Intérieur, 2011). Cette réalité est expliquée par la présence fréquente de terres non encore défrichées à l'Est du Burundi qui est actuellement le deuxième pays le plus densément peuplé d'Afrique (Sabuhungu, 2016). Ces terres-là, avec leur végétation parfois encore naturelle (notamment dans le massif de Nkoma à Rutana, dans la montagne de Mpungwe, à Ruyigi, dans la montagne Inanzerwe à Makamba, et dans les environs du PNR et du Paysage Protégé de Gisagara à Cankuzo) constituent un combustible qui peut s'enflammer à la volonté des agriculteurs ou suite à de fréquents accidents. Durant ces mois humides, les feux sont quasi-absents dans les APs suite notamment à la fraicheur de la végétation et aux conditions météorologiques (précipitations fréquentes, humidité atmosphérique élevée, basse température, …) défavorables à la naissance et à la propagation des feux.

La période des mois de Juin à Septembre, qui rassemble 94,1% des feux observés correspondent à la saison sèche. Durant cette saison, les précipitations deviennent rares, la dessiccation de la végétation et des sols ainsi que les sautes de vent (Chrétien, 1984 ; Bidou *et al*, 1991) sont favorables à la naissance et à la propagation des feux (Collin *et al*, 2001). Or, pas mal de réalités socioéconomiques expliquent la naissance des feux dans la nature durant cette période : (i) le braconnage notamment dans les APs ; (ii) la recherche des aires de pâturage dans ces mois où le fourrage devient une casse-tête pour des animaux qui ne sont pas élevés en stabulation permanente; (iii) certaines activités agropastorales comme la récolte de miel par enfumoirs traditionnels notamment à l'Est du pays ; (iv) les feux accidentels.

La bonne qualité (faible teneur en humidité) et la quantité élevée du combustible expliquent la forte PR des certains PdF observés durant cette période (Collin *et al*, 2001 ; Giglio *et al*, 2006 ; David Bowman, *et al.*). La maitrise des feux est généralement difficile pendant ces mois, face à leur puissance, leurs longs fronts et à leur grande vitesse (Collin *et al*, 2001). C'est durant ces mois que les APs sont brûlées.

Notre résultat corrobore celui de Giglio et ses co-auteurs (2006) selon lequel le nombre de mois des feux de végétation est de 2 à 6 par an dans la zone tropicale. La lutte des feux de brousse devrait se

focaliser sur ces mois et concentrer le maximum d'effort à l'Est du pays.

La distribution de la fréquence des PdF entre différents jours de la semaine ne montre pas de jours privilégiés comme certains mois de l'année. Cela est expliqué par le fait que le climat d'une semaine, qui fait partie d'une saison, suit le climat de la saison. Si les feux sont fréquents dans la saison, ils seront évidemment fréquents dans les semaines de cette saison, indifféremment des jours d'apparition. Dans un éventuel plan de lutte des feux, les jours de la semaine devront donc avoir une même importance.

La variation de la fréquence des feux à l'échelle journalière est très nette. La majorité des PdF (77,7%) sont enregistrés durant l'avant midi. Cette fréquence retombe à 7,2 % dans les après-midi, pour remonter à 15% dans la première moitié de la nuit, alors que les feux sont quasi-absents dans la deuxième moitié de la nuit. Cette répartition inégale des feux le long du jour est dictée à la fois par les travaux agricoles et le rythme climatique local (température et précipitations) du jour au Burundi. En effet, le régime thermique journalier est contrasté entre les journées et les nuits, et varie suivant l'altitude : les variations sont plus importantes à basse altitude et vont de 11°C dans la plaine de l'Imbo à 8°C dans la Crête Congo-Nil (Bidou *et al,* 1991).

De même, le régime journalier des précipitations est aussi contrasté. Les averses ont souvent lieu pendant les après-midi (à l'exception des rives du lacs Tanganyika, où les averses sont plutôt observées durant la première moitié de la nuit), lorsque les brises ascendantes sont plus puissantes. Dès le commencement de la nuit, la situation s'inverse et le temps redevient beau sur la grande partie du territoire burundais (Bidou *et al,* 1991).

La fréquence élevée des feux des avant-midis seraient liée d'une part au beau temps (faible fréquence des pluies) et aux activités agricoles qui se font les avant-midis (Chrétien, 1984), avec une certaine probabilité qu'un feu s'échappe du champ et consume la nature. Les averses des après-midis agissent à trois niveaux sur la fréquence des feux : (i) elles éteignent des éventuels feux qui, allumés dans l'avant midi, sont en train de se propager ; (ii) elles sont défavorables à la naissance de nouveaux feux dans cette période du jour ; (iii) la dense nébulosité associée à ces averses diminue la probabilité de détection des feux éventuels (Giglio *et al,* 2006 ; Justice *et al.,* 2006) qui auraient pu naître malgré les conditions défavorables, d'où la chute de la fréquence des feux dans les après-midis.

La remontée de la fréquence dans la première moitié de la nuit serait consécutive à la fin des averses de l'après-midi. Cependant, l'humidité du combustible et les conditions météorologiques (notamment températures basses, l'absence de l'ensoleillement) ainsi que l'absence des travaux champêtres réduisent la naissance et la propagation des feux, d'où une fréquence faible par rapport à celle de à l'avant midi. Dans la deuxième moitié de la nuit, la chute de température entraine la condensation et la chute de l'eau atmosphérique (rosée) sur la végétation (combustible) dont l'humidité augmente. La faible nébulosité de cette période du jour (Bidou *et al,* 1991) rend la probabilité de détection des feux élevée (Giglio *et al,* 2003 ; 2006), mais les feux détectés sont très rares.

Cette réalité met en évidence soit l'absence de feux durant cette période du jour, soit les caractéristiques de feux (superficie couverte et PR) qui les rendent non détectables. En effet, sous les conditions météorologiques défavorables (la rosée et la basse température), les feux se sont soit éteints, soit devenus très restreints et peu puissants pour être détectables par les satellites MODIS. Ils peuvent cependant reprendre leur vigueur dès le matin de la journée qui suit la nuit. Nos résultats sur la saisonnalité des feux à l'échelle annuelle et journalière tombent en accord avec les résultats de Collin *et al* (2001), et Bowman, *et al* (2009), selon lesquels les conditions climatiques et les actions anthropiques sont fondamentales à la naissance et à la propagation des feux.

L'appréciation de la puissance d'un feu est faite sur base de sa PR (Collin *et al,* 2001 ; Giglio *et al,* 2006 ; Brouke, 2009 ; Giglio, 2015). Au Burundi, en considérant la PR des feux, on constate que toutes les cinq catégories de feux [des plus faibles (< 15MW), aux très forts (> 600 MW) (Giglio *et al,* 2006)] sont représentées. La moyenne des PR des PdF est de 26,7 MW alors que l'évaluation globale des feux aux environs de l'équateur a donné une moyenne d'environ 35 MW (Giglio *et al,* 2006).

Les pixels des feux les plus représentés au Burundi sont ceux des feux faibles et très faibles intensités avec respectivement 43,4% et 40,1%. Des PdF à très faibles PR (< 15 MW) correspondent aux feux des forêts denses ou aux feux des usages agricoles, où les feux contrôlés sont en revanche petits (Giglio *et al*, 2006). Dans les tropiques, les feux dont la PR est faible [15 MW - 40 MW [sont associés aux formations herbeuses (Giglio *et al*, 2006), ce qui est fréquemment le cas à l'Est du pays, dans les jachères et les terres non encore défrichées. Les feux modérés, forts et très forts sont peu représentés, mais très destructeurs. Ils correspondent aux feux tardifs qui sont réputés pour leurs effets destructeurs (Niyongabo, 2013).

Les feux très forts sont en général connus dans les forêts boréales (Sibérie, Canada et Alaska), avec des quantités élevées de combustibles (Giglio *et al*, 2006). Les feux très forts observés dans les savanes burundaises ont aussi été constatés dans les forêts classées de Besse Boka et de Mafa en Côte d'Ivoire, où la végétation est dominée par les forêts sèches et les savanes boisées (Malan, 2016). Des PR élevées mettent en évidence d'une part la violence (et donc le pouvoir destructeur d'un feu), puisqu'elle est calculée sur base de la loi Stefan-Boltzmann et d'autre part la quantité élevée de combustible consumée (Collin *et al*, 2001). La moyenne des PR des PdF du PNR (298,09 MW) dépasse largement la moyenne connue dans les formations herbeuses (40 MW) (Giglio *et al, 2006*). Par ailleurs, la densité moyenne des PdF au Burundi qui est de 0,03 PdF/km²/an corrobore les résultats de Giglio *et al* (2006), qui situent la densité moyenne de PdF entre 0,015 et 0,06 PdF/km²/an dans la zone intertropicale. Dans le PNR, la densité des PdF est de 0,26 PdF/km²/an.

La moyenne élevée de la PR et la densité élevée des PdF dans le PNR mettent cette AP dans un contexte différent de celui du Burundi d'une part et de celui de la zone intertropicale d'autre part.
Dans le PNK, la moyenne de la PR est de 40 MW, une moyenne typique des formations végétales herbeuses au lieu de 15 MW, une moyenne typique des forêts denses humides en zone tropicale (Giglio *et al*, 2006), alors que cette AP est une forêt dense de montagnes. Par ailleurs, la probabilité d'apparition et de propagation d'un feu est peu probable dans une forêt dense non perturbée (Cochrane, 2003; Nepstad *et al.,* 2008) et la détection d'un éventuel feu dans de telles forêts est peu probable à cause de la dense canopée (Langner and Siegert, 2009). Il est en conséquence probable que les feux détectés par les capteurs de MODIS dans le PNK mettent en évidence des milieux où cette AP est en dégradation : ouverture de canopée et réduction du nombre de strates à la seule strate herbacée.

Le Parc National de la Rusizi est le 2ème AP à avoir une fréquence et une densité élevées de feux. Ceci s'explique notamment par sa physionomie qui est ouverte due aux types de formations végétales qui la forment : la forêt à *Hyphaene petertiana, les* bosquets xérophiles à *Cadaba farinosa* var.*adenotricha* et *Commiphora madagascariensis* , des savanes à *Sporobolus pyramidalis* et *Balanites aegyptiaca* caractéristiques des vertisols, les savanes à *Acacia hochii*, la steppe à *Bulbine abyssinica* et les formations postculturales et rudérales (Nzigidahera & Habonimana, 2016) lesquelles formations rudérales sont dues à la récente extension de cette AP qui fixe ses nouvelles limites dans des zones anciennement agricoles. La moyenne de la PR (21,65 MW) montre que ces feux ont une puissance nettement faible par rapport à ceux du PNR et du PNK. Cette moyenne se rapproche plus de la PR des feux agricoles et de ceux des forêts denses humides.

Cette faible PR serait expliquée par la faible quantité de combustible qui n'est pas d'ailleurs répartie de manière homogène et continue, avec probablement beaucoup de points d'eau éparpillés dans le parc. Dans les autres APs, la fréquence des feux est très faible pour pouvoir y faire un commentaire scientifique. Cette faible fréquence est liée à leur petite superficie et/ou à leur physionomie défavorable aux feux et à leur télédétection.

V. CONCLUSION

L'objectif de cette recherche était de caractériser et de localiser les feux actifs sur base des données de feux actifs MODIS au Burundi, dans le souci de contribuer à la gestion des APs et de la diversité biologique. En considérant une période de 2001 à 2016 (soit 16 ans), il a été constaté que 13.944 PdF ont été enregistrés par les capteurs de MODIS sur tout le territoire national. Une analyse sur la fréquence interannuelle des feux a mis en évidence que les périodes électorales au pays correspondent à des fréquences de feux plus élevées que d'autres

années. Les gestionnaires des APs et de la biodiversité en général, devraient accorder une attention particulière à de telles périodes.

Une analyse de la saisonnalité de feux dans une année a montré que, quatre mois (de Juin à Septembre) connaissent 94,1% des PdF observés. Ces mois, qui sont les plus secs de l'année, connaissent aussi les feux les plus puissants, et par conséquent les plus destructeurs de la nature. Un effort particulier des gestionnaires notamment des APs devra porter sur ces mois. Comme plus de 77% des feux surgissent durant les avant-midis (de 6h à 12h), cette période du jour devrait être gérée de manière particulière durant ces 4 mois notamment. De plus, la deuxième moitié de la nuit est la période propice pour maitriser les feux qui ne le sont pas durant la journée. En effet, durant cette période du jour, les feux sont réduits (en terme de surface) et deviennent moins puissants ; cependant, ils peuvent retrouver leurs caractères immaitrisables la journée suivante.

Les feux du PNR sont 11 fois plus puissants que ceux observés ailleurs au Burundi. Les effets réels des feux sur cette AP (et notamment sur sa biodiversité), qui est la plus grande du pays devraient être évalués dans les meilleurs délais. En attendant, il est urgent de recourir aux feux de gestion précoces (au mois de Mai), qui sont moins puissants, sur tout le parc, pour barrer la route à ces feux tardifs de Juillet, Août et Septembre, qui ont des puissances radiatives se classant parfois parmi les plus élevées de la planète (917,5 MW). Au PNK, les feux qui ont été enregistrés seraient en relation avec la dégradation de cette forêt de montagne qui devrait être l'habitat le plus résilient contre les feux de brousse. A ce niveau aussi, une étude plus approfondie, combinant les observations de terrain et les données de télédétection est souhaitable pour mettre la situation au clair. Dans les autres APs du Burundi, les feux ont été enregistrés, mais, la situation est moins préoccupante par rapport au PNR et au PNK. En termes de densité de PdF et de leur PR, le Burundi, se situe dans les normes du contexte généralement connu pour l'Afrique tropicale.

Les capteurs de MODIS (Aqua et Terra) utilisent un algorithme non adapté à détecter les feux des tas d'herbes brûlées dans les champs durant les moments de travaux champêtres. Les seuls feux agricoles détectés par ces capteurs sont ceux qui peuvent s'étendre sur de grandes étendues, pendant le défrichage de nouvelles terres ou l'exploitation des terres mises en jachères en utilisant le feu. C'est pourquoi la densité élevée de PdF est rencontrée à l'est du Burundi où en plus de la jachère encore possible, des nouvelles terres peuvent être défrichées.

En plus des données recueillies sur terrain, avec parfois des difficultés et imprécisions diverses, le ministère ayant l'environnement dans ses attributions devrait commencer à valoriser une multitude de données de télédétection, disponibles gratuitement, rapidement avec une fiabilité considérable, telles celles de MODIS.

VI. BIBLIOGRAPHIE

Bidou J.-E., Ndayirukiye S., Ndayishimiye J.-P., Sirven P. 1991. Géographie du Burundi. Paris. Edition Hatier, ISBN 2-218-3906-0. 288p.

Broucke S, 2009. Evaluation du régime du feu en Nouvelle-Calédonie à partir de moyen de télédétection, Unité ESPACE, Projet ANR Biodiversité INC (« Incendie et Biodiversité »), 28p.

Caillault S., Ballouche A., Delahaye D., 2009. Organisation spatio-temporelle des feux de brousse. Approche comparative au Burkina Faso, in : Foltête J.-C.(dir.), Actes des Neuvièmes Rencontres de Théo Quant, Besançon. ISSN 1769-6895. Article mis en ligne le 11 janvier 2010.

Chrétien J.P. 1984. Agronomie, consommation et travail dans l'agriculture du Burundi du XVIII^{ème} siècle au XX^{ème} siècle. Ed. M. Cartier. Le travail et ses représentations. Paris. 123-178.

Colin P-Y, Marielle, J., & Mariel A. 2001. La prévention : éviter tout départ de feu, Protection des forêts contre l'incendie, Cahier FAO Conservation n° 36, 61-6Cochrane, M.A. (2003). Fire science for rainforests. Nature 421, 913-919.

Cochrane M.A. & Ryan K.C. 2009. Fire and fire ecology: Concepts and principles. In:Tropical fire ecology - climate change, land use, and ecosystem dynamics, Springer Praxis Books, 25–62.

David M. J. S. Bowman, Jennifer K. Balch, Paulo

Artaxo, William J. Bond, Jean M. Carlson, Mark A. Cochrane, Carla M. D'Antonio, Ruth S. DeFries, John C. Doyle, Sandy P. Harrison, Fay H. Johnston, Jon E. Keeley, Meg A. Krawchuk, Christian A. Kull, J. Brad Marston, Max A. Moritz, I. Colin Prentice, Christopher I. Roos, Andrew C. Scott, Thomas W. Swetnam, Guido R. van der Werf, Stephen J. Pyne, 2009. Fire in the Earth System. Science324, 481. DOI: 10.1126/science.1163886. Print ISSN 0036-8075; online ISSN 1095-9203

Davies, D.K., Ilavajhala, S., Wong, M.M. and Justice, C.O., 2009. Fire Information for Resource Management System: Archiving and Distributing MODIS Active Fire Data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 47, 72-79.

Devineau J-L, Fournier A, Nignan S. 2010. Savanna fire regimes assessment with MODIS fire data: their relationship to land cover and plant species distribution in western Burkina Faso (West Africa). Journal of Arid Environments, Elsevier, 74 (9), pp.1092-1101. <10.1016/j.jaridenv. 2010.03.009>. <hal-00369244>

Giglio L., Descloitres J., Justice C.O. & Kaufman, Y.J., 2003. An Enhanced Contextual Fire Detection Algorithm for MODIS. Remote Sensing of Environment 87, 273-282.

Giglio L., Loboda T., Roy D.P., Quayle B., Justice C.O., 2009. An active-fire based burned area mapping algorithm for the MODIS sensor. Remote Sensing of Environment 113, 408-420.

Giglio L. 2015. MODIS Collection 6 Active Fire Product User's Guide. Revision A. Department of Geographical Sciences. University of Maryland. 64 p .

Justice, C., Giglio, L., Boschetti, L., Roy D., Csiszar,I. Morisette, J., and Kaufman Y. 2006. Algorithm Technical Background Document. MODIS fire product. Version 2.3, 1. (MODIS Science Team)

Kovach W.L., 1997. MVSP: MultiVariate Statistical Package data analysis. Kovach Computing Services; 85 Nant-y-Felin, Pentraeth, Anglesey

Langner, A., Siegert, F. 2009; Spatiotemporal fire occurrence in Borneo over a period of 10 years. Global Change Biology 15, 48-62.

Malan Aka J.O., 2016. Caractérisation des feux de végétation dans la zone du plan d'investissement forestier en côte d'ivoire à partir des hotspots des satellites MODIS Terra et Aqua. Travail de fin d'étude. Université de Liège. 60p.

Masahiro O., 2003. Manuel sur la Lutte contre les Feux de Végétation: Compilation du Savoir- faire actuel Série I: Les Techniques Existantes dans la Lutte contre les Feux de Végétation, 144p.

Ministère de l'Eau, de l'Environnement, de l'Aménagement du Territoire et de l'Urbanisme 2013. Plan régional de mise en œuvre de la Stratégie Nationale et Plan d'Action sur la Biodiversité dans la dépression de Kumoso, 39p.

Ministère de l'Eau, de l'Environnement, de l'Aménagement du Territoire et de l'Urbanisme 2013. Plan régional de mise en œuvre de la Stratégie Nationale et Plan d'Action sur la Biodiversité en zones écologiques de Mumirwa et de la Crête Congo-Nil, 37p.

Ministère de l'Eau, de l'Environnement, de l'Aménagement du Territoire et de l'Urbanisme 2013. Plan régional de mise en œuvre de la Stratégie Nationale et Plan d'Action sur la Biodiversité dans la plaine de l'Imbo, 38p.

Ministère de l'Intérieur 2011. Etat et structures de la population. Volume 3 : Analyse. Tome 6. Recensement Général de la Population et de l'Habitat du Burundi 2008. Bujumbura. 87p

Müller D. & Suess S., 2011. Can the MODIS active fire hotspots be used to monitor vegetation fires in the Lao PDR?, Climate Protection through Avoided Deforestation (CliPAD) Programme, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), 50p.

Nepstad, D.C., Stickler, C.M., Filho, B.S., Merry, F. 2008. Interactions among Amazon land use, forests and climate: prospects for a near-term forest tipping point. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences.

Niyongabo, E. 2013. Etablissement de la situation de

référence dans le but du suivi de la dynamique des habitats dans les aires protégées au Burundi: Cas de la rive Droite I du Parc National de la Ruvubu. Université du Burundi. Mémoire de fin d'étude. 136p.

Nzigidahera, B. 2007. Ressources biologiques sauvages du Burundi. Etat des connaissances traditionnelles. INECN-CHM-Burundi. Bujumbura. 115p.

Nzigidahera, B. 2012. Description du Burundi. Aspects physiques. INECN. Bujumbura. 10p.

Nzigidahera, B. & Habonimana B. 2016.Etude des tendances de la biodiversité, des espèces et des écosystèmes fournissant les services Eco systémiques: Formulation des indicateurs pour mesurer, suivre et rapporter la tendance de labiodiversité au Burundi. CHM-Burundi. Bujumbura. 61p.

Poilecot, P. & Loua N-S., 2009. Les feux dans les savanes des monts Nimba, Guinée, Bois et Forêts des Tropiques, Ecosystème de savane, n°301 (3), 51-66.

Rishirumuhirwa T. 1998. Environnement socio-économique, démographique et crise érosive au Burundi. Réseau Erosion Bull.15. p168-174

Sabuhungu E.G. 2016.Analyse de la demande en charbon de bois par les ménages urbains de Bujumbura au Burundi. (Thèse de doctorat en Français). Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Belgique, 185 pages (+ annexes : 50 pages), 41 tableaux, 6 figures et 8 photos.

Sibomana, S., Nshimba, S-M, Koffi, K.J., Robbrecht, E., Lejoly, J., Habonimana, B. & Bogaert, J. 2008. Identification des plantes menacées du Burundi par l'analyse de la vulnérabilité. Ann. Fac. Sci. Unikis 13 :77- 85.

Tchakossa, B. 2012. L'exploitation et la protection des ressources forestières en République Centrafricaine de la période précoloniale _à nos jours. Sciences de l'environnement. Université De Nantes, Français. <NNT : 2012NANT3006>. <tel-01171560>

Triplet P. 2017. Dictionnaire encyclopédique de la diversité biologique et de la conservation de la nature. 3ème Edition. ISBN : 2-9552171-2-2.

Bull. sci. environ. biodivers. 3: 32-44

ARTICLE DE RECHERCHE

ISSN 2519-0113 (Imprimé)

Bulletin scientifique sur l'environnement et la biodiversité

ISSN 2519-0121 (En ligne)

Valorisation des plantes comestibles de la flore naturelle du Burundi: une contribution à la réduction de la malnutrition

[1,3] Ntakarutimana Vestine, [1,3] Gahungu Godefroid, [1,3] Nsavyimana Gaston & [2,3] Ndayishimiye Joël
[1] Département de Chimie, Faculté des Sciences, Université du Burundi, Burundi, BP 2700 Bujumbura
[2]Département de Biologie, Faculté des Sciences, Université du Burundi, Burundi, BP 2700 Bujumbura
[3] Centre de Recherche en Sciences Naturelles et de l'Environnement (CRSNE)

Auteur de correspondance: NTAKARUTIMANA Vestine, E-mail : vestine.ntakarutimana@ub.edu.bi

Reçu: *le 05 Octobre 2018* Accepté: *le 4 Février 2019* Publié: *le 5 Février 2019*

RESUME:

Le Burundi regorge d'importantes ressources végétales dont certaines sont sauvages et d'autres introduites. La grande partie de ces espèces est utilisée dans l'alimentation humaine et animale et d'autres comme plantes médicinales. La présente étude avait pour objectif principal de contribuer à la valorisation des plantes comestibles de la flore naturelle du Burundi afin de réduire la malnutrition. L'étude a été réalisée dans cinq communes du pays entre l'année 2001 et 2005. Durant cette période, 20 espèces comestibles de la flore naturelle du Burundi ont été échantillonnées et les analyses ont été effectuées sur quatre nutriments: la vitamine C, le fer, le calcium et le magnésium. Les résultats obtenus ont démontré que certaines plantes peuvent jouer le rôle de supplément alimentaire. La sensibilisation de la population sur l'importance des plantes comestibles dans leur alimentation constituerait une priorité. Des essais de domestication devraient être envisagés afin de faciliter l'accessibilité des plantes comestibles à la population.

***Mots-clés*:** Vitamine C, fer, calcium, magnésium, feuilles, fruits, tubercules

ABSTRACT

Burundi has many important plant resources, some of which are wild and others introduced. The majority of these species are used as food for human or animals and other as medicinal plants. The main objective of this study was to contribute to the recovery of edible plants of the natural flora of Burundi in order to reduce malnutrition. The study was conducted in five communes in the country between 2001 and 2005. During this period, 20 edible plants of the natural flora of Burundi were sampled and some analyzes were performed on four nutrients: vitamin C, iron, calcium and magnesium. Our results showed that some plants can be used as dietary supplement. Awareness on the importance of plant foods in their diet would be a priority. Domestication trials should be considered to facilitate the accessibility of edible plants in the population.

Keywords: vitamin C, iron, calcium, magnesium, leafs, fruits, tubercles

1. INTRODUCTION

Le Burundi est caractérisé par une plus grande diversité floristique. Environ 3000 espèces de plantes supérieures ont été inventoriées (PNUD et al., 2000). Certaines de ces espèces sont connues pour leur intérêt thérapeutique et sont utilisées par les habitants du terroir dans l'alimentation humaine et animale. Cependant, peu de connaissances existent sur leur valeur nutritionnelle et c'est dans cette logique que le présent travail trouve de justification. Par ailleurs, face à l'exiguïté des terres réelles pour les burundais et l'accroissement démographique de la population, on observe de plus en plus des problèmes de la famine entraînant par conséquent des maladies liées à la malnutrition. De plus, les interdits liés à la culture et à la mentalité observés pour la plus grande partie de la population burundaise ne permettent pas à la population de s'ouvrir vers d'autres sources alimentaires.

Le présent travail vise à contribuer à la réduction de la malnutrition en menant une investigation sur la valeur nutritionnelle des plantes comestibles de la flore naturelle du Burundi. L'état des connaissances révèle qu'avant même de connaître la valeur alimentaire, le consommateur mange par nécessité. Il cherche d'abord la quantité suffisante et ce n'est qu'ensuite qu'il peut faire un choix, exprimer un désir et apprécier la qualité de chaque produit alimentaire (FAO, 2002). Dans les pays en voie de développement, la population consomme les aliments pour remplir leurs estomacs sans tenir compte de l'équilibre alimentaire (protéines, lipides, glucides, vitamines et éléments minéraux). Cela justifie pourquoi le problème de malnutrition touche ces pays en voie de développement et le Burundi n'est pas épargné.

Etant un pays essentiellement agricole (94 % de la population active) à l'instar d'autres pays en développement, il est confronté à des problèmes variés. Hicintuka et Mulungula Masiliya (2013) et Ciat (1989) citent notamment: une démographie galopante sur des terres exiguës; une dégradation de la fertilité des sols se manifestant par l'acidification et la toxicité aluminique dont souffrent la majorité des terres du Burundi et une insuffisance des techniques agricoles accentuée par le revenu faible des populations rurales. L'alimentation représente par ailleurs pour chaque être humain un besoin inévitable pour maintenir non seulement l'équilibre énergétique mais aussi pour la synthèse cellulaire permettant le fonctionnement normal de l'organisme.

Des éléments nutritifs doivent alors être apportés en quantités et en qualités nécessaires pour le besoin de l'organisme. Agbessi Dos-Santos et Damon (1987) classent les aliments en trois groupes principaux comme le montre la figure 1: les aliments de construction riches en protéines, les aliments énergétiques riches en lipides et glucides ainsi que les aliments de protection riches en vitamines, sels minéraux et fibres alimentaires. Au regard de cette figure, on peut délibérément affirmer que la population burundaise, surtout rurale est exposée à la malnutrition. Celle-ci a pour conséquence chez les enfants ayant un faible poids à la naissance de subir des retards de croissance et de souffrir des maladies pendant l'enfance, l'adolescence et l'âge adulte (Weber *et al*., 2015). Elle a aussi pour conséquence chez les femmes ayant subi un retard de croissance de perpétuer le cycle vicieux de la malnutrition en donnant naissance à des bébés de faible poids.

Pourtant depuis le début de la préhistoire, l'homme s'est toujours servi des végétaux naturels pour son alimentation si bien que leur choix n'est pas orienté par rapport à leur contenu nutritionnel. Les parties aériennes (fruits, feuilles, etc.) ne sont pas les seules à présenter un intérêt alimentaire mais aussi les parties souterraines sont parfois consommables. Carles (1974) et Kouyaté *et al.* (2009) estiment que trois quarts des calories d'une ration équilibrée proviennent du monde végétal, raison pour laquelle les végétaux occupent une place importante dans l'alimentation humaine. Une autre motivation liée à cette investigation est que les pays en voie de développement y compris le Burundi

importent de plus en plus des quantités importantes des denrées alimentaires alors que les revenus déplorables de la population ne lui permettent pas de s'en procurer. Une bonne connaissance de la richesse nutritionnelle des plantes comestibles de la flore naturelle du Burundi motiverait la population à leur consommation et apporterait une valeur ajoutée à la réduction de la malnutrition.

De 2001 à 2005, nous avons exploré les flores naturelles situées dans cinq communes du Burundi (voir figure 2) et 20 espèces de plantes comestibles récoltées dans cinq communes ont fait l'objet de l'analyse (voir tableau 1). Quatre nutriments (la vitamine C, le fer, le calcium et le magnésium) ont attiré notre attention et ont été dosés dans ces plantes. Le choix de ces nutriments a été guidé par leurs importances physiologiques pour l'homme et par les habitudes alimentaires des personnes à faibles revenus en général et en particulier la masse paysanne burundaise.

Les éléments minéraux interviennent dans de nombreuses fonctions physiologiques comme: la minéralisation osseuse, la régulation du système musculaire, le contrôle de l'équilibre en eau, la régulation de la glycémie, la synthèse des globules rouges et blancs, etc. (Alais et *al*., 2008). Le calcium permet particulièrement aux dents et aux os de consolider leur structure; ces derniers monopolisent eux seuls 99% de la quantité totale et le 1% restant joue un rôle essentiel dans de nombreuses fonctions vitales de l'organisme (coagulation du sang, activité musculaire et cardiaque, pression artérielle, transmission de l'influx nerveux au muscle, fonctionnement de nombreuses enzymes….) (Alais et *al*., 2008).

Un déficit en calcium (hypocalcémie) peut alors entraîner, selon cet auteur, une ostéoporose mais aussi une excitabilité accrue des muscles et des nerfs qui se traduit par des manifestations neurologiques (tétanie ou des convulsions). Le magnésium est présent dans presque toutes les cellules de l'organisme, où il participe entre autres à plus de 300 réactions enzymatiques (Marmouch *et al.*, 2018). Au total, le corps contient environ 25g de ce minéral; 60% sont stockés dans les os, dont il aide à maintenir la structure (Moussard, 2006). Un quart est utilisé dans les muscles où il contribue à la décontraction musculaire (Moussard, 2006). Le reste se répartit dans le cerveau et dans les organes-clés comme le cœur, le foie ou les reins (Moussard, 2006).

Le magnésium sert à la transmission de l'influx nerveux, à la fabrication des protéines et acides nucléiques sans oublier qu'il a un effet protecteur et stabilisant sur les membranes (Moussard, 2006). De plus, le magnésium a un effet régulateur sur le transit intestinal; il est donc indiqué en cas de constipation passagère (Burtis et Bruns, 2007). Il est également considéré comme essentiel dans l'homéostasie des ions calcium, potassium et sodium (Alais et *al.*, 2008). La carence en magnésium par dénutrition est rare, mais on peut, en revanche, et comme pour les autres sels minéraux, en manquer à cause des diarrhées fréquentes et d'une diurèse excessive, mais aussi en cas de consommation abusive d'alcool (Marion, 2003). Des carences en magnésium peuvent conduire à une déficience magnésique d' autant plus facilement qu'elles ne mobilisent pas les réserves (os, muscles striés squelettiques). Les stress favorisent l'hypomagnésemie car il provoque une fuite rénale du magnésium (Blanchard *et al.*, 2009). La carence en magnésium peut engendrer des troubles cardiaques graves (OMS, 1990).

La figure 1 montre la classification des aliments en trois groupes principaux. Le fer est un oligo-élément essentiel à la bonne oxygénation du corps et à l'activité de plusieurs enzymes. Son absorption est meilleure lorsqu'il est accompagné de vitamine C alors qu'une grande consommation de thé ou de café la diminue (Coultate, 1993; Masson, 2007). Il existe deux sortes de fer dans le corps humain : (i) celui qui circule dans le sang et les cellules, et (ii) celui qui est stocké en réserve dans la rate et le foie, les deux formes représentant chez l'adulte environ 5g (moins chez la femme) (Marion, 2003).

Le fer est absorbé par l'intestin et il entre dans la composition de l'hémoglobine qui sert principalement au transport de l'oxygène dans tout l'organisme (Viatte et Vaulont, 2005). Le fer est aussi présent dans la myoglobine pour que l'oxygène puisse être utilisé par les muscles. Il participe également à l'activité de plusieurs enzymes et protéines. L'organisme ne synthétise pas de fer, il doit donc être apporté par l'alimentation (Murray et *al*. 1995). Les carences en fer provoquent la fatigue et abaissent les performances physiques et intellectuelles. Elles provoquent également une anémie en freinant le renouvellement des globules rouges (Viatte et Vaulont, 2005). Elles favorisent aussi la baisse de la température corporelle, qui entraîne un risque accru d'infection (Marion, 2003).

Les vitamines sont des substances organiques indispensables à la vie et requises en faibles quantités. Elles sont nécessaires à la croissance, à la reproduction et au bon fonctionnement de l'organisme en général. Les vitamines ne pouvant pas être synthétisées par notre organisme, elles doivent donc lui être fournies. Une alimentation saine et équilibrée permet de couvrir tous nos besoins et d'éviter les carences. Des carences en vitamines peuvent à plus ou moins long terme entraîner des perturbations dans l'organisme (Serraj *et al*., 2007). Les besoins en vitamines sont différents d'un individu à l'autre: ils sont fonction de l'activité, du mode de vie, de l'alimentation et de la santé (Serraj *et al*., 2007). La vitamine C ou l'acide ascorbique se présente sous deux formes isomères L et D mais seul l'isomère L a une activité biologique et existe à l'état naturel. Alors que la figure 2 montre la localisation des zones d'étude, la figure 3 illustre la structure de l'acide L-ascorbique.

Figure 1: **Classification des aliments en trois groupes principaux** (Agbessi Dos-Santos et Damon, 1987)

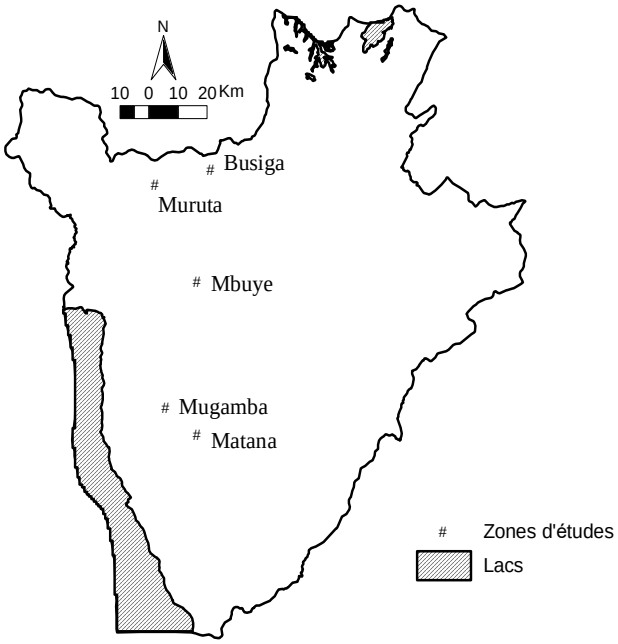


Figure 2. Localisation des zones d'études des plantes comestibles de la flore naturelle du Burundi.

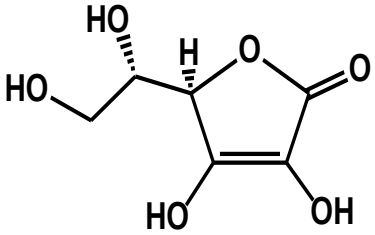


Figure 3: Structure de l'acide L-ascorbique

Avec ses deux atomes de carbone asymétriques et absence de plan de symétrie, l'acide ascorbique se présente sous la forme de deux paires d'énantiomères, diastéréoisomères entre elles. Une paire d'énantiomères est connue sous le nom d'acide ascorbique alors que l'autre est distinguée par le nom d'acide

isoascorbique. La figure 4 montre les structures des deux paires d'énantiomères de l'acide ascorbique: Acide L-ascorbique (vitamine C) (1a); acide D-ascorbique (1b); acide L-isoascorbique (2a); acide D-isoascorbique (2b). Les noms de ces énantiomères selon la règle de l'IUPAC[1] étant :

(2R)-2-[(1S)-1,2-dihydroxyéthyl]-4,5-dihydroxyfuran-3-one (cas de 1a) ; (2S)-2-[(1R)-1,2-dihydroxyéthyl]-4,5-dihydroxyfuran-3-one (cas de 1b); (2S)-2-[(1S)-1,2-dihydroxyéthyl]-4,5-dihydroxyfuran-3-one (cas de 2a); (2R)-2-[(1R)-1,2-dihydroxyéthyl]-4,5-dihydroxyfuran-3-one (cas de 2b)

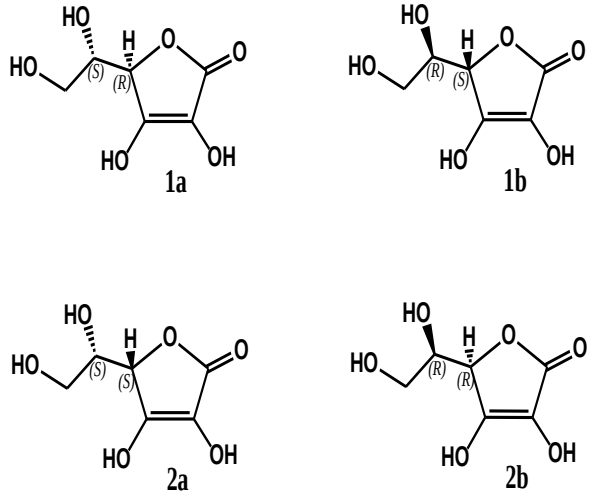


Figure 4. **Les deux paires d'énantiomères de l'acide ascorbique:** Acide L-ascorbique (vitamine C) (1a); acide D-ascorbique (1b); acide L-isoascorbique (2a); acide D-isoascorbique (2b).

La vitamine C a de nombreuses fonctions. A cet effet, Frénot et Vierling (2001) évoquent que la vitamine C: (1) aide certaines enzymes dans la réalisation de leurs fonctions, (2) possède une fonction d'antioxydant, (3) est importante dans la formation du collagène, et (4) augmente la résistance aux infections et aide le corps à absorber le fer. Ces auteurs ajoutent que les industriels l'ajoutent parfois aux produits alimentaires pour protéger certains ingrédients. Les premiers signes de carence en vitamine C sont des saignements des gencives et la rupture de capillaires se trouvant sous la peau, créant des petits points d'hémorragie (Fain, 2004). Une carence plus importante en vitamine C touche le système nerveux et musculaire (Fain, 2004). Ceci peut conduire à une dégénérescence des muscles mais aussi à des douleurs, de l'hystérie et de la dépression (Fain, 2004). D'autres symptômes sont l'anémie, des infections fréquentes, une peau sèche et une mauvaise cicatrisation des plaies (Dillon, 2000).

La vitamine C est la plus fragile des vitamines (Burtis et Bruns, 2007). Elle est soluble dans l'eau, sensible à la chaleur, à la lumière et à l'oxydation (sensibilité à l'oxygène et donc à l'air). La sensibilité à l'air augmente encore à la température élevée, en présence d'enzymes, à la lumière et en présence de métaux: surtout le fer et le cuivre (Burtis et Bruns, 2007). Plus la cuisson des aliments est longue, plus la perte en vitamine est élevée, perte d'environ 30 à 50 % (Frénot et Vierling, 2001). De plus, une cuisson avec de l'eau entraîne plus de pertes qu'une cuisson à la vapeur (Murray *et al*. 1995).

Dans l'organisme, la capacité de stockage de la vitamine C est faible: maximum 20 mg par kg de poids corporel (Burtis et Bruns, 2007). C'est pourquoi un apport quotidien de vitamine C est nécessaire (Frénot et Vierling, 2001). Comparé aux autres vitamines, les besoins en vitamine C sont quantitativement les plus importants (Frénot et Vierling, 2001). Ils sont d'autant plus importants que l'homme ne peut la synthétiser, contrairement à certains autres mammifères (Moussard, 2006). L'apport nutritionnel conseillé en vitamine C varie de 50 à 130 mg en fonction de la catégorie (Frénot et Vierling, 2001). La carence en vitamine C peut résulter de plusieurs facteurs: diminution des apports, diminution de l'absorption, augmentation de l'élimination et augmentation des besoins (Fain, 2004). Cela peut entraîner:

[1]IUPAC : International Union of Pure and Applied Chemistry

- Une carence minime ou hypovitaminose se manifestant par des symptômes tels que fatigabilité, lassitude, somnolence, irritabilité, faible résistance aux infections, petites hémorragies au niveau des capillaires, saignements des gencives, tendance aux ecchymoses, douleurs musculaires, retards de cicatrisation (Fain, 2004). Cette hypovitaminose peut se retrouver chez les fumeurs, les buveurs excessifs, les personnes âgées, les diabétiques, les personnes souffrant de malabsorption chronique et chez les personnes prenant certains traitements médicamenteux (Fain, 2004).

- Une carence totale aboutissant au scorbut. Actuellement, le scorbut peut être considéré comme une maladie rare car il suffit de prendre 10 à 15 mg de vitamine C par jour pour s'en prévenir. Le tableau 2 nous donne les apports journaliers recommandés des éléments étudiés ainsi que leurs sources alimentaires naturelles.

2. MATERIEL ET METHODES

La méthode d'échantillonnage utilisée dans cette étude était basée sur la constitution d'un échantillon représentatif qui tient compte de la dimension spatiale. A cet effet, dans une même zone d'étude, des aliquotes d'échantillons de la partie comestible d'un même type de plante comestible (X) ont été collectées (X_1, X_2, X_3, …X_n) et mélangées. Ce mélange a été séché à l'air ambiant (26°C) jusqu'à l'obtention d'un poids constant (cas de vitamine C) et séché à l'étuve à 105°C jusqu'à l'obtention du poids constant (cas des éléments minéraux) puis a été broyé et soumis à l'échantillonnage secondaire par quartage afin de trouver la quantité dont on avait besoin pour l'analyse chimique (Le Hyaric *et al.*, 2010). L'échantillon destiné au dosage des éléments minéraux a subi une minéralisation acide afin de détruire les composés organiques.

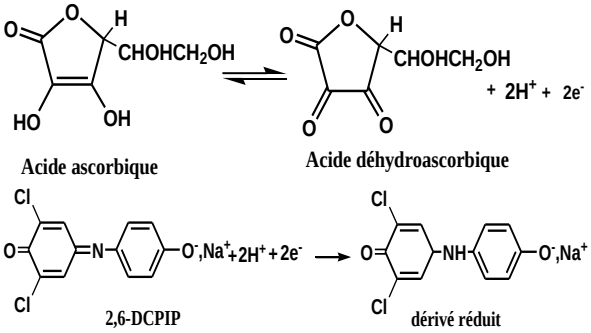
Les méthodes utilisées pour doser les éléments minéraux et la vitamine C sont des méthodes classiques (Coultate, 1993). Les éléments minéraux (Fe, Ca et Mg) ont été dosés par la méthode de spectrométrie d'absorption atomique (S.A.A) (CNTA, 1993). La vitamine C a été dosée par la méthode de titrage volumétrique à dichlorophénol-indophénol (DCPIP) (Multon, 1991 et William& George 2005). Le principe de la méthode consiste à faire oxyder l'acide ascorbique par le dichlorophénol-indophénol en milieu acide. La vitamine C étant très oxydable, on ajoute au préalable un stabilisant, l'acide métaphosphorique, qui ralentit son oxydation à l'air.

Tableau 1. Noms scientifiques et noms vernaculaires des plantes comestibles récoltées dans la flore naturelle de cinq communes du Burundi (Reekmans et Niyongere, 1983, http://mpns.kew.org/mpns-portal).

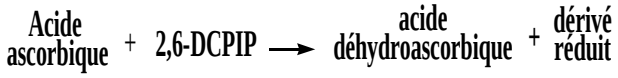
N°	Famille	Nom Scientifique	Nom vernaculaire	Partie consommée	Commune (Année)
1	Asteraceae	*Helianthus tuberosus* L.	Inumpu	Racines (tubercules)	Matana (2001)
2	Balsaminaceae	*Impatiens stuhlmannii* Warb	Intontwe/Ibirurumbwe	Fruits	
3	Passifloraceae	*Passiflora foetida* L.	Itunda	Fruits	
4	Rosaceae	*Rubus fructicosus* L.	Inkere	Fruits	
5	Solanaceae	*Physalis angulata* L.	Intumbaswa /ubuperi	Fruits	
6	Amaranthaceae	*Amaranthus graecizans* L.	Inyabutongo	Feuilles	Mugamba (2002)
7	Aquifoliaceae	*Illex mitis* (L.) Radlk.	Imikarakara	Feuilles	
8	Balsaminaceae	*Impatiens stuhlmannii* Warb.	Intontwe/Ibirurumbwe	Fruits	
9	Moraceae	*Myrianthus holstii* Engl.	Amufe	Fruits	
10	Polygonaceae	*Rumex usambarensis* (Engl.) Dammer	Umufumbegete	Tiges et feuilles	
11	Rosaceae	*Rubus fructicosus* L.	Inkere	Fruits	
12	Solanaceae	*Solanum nigrum* L.	Isogo	Feuilles	
13	Amaranthaceae	*Amaranthus graecizans* L.	Inyabutongo	Feuilles	Busiga (2003)
14	Balsaminaceae	*Impatiens stuhlmannii* Warb.	Intontwe/Ibirurumbwe	Fruits	
15	Dioscoreaceae	*Dioscorea alata* L.	Amatugu	Fruits	
16	Passifloraceae	*Passiflora foetida* L.	Itunda	Fruits	
17	Rosaceae	*Rubus fructicosus* L.	Inkere	Fruits	
18	Solanaceae	*Physalis angulata* L.	Intumbaswa /ubuperi	Fruits	
19	Amaranthaceae	*Amaranthus graecizans* L.	Inyabutongo	Feuilles	Muruta (2005)
20	Basellaceae	*Basella alba* L.	Inderama	Feuilles	
21	Rosaceae	*Rubus fructicosus* L.	Inkere	Fruits	
22	Solanaceae	*Solanum nigrum* L.	Isogo	Feuilles	
23	Solanaceae	*Solanum cyaneopurpureum* Dewild	Indugu	Fruits	
24	Passifloraceae	*Passiflora edulis* Sims	Amabungo	Fruits	Mugamba (2005)
25	Solanaceae	*Physalis peruviana* L.	Intumbaswa	Fruits	
26	Solanaceae	*Cyphomandra betacea* Sendter	Amatunda	Fruits	
27	Solanaceae	*Solanum cyaneopurpureum* Dewild	Indugu	Fruits	
28	Urticaceae	*Urtica massaica* Mildbr.	Igisuru	Feuilles	
29	Cucurbitaceae	*Sechium edule* Jacq.	Igishayoti	Fruits, feuilles et tubercules	Mbuye (2005)
30	Dioscoreaceae	*Dioscorea praehensilis* Benth.	Igihama	Tubercules	
31	Dioscoreaceae	*Dioscorea bulbifera* L.	Itugu	Bulbilles	

Tableau 2: **Apports journaliers recommandés (AJR) des nutriments dosés ainsi que leurs sources alimentaires** (Frénot et Vierling, 2001).

Nutriments	AJR (en mg)	Sources alimentaires
Vit. C	60 – 130	Légumes et fruits en particulier les agrumes
Fe	9 – 14	Jaune d'œuf, abats, foie bœuf, légumes secs (lentilles), persil
Ca	800 – 1200	Produit laitiers, œufs, légumes secs (lentilles), légumes verts (salade)
Mg	300 – 420	Produits à base de céréales complètes, épinards, fruits secs, bananes



Ainsi, la quantification de l'acide ascorbique est basée sur le modèle stoechiométrique décrivant le bilan de réaction ci-dessous:



3. RESULTATS

Les résultats obtenus dans cette étude sont présentés dans le tableau 3 et à la figure 5. La présentation sous forme de diagrammes (Fig 5) a été adoptée dans le but de faciliter l'interprétation de nos résultats. Ils sont exprimés par rapport à leur matière sèche sauf pour la vitamine C.

Tableau 3: **Teneurs en quelques nutriments des plantes comestibles étudiées dans la flore naturelle du Burundi**.

Zone et période d'étude	Plantes Comestibles	Nutriments et teneurs (mg/100g)			
		Vit C	Fe	Ca	Mg
Commune Matana, Juin 2001	*Helianthus tuberosus* L.	0	1,6	11,25	23,3
	Physalis angulata L.	8,1	3,1	9,77	21,75
	Rubus fructicosus L.	7,8	1,7	19,5	35,5
	Impatiens stuhlmannii Warb	26,5	3,8	28,25	36,25
	Passiflora foetida L.	28	0,5	5,5	16,87
Commune Mugamba, Décembre 2002 et Octobre 2005	*Myrianthus holstii* Engl.	19,5	0,88	98,9	39,16
	Impatiens stuhlmannii Warb	22,0	1,38	51,0	15,89
	Rumex usambarensis (Engl.) Dammer	4,9	4,03	82,4	17,36
	Illex mitis (L.) Radlk.	19,2	4,01	82,40	17,36
	Amaranthus graecizans L.	37,0	2,25	26,15	58,83
	Solanum nigrum L.	82,5	4,86	179,25	41,73
	Rubus fructicosus L.	133,9	2,86	38,57	38,05
	Passiflora edulis Sims	69,88	6,31	38,92	92,31
	Physalis peruviana L.	11,56	7,17	16,79	61,13
	Urtica massaïca Mildbr.	15,22	0	32,4	54,9
	Cyphomandra betacea Sendter	42,40	47,47	66,01	131,16
	Solanum cyaneopurpureum Dewild	15,6	0	114,61	83,29
Commune Busiga, Juin 2003	*Amaranthus graecizans* L.		3,39	2,39	1,18
	Dioscorea alata L.		1,86	0,30	0,24
	Passiflora foetida L.		0,04	0,13	0,09
	Physalis angulata L.		1,95	0,26	0,11
	Rubus fructicosus L.		1,24	0,57	0,25
	Solanum cyaneopurpureum Dewild		0,86	0,32	0,15
	Solanum nigrum L.		5,14	2,28	0,69
Commune Mbuye, Mai 2005	*Dioscorea praehensilis* Benth.	1,85	0	6,16	7,23
	Dioscorea bulbifera L.	0,64	0,25	19,55	54,1
	Sechium edule Jacq. (feuilles)	2,43	7,01	123,28	44,34
	Sechium edule Jacq. (fruits)	3,13	3,64	10,6	12,84
	Sechium edule Jacq. (racines)	1,24	1,15	10,08	28,08
Commune Muruta, Mai 2005	*Rubus fructicosus* L.	32,9	3,1	94	42
	Solanum cyaneopurpureum Dewild	19,06	156	100	72,3
	Solanum nigrum L.	37,6	6,1	187	60
	Amaranthus graecizans L.	25, 88	40,8	169	179
	Basella alba L.	42,8	9,1	101,7	77,4

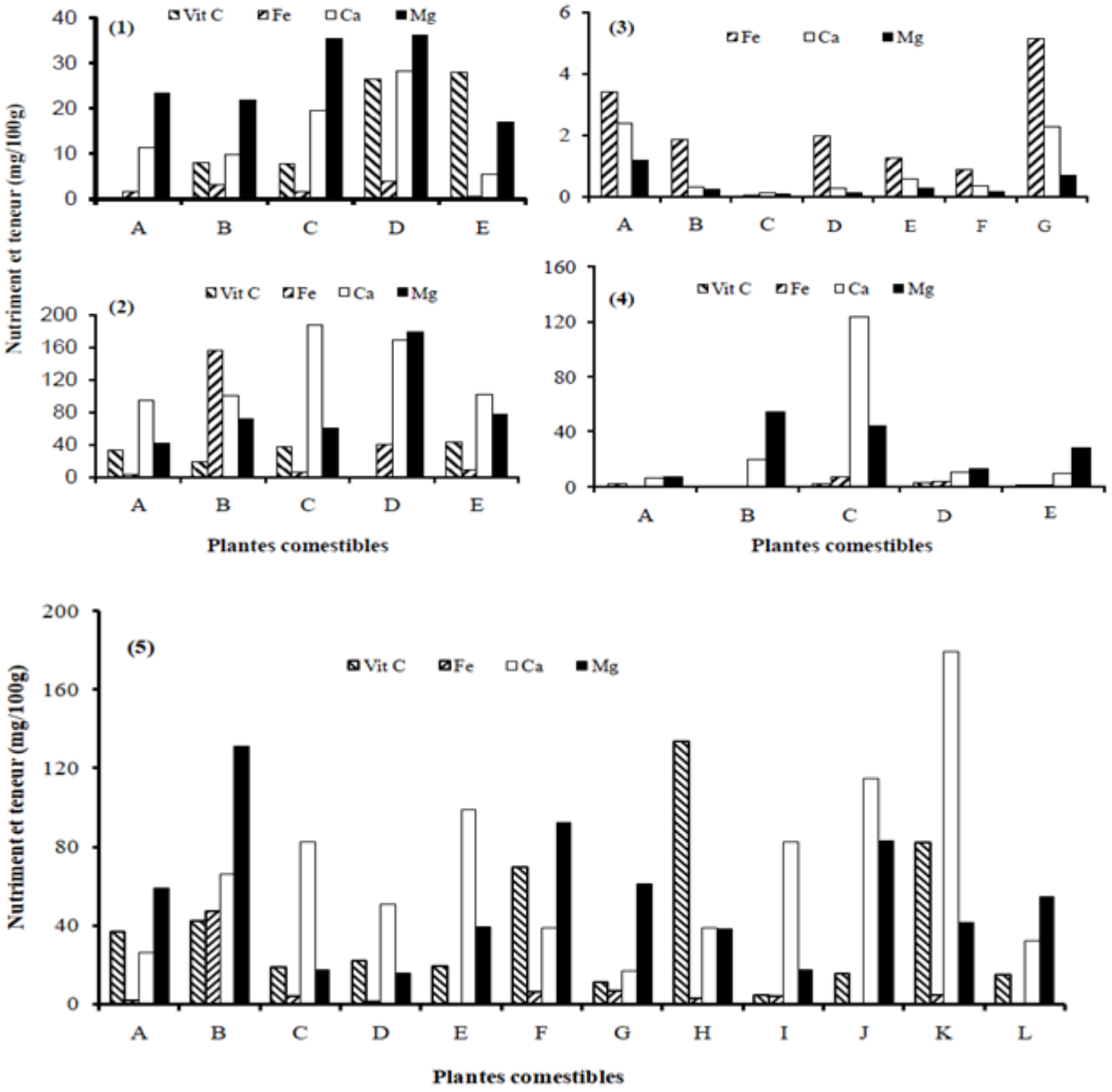


Figure 5: **Teneur (en mg/100g) en nutriments (vitamine C, Fe, Ca, et Mg) dans les échantillons collectés dans les cinq communes**. (1) Matana, A : *Helianthus tuberosus* L.; B : *Physalis angulata* L.; C : *Rubus fructicosus* L.; D : *Impatiens stuhlmannii* Warb *;* E *: Passiflora foetida* L. (2) Muruta, A : *Rubus fructicosus* L.; B : *Solanum cyaneopurpureum* Dewild; C : *Solanum nigrum* L.; D : *Amaranthus graecizans* L.; E : *Basella alba* L..
(3) Busiga, A : *Amaranthus graecizans* L.; B : *Dioscorea alata* L.; C : *Passiflora foetida* L.; D : *Physalis angulata* L.; E: *Rubis fructicosus* L.; F : *Solanum cyaneopurpureum* Dewild; G : *Solanum nigrum* L. (4) Mbuye, A : *Dioscorea praehensilis* Benth.; B : *Dioscorea bulbifera* L.; C : *Sechium edule* Jacq. (feuilles); D: *Sechium edule* Jacq. (fruits); E : *Sechium edule* Jacq. (racines). (5) Mugamba, A : *Amaranthus graecizans* L.; B : *Cyphomandra betacea* Sendter; C : *Illex mitis* (L.) Radlk.; D : *Impatiens stuhlmannii* Warb; E : *Myarianthus holstii* Engl., F : *Passiflora edulis* Sims; G : *Physalis peruviana* L.; H : *Rubus fructicosus* L. ; G : *Rumex usambarensis* (Engl.) Dammer; H : *Solanum cyaneopurpureum* Dewild ; I : *Solanum nigrum* L. ; J : *Urtica massaïca* Mildbr ; K : *Cyphomandra betacea* Sendter ; L : *Solanum cyaneopurpureum* Dewild.

4. DISCUSSION

La discussion est centrée sur les nutriments dosés dans les plantes comestibles de la flore naturelle du Burundi ayant fait l'objet d'étude. Une comparaison de la valeur nutritionnelle de ces dernières avec les apports journaliers recommandés (voir tableau 2) nous permet de conclure si oui ou non elles ont une valeur ajoutée dans le renforcement de la sécurité alimentaire, une fois consommées en association avec d'autres aliments.

Des 20 espèces analysées, *Rubus fructicosus* L. de la commune Mugamba a révélé une teneur plus élevée en vitamine C avec une valeur de 133,9 mg/100g. Les teneurs en vitamine C de *Solanum nigrum* L. (82,5mg/100g) et de *Passiflora edulis* Sims (69,88 mg/100g) récoltés dans la même commune montrent que ces plantes renferment de bonnes quantités en vitamine C. Ces trois plantes *Rubus fructicosus* L., *Solanum nigrum* L. *et Passiflora edulis* Sims si elles poussent dans les conditions (climat, pédologie, etc.) de la flore naturelle de Mugamba, peuvent jouer le rôle de supplément en vitamine C.

Au regard des besoins journaliers en vitamine C qui tourne autour de 20 mg par jour (Derrache, 1977), nos analyses montrent que la consommation régulière de *Rubus fructicosus* L., *Solanum nigrum* L. *et Passiflora edulis* Sims, comblérait les déficits en vitamine C. En plus de ces trois plantes citées précédemment et beaucoup plus riches en vitamine C comparativement aux autres *Impatiens stuhlmannii* Warb récolté dans la commune de Matana; *Myarianthus holstii (Engl.) Dammer*, *Illex mitis* (L.) Radlk., *Amaranthus graecizans* L. et *Cyphomandra betacea* Sendter récoltés dans la commune de Mugamba*; Rubus fructicosus* L., *Solanum nigrum* L. et *Basella alba* L. récoltés dans la commune de Muruta contiennent également des quantités non négligeables en vitamines C.

Au regard des propriétés, pour la vitamine C, évoquées dans l'introduction, la consommation de ces plantes est donc à encourager pour une bonne santé de la population. Le résultat de la vitamine C de *Rubus fructicosus* L. récolté dans la commune Matana semble paradoxal car la même plante récoltée dans d'autres communes, contient des teneurs satisfaisantes. Ce résultat hors normal pourrait être expliqué par une récolte des fruits probablement non encore mûrs.

Comparant nos résultats d'analyse pour le cas des éléments minéraux avec les apports journaliers recommandés, notre constat est que très peu contiennent des quantités suffisantes pour satisfaire les besoins de l'organisme. Toutefois, pour le fer, nos résultats montrent que *Cyphomandra betacea* Sendter récolté dans la commune de Mugamba; *Amaranthus graecizans* L. et *Basella alba* L. récoltés dans la commune de Muruta contiennent des quantités plus élevées que pour les autres plantes (respectivement 47,47; 40,8 et 9,1 mg/100g) et peuvent satisfaire aux besoins de l'organisme étant donné que l'apport journalier recommandé en fer est dans fourchette de 9 – 14 mg/j. Sachant que des conséquences de carence en fer (anémie ferriprive) peuvent être observées au Burundi, nos résultats montrent que la population burundaise du milieu rural souffrant de cette maladie ne peut pas compter sur toutes ces plantes puisque très peu contiennent cet élément en quantité suffisante.

Par rapport au calcium, les plantes comestibles récoltées dans la flore naturelle du Burundi ne peuvent pas être considérées comme des sources alimentaires du calcium étant donné qu'aucune plante ne contient des quantités suffisantes pour recouvrir les besoins de l'organisme. La littérature nous montre que

l'apport journalier recommandé varie entre 800 et 1200 mg/jour; or parmi les plantes analysées, aucune plante n'atteint cette quantité. Le besoin en calcium augmente avec l'âge. En effet, le calcium étant le constituant principal du squelette, sa quantité osseux passe de 30g à la naissance à 400g à l'âge de 10 ans pour atteindre 1kg environ à l'âge adulte (Alais, et *al.*, 2008). Etant donné que le calcium fait partie de minéraux dont les plantes puisent dans le sol, nos résultats nous indiquent aussi que les sols où les plantes ont été récoltées ne sont pas riches en calcium.

Les observations faites sur nos résultats sur le calcium sont aussi valables pour le magnésium. En effet, l'apport journalier recommandé pour le Mg est de 300 à 420 mg. Or, aucune plante parmi les 20 espèces analysées n'atteigne la valeur minimum recommandée. La plante qui contient plus de Mg est *l'Amaranthus graecizans* L. récolté dans la commune de Muruta qui a une teneur de 179 mg/100g. Le fait qu'une même espèce, récoltée dans des endroits différents, ne contient pas la même quantité de Mg s'explique par les différences dans les constitutions des sols en minéraux.

Pour les cas des éléments minéraux analysés autre que le fer, force est de constater que les plantes comestibles analysées ne peuvent pas apporter à elles seules les quantités dont l'organisme a besoin. Par contre elles peuvent être utilisées en association avec d'autres aliments pour assurer les apports quotidiens nécessaires aux différentes fonctions de l'organisme et de compenser les pertes. Par ailleurs, une alimentation équilibrée et variée apporte des quantités en nutriments dont l'organisme a besoin, y compris les minéraux et oligoéléments. De nos résultats, nous constatons que la population burundaise ne pourrait en aucun cas compter uniquement sur ces plantes de la flore naturelle ayant fait l'objet d'étude pour satisfaire le besoin en organisme. Cependant, elles renferment des quantités non négligeables. Leur association avec d'autres aliments contribuerait dans la bonne alimentation particulièrement chez la population du milieu rural de faible niveau de vie.

5. CONCLUSION

L'étude a révélé que la flore naturelle du Burundi est riche en plantes comestibles qui pourraient être consommées en association avec d'autres aliments. Malheureusement, ces plantes ont depuis longtemps été négligées et considérées comme des produits réservés à une catégorie de personnes marginalisées comme les démunis et les bergers. Les éléments nutritifs qui ont fait l'objet d'analyse, à savoir vitamine C, Fe, Ca et Mg, ne sont pas en quantités importantes dans la plupart des plantes étudiées dans les flores naturelles des 5 communes du Burundi. Soulignons cependant que la consommation de certaines plantes comme *Rubus fructicosus* L., *Solanum nigrum* L., *Passiflora edulis* Sims, *Impatiens stuhlmannii* Warb, *Myarianthus holstii* (Engl.) Dammer, *Illex mitis* (L.) *Radlk., Amaranthus graecizans* L.,*Cyphomandra betacea* Sendter et *Basella alba* L., est à encourager car ces dernières contiennent des quantités appréciables en vitamine C.

Les différences des teneurs en minéraux dosés pour une même variété des plantes mettent en évidence que les sols burundais sont différemment riches en ces éléments. Les plantes comestibles de la flore naturelle du Burundi étudiées ne peuvent pas constituer à elles seules une source alimentaire privilégiée en nutriments. Elles pourraient être consommées en association avec d'autres aliments afin de couvrir les besoins de l'organisme. Les plantes étudiées ont été récoltées dans des flores naturelles dont les sols n'ont jamais été amandés.

Les résultats obtenus nous montrent que certaines plantes pourraient contenir des quantités appréciables en minéraux si elles sont domestiquées et cultivées dans des sols amandés. Les sources alimentaires des nutriments devraient donc être diversifiées pour les pays en voie de développement en changeant nos mentalités qui nous limitent dans le choix des aliments et explorant de nouvelles voies telles que les plantes comestibles des flores naturelles. Il faudrait donc que la population burundaise soit informée de cette richesse naturelle pour qu'elle puisse en profiter; mais aussi une carte de ces plantes comestibles devrait être établie et des essais de domestication devrait commencer afin de vulgariser et d'exploiter cette richesse des plantes comestibles de la flore naturelle du Burundi.

REFERENCES

Agbessi Dos-Santos, H. et Damon, M., 1987. *Manuel de nutrition africaine*. Institut Panafricain pour le développement- ACCT-KARTHALA, Douala, 311p.

Alais C., Lenden G., et MicloL., 2008. *Biochimie alimentaire*. 6ème édition de l'abrégé. Dunod, Paris, 260p.

Blanchard A., Poussou R., Houillier P., 2009. Exploration des fonctions tubulaires rénales. *Néphrologie & Thérapeutique*, 8, 482-491.

Burtis C. et Bruns D., 2007. *Tietz Fundamentals of Clinical Chemistry*, 6th Edition. Saunders. 976p.

Carles, J. , 1974. *L'alimentation des plantes*. Presses Universitaires de France, Paris, 123 p

Ciat, 1989. *Diversité génétique dans le genre phaseolus*. Cahier d'étude, 2ème édition, Kali, Colombie, 51p.

CNTA, 1993. *Guide des méthodes d'analyse*. 2è édition, Bujumbura, 44p.

Coultate T.P., 1993. *Food. The chemistry of its components*. Second Edition, Royal Society of Chemistry. 325 p.

Derreche R, 1977. *Physiologie et biochimie de la nutrition*. Doin éditeur, Paris, 267p.

Dillon J.C., 2000. Prévention de la carence en fer et des anémies ferriprives en milieu tropical. *Médecine tropicale*, 60, 83-91.

Fain O., 2004. Carences en vitamine C. *Revue de médecine interne*, 25, 872-880.

FAO, 2002. *Agriculture, alimentation en Afrique*, FAO, Rome, 411p.

Frénot M. et Vierling E., 2001. *Biochimie des aliments. Diététique du sujet bien portant*. 2ème Edition. Biosciences et Techniques. Doin. 297 p.

Hicintuka C. et Mulungula Masilya P., 2013. Gestion optimale et intégrée de la fertilité des sols acides du Burundi. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Hors-série 17; DOI : 10.4000/vertigo.13898.

Kouyaté A, Van Damme P., De Meulenaer B. et Diawara H., 2009. Contribution des produits de cueillette dans l'alimentation humaine: Cas de *Detarium microcarpum*. *Afrika focus*, 22, 77-88.

Le Hyaric R., Naquin P. et Barillon B., 2010. Caractérisation des refus de dégrillage de la station d'épuration de Givors (Région Rhône-Alpes) : mise en œuvre d'un plan d'échantillonnage et présentation des résultats. Techniques Sciences Méthodes, 3, 36-45.

Marmouch H., Lassoued N., Chermiti S. et Bayer I., 2018. Hypomagnésémie à l'origine de l'hypocalcémie réfractaire. Annales d'Endocrinologie, 79, 420.
Marion K., 2003. Nutrition consciente, les aliments au cœur de votre santé. Editions Grancher, France, 283p.

Masson O., 2007. Biochimie. Bases Biochimiques de la diététique. 2ème édition, Tec&Doc, Lavoisier. 330p.

Moussard C., 2006. Biochimie structurale et métabolique. 3ème édition, Editions de Boeck Université, 352p.

Multon J.-L., 1991. Techniques d'analyse et de contrôle dans les industries agro-alimentaires. Analyse des constituants alimentaires. 2ème édition entièrement revue. Collection Sciences et Technologies agro-alimentaires. Paris, 450p.

Murray R.K., Granner D, K., Mayers P.A. et Rodewell V.W., 1995. Précis de Biochimie de Harper, Traduction de la 23ème édition américaine par Lise Nicole De Boeck université, les presses de l'université Lavale, Québec, 919p .

OMS, 1990 : Régime alimentaire, Nutrition et prévention des maladies chroniques, série de rapports techniques, Genève, 96p.
PNUD, FEM et Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, 2000. Stratégie nationale et plan d'action en matière de la diversité biologie. Bujumbura, 129p.

Reekmans M. et Niyongere L., 1983. Lexique vernaculaire des plantes vasculaire du Burundi. Travaux de la Faculté des Sciences de l'Université du Burundi, Université du Burundi, 56p.

Serraj K., Federici L., Ciobanu E. et Andrès E., 2007. Les carences vitaminiques : du symptôme au traitement. Médecine thérapeutique, 13, 411-420.

Viatte L. et Vaulont S., 2005. L'hepcidine : un nouveau regard sur le métabolisme du fer. Hépato-Gastro & Oncologie Digestive, 12, 199-209.

Weber M, Ayoubi J.M. et Picone O., 2015. Nutrition de la femme enceinte : conséquences sur la croissance fœtale et le développement de maladies à l'âge adulte. Archives de Pédiatrie, 22, 116-118.

William H. & George W.L., 2005. Official Methods of Analysis of AOAC International. 18th Edition, 1284p.
http://mpns.kew.org/mpns-portal

Bull. sci. environ. biodivers. 3: 45-53

ARTICLE DE RECHERCHE

ISSN 2519-0113 (Imprimé)

Bulletin scientifique sur l'environnement et la biodiversité

ISSN 2519-0121 (En ligne)

Fabrication des briquettes combustibles à base des déchets solides ménagers et de bouse de vache.

Sinzinkayo Elie[1] & Ndikumana Edouard[1]
[1] **Ecole Normale Supérieure (ENS), Département des Sciences Appliquées**
Boulevard du 28 Novembre, B.P. 6983 Bujumbura-Burundi

Auteur correspondant: Sinzinkayo Elie, **E-mail**: sinzielie@gmail.com

Reçu: 30/10/2018 *Accepté: 15/5/2019* *Publié: 29/5/2019*

RESUME:

Mots clés: Déchets solides ménagers- bouse de vache-fabrication-briquettes combustibles.

L'accès à l'énergie de cuisson est devenu un défi majeur pour de nombreux ménages dans les pays en développement. Cela est particulièrement vrai au Burundi où la majorité des ménages dépendent du bois de chauffage et du charbon de bois pour la cuisine. Les déchets putrescibles des décharges peuvent constituer une source potentielle d'énergie de cuisson qui n'a pas encore été explorée.

La présente étude porte sur l'utilisation de briquettes organiques comme substitut du bois de chauffage et du charbon de bois. Les briquettes sont fabriquées à partir de déchets organiques collectées et triées de la décharge de Buterere.

Des tests de combustion et de résistance aux sollicitations de manutention et de transport ont été réalisés sur les briquettes produites pour vérifier les propriétés de combustible. Leur pouvoir calorifique inférieur est de 13,3 MJ/kg et celui supérieur de 16,6 MJ/kg. Le taux de cendre est de 17,4% et le temps de consumation de deux heures.

L'utilisation des briquettes contribuera à la réduction des déchets solides ménagers et de la pollution de l'atmosphère. Cette technique pourra non seulement alléger la pauvreté dans les familles, mais également elle limitera finalement la déforestation en réduisant la recherche de bois de chauffage.

ABSTRACT

***KEYWORDS*:** Household solid waste - cow dung - manufacture - combustible briquettes.

Access to cooking energy has become a major challenge in many households in developing countries. This is particularly true in Burundi where the majority of households depends on firewood and charcoal for cooking. The putrescible wastes of the dumps may constitute a potential source of cooking energy which is not yet explored.

The present study explored the use of organic briquettes as a substitute of firewood and charcoal. The briquettes are made from organic waste materials collected and sorted from the Buterere the landfill.

Combustion tests and resistance to handling and transport stress were performed on the produced briquettes to validate the fuel properties. Their lower calorific value is 13.3 MJ / kg and the higher one of 16.6 MJ / kg; the ash rate is 17.441% and the burning time is two hours.

The use of briquettes will contribute to the reduction of household solid wastes and the atmospheric, alleviate poverty in families and finally will limit deforestation by reducing the search for firewood.

1. INTRODUCTION

L'accès à l'énergie de cuisson est un défi majeur pour les populations urbaines des pays pauvres en général, et de la ville de Bujumbura en particulier. L'énergie électrique n'est pas suffisante pour le domaine industriel et domestique. Les combustibles utilisés couramment dans les ménages de Bujumbura sont le charbon de bois et le bois de feu. Quelques essais de bio-charbon innovés au Burundi par quelques entreprises privées et projets de coopération, et réalisés à base des résidus agricoles et végétaux, contribuent à la réduction des dépenses familiales (Dusabe, 2014 ; Tini, 2003).

En effet, les décharges des déchets solides ménagers constituent une potentialité d'énergie de cuisson. A cet effet, la valorisation des ordures solides ménagères en la fabrication des briquettes combustibles peut être inéluctablement une stratégie de substitution des combustibles usuels. Elle peut constituer dans cet élan, l'un des moyens efficaces de gestion des dépotoirs, de réduction de la déforestation et de la sauvegarde de l'environnement **(**Cissé, 2012**).** Les briquettes de forme carrée/rectangulaire proposées dans cet article, sont produites à base des broyats de peaux de banane, pelures de mangue, épluchures de pomme de terre, écorces de manioc et des coques d'arachides, ainsi que de la bouse de vache prise comme liant.

Le présent article décrit le matériel utilisé et présente la démarche expérimentale de fabrication des briquettes combustibles ainsi que les résultats des tests effectués.

Les résultats des tests de combustion et d'évaluation de comportement aux sollicitations de manutention et de transport ont montré que les briquettes fabriquées obéissent aux propriétés de combustible. Elles sont compactes et ont le pouvoir calorifique inférieur de 13,3 MJ/kg. La seule contrainte est la fumée libérée et le dépôt de suie sur la marmite.

2. METHODOLOGIE

Pour parvenir à la fabrication et l'obtention de briquettes combustibles, on a recouru à deux étapes principales : le procédé de fabrication et les tests des propriétés de briquettes (INGESAHEL, 1998).

2.1. Démarche expérimentale de fabrication des briquettes combustibles

Le processus de fabrication des briquettes combustibles par pressage se subdivise en trois grandes étapes : le choix des matières premières, le briquetage et les tests des propriétés (Tini, 2003).

Le choix des composants des briquettes combustibles proposées est fait suivant la nature physique (solide) et la quantité des déchets putrescibles de la décharge de Buterere (Hafidi, 2015). Ainsi, les déchets considérés sont : les peaux de banane, pelures de mangue, épluchures de pomme de terre, écorces de manioc et les coques d'arachide car on les rencontre souvent dans les repas journaliers des ménages et restaurants. La bouse de vache a été ajoutée comme adjuvant/liant (Christophe, 2016) pour la nécessité d'agglomération de ces composants broyés.

Le tout est additionné d'un volume de 1 litre d'eau pour obtenir le mélange pâteux.

La briquette est composée d'un mélange de déchets ménagers dans les proportions d'une même masse de 100 g pour chaque substance, y compris le liant. Les essais réalisés se trouvent récapitulés dans le tableau ci-dessous.

Tableau I : Composition physicochimique des briquettes produites

Désignation	**Essai 1**	**Essai 2**
	Masse (g)	**Masse (g)**
Peaux de banane	100	100
Pelures de mangue	100	100
Epluchures de pomme de terre	100	100
Coques d'arachide	100	100
Ecorces de manioc	100	100
Bouse de vache	100	100
Eau (1litre)	-	-

2.2. Matériel et description pour le briquetage

Le briquetage est l'étape cruciale dans la fabrication des briquettes combustibles produites. Il comprend d'abord les étapes de malaxage des broyats, ensuite du pressage et de l'extrusion et, enfin, du séchage du produit final (Dusabe, 2014).

Le malaxage consiste à mélanger les matières premières broyées et ajoutées d'eau afin qu'elles deviennent une pâte malléable. Le pressage permet le compactage du mélange et l'éjection d'une partie d'eau qu'il contient. Le produit obtenu est ensuite extrudé du moule de forme carrée/rectangulaire lubrifié à l'huile. Enfin, il est séché à l'air libre pendant trois à quatre jours sous un hangar et dans l'étuve régulée à 105°C et cela durant 12h.

Les tests des propriétés sur les briquettes sorties du séchage sont réalisés dans le but d'évaluer les propriétés de combustibilité et de la résistance aux sollicitations de manutention et de transport (test de chute).

2.2.1. Moule

Pour atteindre l'objectif visé, on a utilisé divers équipements. Lors du briquetage, on a recouru au mortier/pilon pour obtenir des broyats de fine granulométrie, au malaxeur « Motor mixer » des broyats, au moule, à la presse mécanique à commande électronique et à l'étuve calorimétrique pour le séchage des briquettes extrudées du moule.

On a fait recours à deux types de moules fabriqués en bois et en acier.

Ils ont la forme carrée et rectangulaire avec des dimensions adaptées au fourneau à utiliser. Le piston sert au pressage et à l'extrusion des briquettes.

2.2.2. Presse électronique

La presse électronique RP 2000 QC est dédiée spécifiquement au compactage des broyats pour la réduction du volume et la densification. Les broyats, de par leur poids et leurs dimensions limitées, se manipulent facilement grâce à la commande électronique du piston après avoir fixé la charge à appliquer. Le piston pousse la matière dans un cylindre qui freine la progression de la matière. Ce frein provoque le frottement de cette matière sur les parois du tube et permet son compactage. L'extrusion de la briquette se fait manuellement par l'ouverture de la porte de la presse.

a) Tableau II : Caractéristiques de la presse électronique

Désignation	**Module**
Type	RP 2000 QC
Capacité	3000kN
Alimentation électrique	Monophasé, 230V, 50Hz, 750W.
Surface du piston	490,87 cm^2
Diamètre rotule	110 mm
Rad. rotule	154 mm
Pression max	611,38 bars
Energie élastique	2202 Joules
Température d'utilisation	5-50 °C
Huile Tillus Oil	T 46
Poids	960 kg

2.2.3. Etuve de séchage

L'étuve utilisée est de type CONTROLAB D1406/V.2/R01. Son thermostat est réglable de 25°C à environ 200°C avec une régulation à $\pm$ 2°C près. Le séchage se fait par convection. Le brassage interne de l'air se fait naturellement et assure un transfert de chaleur thermique et une bonne homogénéité de température. Elle dispose de trois niveaux de claies en grilles inoxydables pour le processus thermique des substances. Le

tableau III ci-après récapitule les caractéristiques de l'étuve.

Tableau III : Spécifications techniques de l'étuve

Désignation	**Module**
Capacité	100 litres
Capacité	3000kN
Alimentation électrique	Monophasé, 230V, 50Hz, 1200W.
Dimensions (intérieures)	400*420*600 cm
Dimensions (extérieures)	640*515*805 cm
Poids	40 kg

2.3. Matériel pour les tests des propriétés sur les briquettes.

Le matériel pour les tests des propriétés sur les briquettes est essentiellement le foyer/fourneau et la bombe calorimétrique. Le fourneau est utilisé pour connaître les propriétés de combustion et la bombe calorimétrique pour le pouvoir calorifique supérieur et inférieur c'est-à-dire la qualité de combustible produit.

2.3.1. Fourneau/Foyer

Le fourneau utilisé est en acier dur et couramment utilisé dans les ménages urbains. Il est subdivisé en deux parties.

Le fond est cylindrique avec une ouverture de ventilation. La partie supérieure est aussi cylindrique mais munie des trous pour l'extraction de cendres lors de la combustion des briquettes.

2.3.2. Bombe calorimétrique

La mesure des Pouvoirs Calorifiques Supérieurs (PCS) et Inférieurs (PCI) des briquettes combustibles est réalisée dans une bombe calorimétrique d'une capacité de 250 à 350 ml plongée dans un vase calorimétrique lui-même inclus dans une jaquette isolante.
L'échantillon est placé dans une coupelle de 25 mm de diamètre et d'une hauteur de 14 à 19mm.

La combustion est déclenchée électriquement généralement par un fil de tungstène. Elle a lieu en présence d'oxygène.

2.3.3. Hangar

Le hangar a été utilisé pour le séchage des composants dans le but de faciliter le broyage et l'agglomération des briquettes. Ce hangar est aéré et mis à l'abri de la pluie.

3. RESULTATS

3.1. Caractéristiques physiques de briquettes

Les dimensions des briquettes sont adaptées à la forme du foyer domestique couramment utilisé. Elles permettent une manipulation facile.

Tableau IV : Caractéristiques physiques de briquettes

Forme	**Rectangulaire**	**Carré**
Dimensions (en mm)	L : 150	C : 100
	l : 50	
	E : 25	E : 20
Masse (kg) (à l'état sec)	0,118	0,115

Avec L : Longueur, l : Largeur, E : Epaisseur et C : Côté

3.2. Caractéristiques mécaniques des briquettes

Lors de l'opération du pressage des briquettes dans le moule, l'intervalle de manœuvre du compactage des briquettes a été fixé en tenant compte de la force de scission du moule.
La résistance à la compression des briquettes a été

effectuée en fonction de leur masse et de la charge appliquée (Myriam, 1994). La charge varie de 3,5 kN à 8,5 kN à défaut de l'abîmer.

Les résultats sont dressés dans les tableaux V et VI en fonction des formes géométriques de briquettes.

a) Briquettes de forme carrée

Tableau V : Résistance à la compression

Désignation	**B_1**	**B_2**	**B_3**	**B_4**	**moyenne**
Surface briquette (cm^2)	100	100	100	100	100
Charge de pression (kN)	3,7	4,2	5,1	8,1	5,27
Résistance compression (MPa)	0,37	0,42	0,51	0,81	0,52

b) Briquettes de forme rectangulaire

Tableau VI : Résistance à la compression

Désignation	**B_1**	**B_2**	**B_3**	**B_4**	**moyenne**
S briquettes (cm^2)	75	75	75	75	75
Charge de pression (kN)	3,7	4,2	5,1	8,1	5,27
R compression (MPa)	0,49	0.56	0,68	1,08	0,70

Avec S : surface et R : résistance

De cet effet, la briquette est produite avec une force moyenne de compaction de 5,27kN quelle que soit la configuration géométrique (carrée ou rectangulaire) et selon l'adaptabilité du fourneau domestique usuel. La briquette extrudée du moule est compacte avec une résistance mécanique moyenne qui varie entre 6 à 9,9MPa.

3.3. Taux d'humidité des briquettes

Les tests relatifs au taux d'humidité des briquettes extrudées du moule sont le séchage à l'air libre dans un hangar et dans l'étuve calorimétrique.

Les résultats du test de séchage sont récapitulés dans le tableau VII.

Tableau VII : Résultats du séchage de briquettes

	D (cm)	M_h(kg)	M_s(kg)		T_h (%)
			A l'air libre	Dans l'étuve	
B1	10x10	0,23	0,23	0,11	50,86
B2	10x10	0,24	0,24	0,12	51,64
B3	10x10	0,23	0,23	0,11	51,72
B4	10x10	0,22	0,22	0,11	50
Moy		0,23		0,12	51,08

Avec B : Briquette ; D : Dimensions en cm ; M_h : Masse à l'état humide (kg) ; M_s : Masse à l'état sec (kg) ; T_h : Taux d'humidité (%) et Moy : Moyenne

Le séchage des briquettes extrudées du moule est effectué respectivement dans un hangar pendant 24heures et dans l'étuve calorimétrique régulée à 105°C également pendant 12 heures. Cela est fait pour diminuer la teneur en eau. D'où, le profil du taux d'humidité a une allure représentée sur le graphique suivant (figure 1).

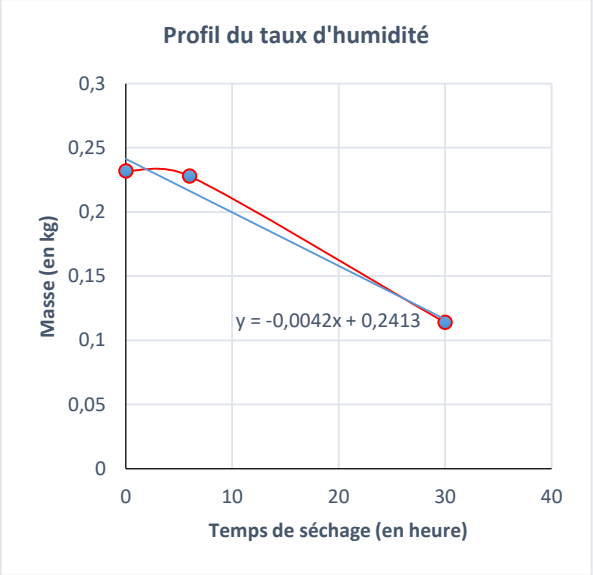


Figure 1 : Profil du taux d'humidité de briquettes combustibles

Le taux d'humidité diminue progressivement avec la durée de séchage et de surcroît la masse de la briquette en dépend. Son allure a une droite décroissante.

3.4. Résistance aux sollicitations de manutention et de transport

La résistance aux sollicitations et aux chocs de manutention et de transport est évaluée par le test de chute ou par la contrainte de rupture (Fig 2). Le test de chute d'une hauteur d'un mètre a été choisi et la masse des briquettes produites est de l'ordre de 118 g.

Figure 2. Etat de la briquette après la chute libre

Après les essais de chute libre de l'échantillon de briquettes sur leurs différentes facettes, aucune briquette ne s'est cassée, ni brisée et n'a présenté de fissures.

3.5. Caractéristiques thermiques et chimiques

Lors du test sur la combustion, on a chauffé un litre d'eau dans une marmite ouverte avec une masse de 0,344 kg de briquettes combustibles jusqu'à l'ébullition. Les caractéristiques obtenues de combustion sont récapitulées dans le tableau VIII.

Tableau VIII : Caractéristiques thermiques des briquettes

Paramètres	**Briquette (20% de liant)**
Temps d'inflammabilité (en minute)	10
Temps d'ébullition (en minute)	48
Temps de consumation (en minute)	120
Pouvoir calorifique inférieur (MJ/kg)	13,3
Pouvoir calorifique supérieur (MJ/kg)	16.6

Après le chauffage, on a laissé les briquettes se consumer afin de déterminer par calcul le taux de cendres et le taux d'humidité (Sawerysyn, 1993). Ainsi le tableau IX donne les valeurs chiffrées.

Tableau IX : Caractéristiques chimiques des briquettes

Paramètres	**Briquette (20% de liant)**
Taux d'humidité en %	51,08
Taux de cendres en %	17,44
Fumée	Oui
Odeur	pas
Dépôt de suie	oui

Pour vérifier la fiabilité des résultats, on a comparé le temps d'ébullition de l'eau en prenant la même masse de briquettes combustibles et du charbon de

bois selon la méthode de Racicot et Deboux (2011). Le relevé des températures de l'eau a été effectué à raison de deux minutes d'intervalle (Fig. 3).

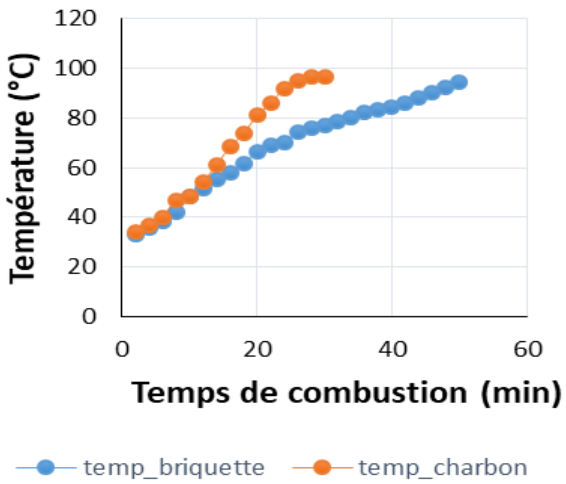


Figure 3. Evolution de température de l'eau lors de la cuisson avec des briquettes et du charbon de bois.

Les deux courbes montrent qu'au fur et à mesure que la température augmente, les combustibles (charbon et briquettes) se consument progressivement. Sous l'effet du charbon de bois de 0,34 kg, l'eau bouillit à 30 minutes tandis que pour la même masse de briquettes, l'eau atteint sa température d'ébullition à 50 minutes.

4. DISCUSSION

Les briquettes combustibles sont fabriquées à partir de différents déchets agricoles, industriels et ménagers. Elles sont obtenues par plusieurs procédés : la pyrolyse ou la carbonisation, le pressage ou la compression/compactage. Toutes ces briquettes doivent présenter des propriétés de combustible.
La présente briquette est le résultat du pressage des déchets solides ménagers avec la bouse de vache comme liant. Elle a les propriétés physique, thermique et mécanique comparables à celles du charbon de bois.
La briquette a une masse moyenne 0,12kg avec une résistance moyenne à la compression de 0,52MPa sous une force constante de 5,27kN appliquée avec une vitesse régulière de 0,002mm/s. Elle est solide car après qu'elle est laissée tomber d'un mètre sous son poids, la briquette est exempte de fissures.
Sous un séchage dans l'étuve ou dans un hangar, la briquette perd progressivement l'eau de 0,23 à 0,11kg pendant 12heures. Elle est séchée pour favoriser l'agglomération et avoir des propriétés d'un combustible.

Les essais thermiques et chimiques effectués sur les briquettes montrent effectivement qu'elle détient les caractéristiques d'un combustible. Elle a notamment le pouvoir calorifique supérieur égal à 16,6MJ/kg et le pouvoir calorifique inférieur de 13,3MJ/kg. Ces résultats sont très satisfaisants dans la mesure où le pouvoir calorifique du bio-charbon à base de sciures d'épicéa est 19MJ/kg et celui du charbon de bois est 27,5MJ/kg **(**Sawerysyn, 1993 ; Millo, 2011).

De plus, au regard des résultats des briquettes faites des déchets de papier et carton, le pouvoir calorifique inférieur du combustible obtenu est de 15,3kJ/kg (Mathieu, 2014) tandis que celui de la briquette de balles de riz est de 16 ,9MJ/kg (Lamoussa, 2012).

Par rapport aux avantages, le charbon de bois présente moins de cendres et fumée et l'allumage est plus facile. Pour se substituer au bois ou au charbon de bois, la briquette proposée possède les principales caractéristiques suivantes : facilité d'allumage et fractionnement aisé, maintien du feu, forme et dimensions pratiques, cohésion et propreté. Elles ne se délitent pas au stockage ou durant le transport.

Lors de la combustion d'une part, la briquette brûle lentement avec un éclat vif sans flamme. Son temps d'ébullition est de 48 minutes, tandis que celui du charbon de bois est 30 minutes et celui de balles de riz est 38 minutes pour une consommation de 1330g.

D'autres parts, les briquettes comparables sont fabriquées à partir des rejets tels que les papiers/cartons, la balle du riz, la bagasse, etc. Toutes ces briquettes souscrivent aux caractéristiques de combustible comme le bois de chauffage et du charbon de bois.

5. CONCLUSION

Au terme de cette recherche intitulée « **Fabrication des briquettes combustibles à base de déchets solides ménagers et de bouse de vache** », le travail réalisé se rapporte à la

conception et la réalisation de briquettes combustibles. L'idée est motivée par le besoin en énergie de cuisson dans les ménages pour substituer les combustibles qui existent sur le marché.

Les briquettes proposées sont à base des matières organiques (peaux de banane et pelures de mangue, écorces de pomme de terre et de manioc, ainsi que les coques d'arachide) et de la bouse de vache prise comme adjuvant. Elles sont produites successivement par pressage des broyats et séchage à l'air libre ou à l'étuve calorimétrique (régulée à 105°C).
Les résultats obtenus au cours des essais sur les briquettes montrent qu'elles se révèlent un combustible fiable et performant.
A titre indicatif, la briquette présente les caractéristiques principales suivantes : le pouvoir calorifique supérieur est de 16,6 MJ/kg, le pouvoir calorifique inférieur est de 13,3 MJ/kg, le taux de cendres est de 17,5%, le temps d'inflammabilité de 10 minutes.

En plus, les briquettes résistent aux sollicitations de manutention et de transport. Elles n'ont présenté aucune fissure lors du test de chute d'un mètre.

Les briquettes combustibles proposées pourront substituer le bois de feu et du charbon de bois comme énergie de cuisson, diminuer le volume des déchets dans les décharges et contribuer à la réduction de la déforestation.

La seule contrainte des briquettes est la libération de fumée lors du test de cuisson et de dépôt de suie sur la marmite.

6. BIBLIOGRAPHIE

Christophe J. D., 2016.- La bouse : historique, importance et écosystème. Thèse de doctorat, ENV de Toulouse, 82p.

Dusabe M. S., 2014.- Etude de faisabilité technique et financière de la valorisation des déchets ménagers organiques, papiers et cartons par la fabrication des briquettes combustibles à Bujumbura, Burundi. Mémoire, Institut International d'Ingénierie de Ouagadougou 01, Burkina FASO, 31p.

Ingesahel, 1998.- Etude de faisabilité d'une valorisation des résidus agricoles et agro-industriels comme combustibles domestiques au Sénégal. Rapport de synthèse sur le Projet Sénégalo-Allemand, Dakar, p.28.

Lamoussa K., 2012.- Fabrication manuelle des briquettes de balles de riz et évaluation des performances du foyer amélioré. Mémoire, Université Polytechnique de BOBO-Dioulasso, Institut du développement rural, 85p.

Manirakiza N., 2016.- Etude comparative des briquettes combustibles à base des déchets municipaux produits par différents procédés. Mémoire, Université du Burundi, Faculté des sciences, 63p.

Mathieu B., 2014.- Les combustibles obtenus à partir des déchets d'origine naturelle en Afrique et dans les Caraïbes, Plateforme Re-Sources, Ouagadougou, 16p.

Millo J.-L.**,** 2011.- Déchets, techniques et réglementation, Pouvoirs dans la Caraïbe, 529, p.281-289. [En ligne], 11 | 1999, mis en ligne le 08 mars 2011, consulté le 24 juin 2016. Dakar.

Mohamed Hafidi, 2015.- Impact et la gestion des déchets solides. Support pédagogique pour la formation des élus de la région de Marrakech-Safi. Konrad-Adenauer-Stiftung E.V., Bureau du Maroc, 104p.

Myriam O., 1994.- Le matériau terre : compactage, comportement, application aux structures en blocs de terre. Thèse de Doctorat, INSA Lyon, N° d'ordre 94 ISAL 0004.

Oumar C., 2012.- Les décharges d'ordures en Afrique *:* Mbeubeuss à Dakar au Sénégal. Karthala et IAGU. Thèse de doctorat, Université Cheikh Anta Diop, Génie des procédés et environnement, 329p.

Racicot A. et Deboux P., 2011.- Durabilité de combustible de substitution au bois énergie en HAITI – Filières renouvelables pour la cuisson des aliments. Mémoire, Université de Sherbrooke, Québec, Canada, 106p.

Sawerysyn J.P., 1993.- Les pouvoirs calorifiques. Mémoire, Université des sciences et Technologies

de Lille, 411p.

Tini A., 2003**.-** La gestion des déchets solides ménagers à Niamey au Niger *:* Essai pour une stratégie de gestion durable. Thèse de doctorat. INSA de Lyon, 302p.

Bull. sci. environ. biodivers. 3: 54-66

ISSN 2519-0113 (Imprimé)

Bulletin scientifique sur l'environnement et la biodiversité

ISSN 2519-0121 (En ligne)

ARTICLE DE RECHERCHE

Usages des plantes d'intérêt socio-économique au sein des communautés Mahi et Nago de la Commune de Savalou au Bénin

GBESSO Gbodja Houéhanou François[1&2*], OSSENI Abdel Aziz[1], AJAVON Ayi Yves Césaire[2], TENTE Brice[2]

[1] Ecole d'Horticulture et d'Aménagement des Espaces Verts (EHAEV), Université Nationale d'Agriculture (UNA), BP 43 Kétou, Bénin

[2] Laboratoire de Biogéographie et d'Expertise Environnementale, Faculté des Sciences Humaines et Sociales, Université d'Abomey-Calavi. BP : 677 Abomey-Calavi, Bénin.

[*]***Auteur de correspondance*** **:** GBESSO François, Courriel: fr.gbesso@gmail.com

Reçu: *le 27 Février 2019* Accepté: *le 29 Mai 2019* Publié: *le 05 Juillet 2019*

RESUME:

Mots clés : Ethnobotanique, plante utile, valeur d'usage, Savalou, Bénin

La présente étude est réalisée sur les plantes utiles exploitées par les ethnies Mahi et Nago dans la commune de Savalou au Bénin. Les enquêtes ethnobotaniques ont été réalisées sur un échantillon de 199 ménages. Elles ont été suivies de l'identification des espèces en milieu naturel. Au total, 107 espèces réparties en 42 familles ont été recensées. Ces espèces sont utilisées dans 4 domaines à savoir médicinal, alimentaire, énergétique et artisanal. Le calcul des valeurs d'usages montre d'une part que les espèces sont moyennement utilisées en bois de service et alimentaire et d'autre part fortement utilisées en bois d'œuvre, bois d'énergie et médicinale par les ethnies. Il n'y a pas de différence significative de l'importance accordée aux espèces dans les catégories d'usage par ethnie. Mais il a été noté une différence significative d'utilisation artisanale par sexe et en bois de service et bois d'énergie par âge. Cette étude constitue une base scientifique des espèces d'intérêt et va permettre de définir des actions afin d'améliorer leur disponibilité et contribuer à leur conservation durable.

ABSTRACT

Key words*:* Ethnobotany, useful plant, use value, Savalou, Benin

The current study is carried out on the useful plants exploited by the Mahi and the Nago ethnic groups in the commune of Savalou in Benin. The ethnobotanical surveys were conducted on a sample of 199 households. The surveys are followed by species identification in the natural environment. A total of 107 species from 42 families were identified. These species are commonly used in medicinal, food, energy and artisanal areas. The calculation of the use values showed, on the one hand, that the species are moderately used for artisanal and food preparation purposes, on the other hand, they are heavily used in timber, energy wood and medicinal products by the different ethnic groups. There is no significant difference in the importance given to species in ethnicity-based categories. But it has been noted a significant difference in service wood use by gender, wood service and energy wood by age. This study provides a scientific basis for the species of interest and will help defining actions to improve their availability and contribute to their sustainable preservation.

1. INTRODUCTION

En Afrique, les ressources naturelles présentent, un intérêt socio-économique pour les populations locales en leur permettant de satisfaire leurs besoins fondamentaux et contribuant ainsi à la réduction de la pauvreté et à la sécurité alimentaire (Loubelo, 2012 ; Yelkouni, 2012). Durant des millénaires, la forêt omniprésente a rempli pour l'homme plusieurs fonctions en lui fournissant : le bois énergie, le bois de service, le bois d'œuvre, la nourriture pour lui-même, aux animaux, l'abri pour son logement, le lieu de chasse, de délassement et lieu de temple pour les rites religieux (Bary-Lenger *et al*., 1988). Elles contribuent directement à l'alimentation et jouent un rôle primordial dans l'économie des populations rurales (Nkwatoh, 2000). Les ressources forestières sont exploitées pour leurs propriétés médicinales aussi bien par les populations locales que par les multinationales pharmaceutiques (Cunningham, 2001). Les plantes médicinales demeurent encore une source de soins médicaux dans les pays en voie de développement, en absence d'un système médical moderne (Tabuti *et al.*, 2003). Aujourd'hui, les plantes sont plus sollicitées que jamais par les populations à des fins médicinales suite au coût élevé des produis pharmaceutiques. Ainsi, les populations des villes ont rejoint celles des campagnes dans la recherche des plantes médicinales pour leurs soins de santé primaire (Delvaux et Sinsin, 2002). En effet, 70 à 80 % des africains utilisent les plantes médicinales et consultent les tradipraticiens pour leurs soins de santé primaire (Pei, 2001 ; Aumeeruddy et Pei, 2003). Dans plusieurs pays africains, des études ethnobotaniques avaient été effectuées sur les ressources végétales par des chercheurs tels que : Hseini & Kahouadji, (2007) ; Houessou *et al*. (2012) ; Hadjadj *et al.,* (2015) ; Gbesso *et al.* (2016) ; Fadil *et al*. (2017) ; Kadri *et al.* (2018) ; Badjaré *et al.* (2018). Cette étude s'inscrit dans cette dynamique. Au Bénin, des études ont été faites sur des produits forestiers ligneux par : Chabi (2011) ; Bonou (2008) qui ont étudié les Produits Forestiers Non Ligneux (PFNL) végétaux et d'autres chercheurs ont mené des études sur les Produits Forestiers Ligneux (PFL) végétaux (Fonton *et al.*, 2003). La plupart des travaux portent sur des forêts classées et ou sur une espèce végétale et ne couvrent pas tout le pays. Ils s'intéressent à l'inventaire de quelques espèces, des produits comestibles et leurs importances médicinales. Les informations relatives à l'utilité des plantes sont presque inexistantes, faute d'une base de données. De plus on note : la perte des connaissances endogènes relatives à ces ressources à cause de la transmission orale entre les générations et la méconnaissance du rôle des ressources dans la vie des communautés locales. Le présent travail vise la valorisation des connaissances endogènes des ethnies Mahi et Nago dans la commune de Savalou sur les différentes utilisations des espèces utiles.

2. METHODOLOGIE

2.1. Situation géographique du milieu d'étude

La commune de Savalou est comprise entre 7°35' et 8°13' de latitude Nord et entre 1°30' et 2°60' de longitude Est. Elle partage ses frontières avec les communes de Dassa-Zoumè et de Glazoué à l'Est ; de Djidja au Sud, de Bantè au Nord et la république du Togo à l'Ouest sur environ 65 km (limite Nord-sud) (Figure 1). Elle s'étend sur près de 58 km de l'Ouest à l'Est et couvre une superficie de 2.674 km^2 ; soit 2,37 % du territoire national. La commune de Savalou est administrativement subdivisée en quatorze (14) arrondissements dont quatre (4) urbains (Aga, Agbado, Attakè et Ouessè). Elle comprend dix-sept (17) quartiers de ville et cinquante-deux (52) villages (INSAE, 2015).

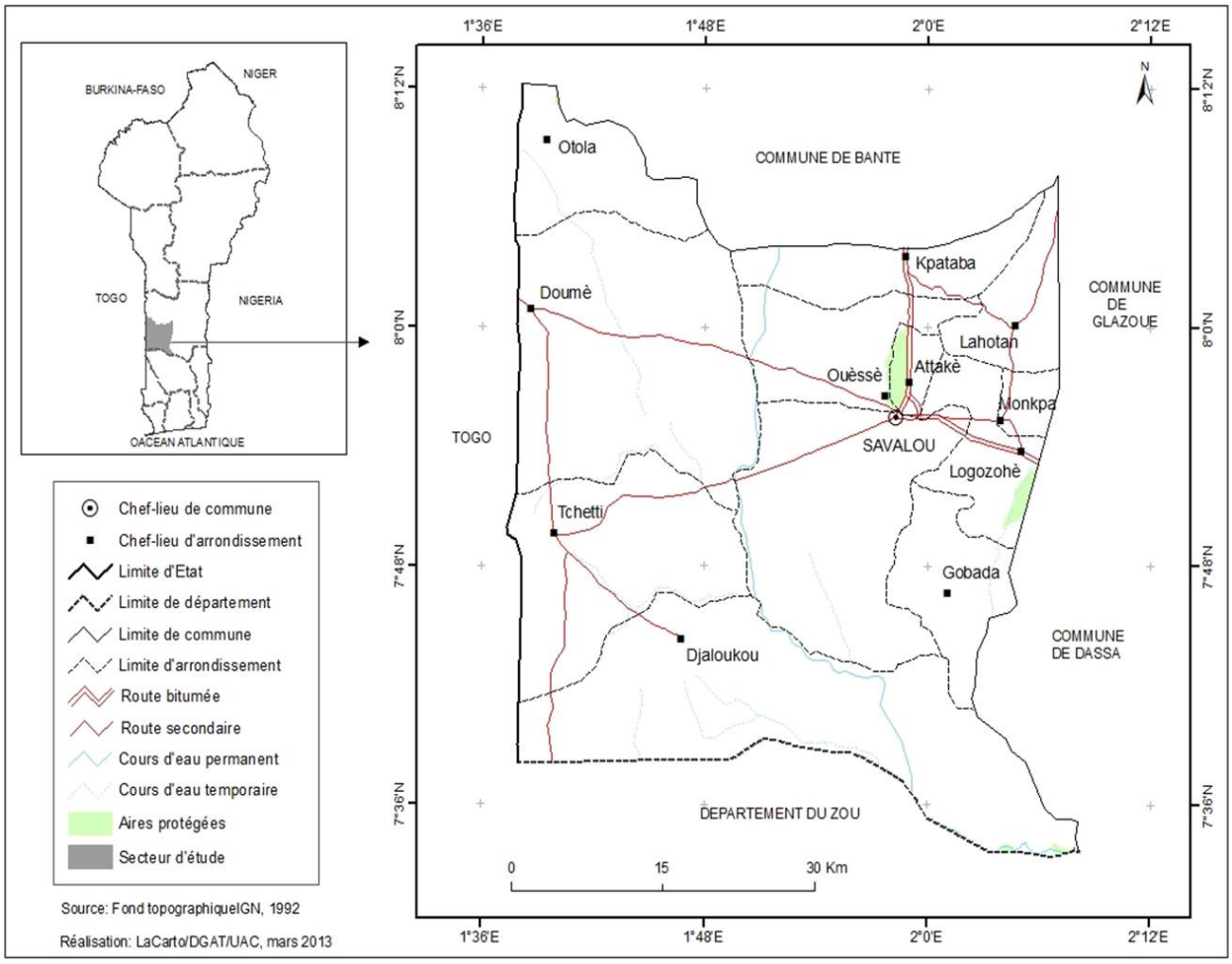


Figure 1 : Situation géographique de la Commune de Savalou

2.2. Collecte des données

Des enquêtes ethnobotaniques ont été menées dans les différentes localités du secteur d'étude. Pour la sélection des villages, la base de données de l'Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique (INSAE) sur les villages des différents arrondissements a été utilisée (INSAE, 2015). La taille n de l'échantillon d'enquête a été déterminée à partir de la formule de Dagnelie (1998) :

$$\mathbf{n = [(U_{1-\alpha/2})^2 p(1-p)]/d^2} \quad (1)$$

où $U_{1-\alpha/2}$ = 1,96 (valeur de la distribution normale pour α = 0,05) et d est l'erreur marginale sur échantillonnage fixée ici à 0,03. La valeur de p est la proportion du nombre de personnes qui connaissent et exploitent les ressources ligneuses. Il a été estimé à partir d'une enquête préliminaire portant sur 30 riverains choisis aléatoirement à qui nous avons adressé la question "utilisez-vous les plantes ?". La proportion p a été estimée à 0,83. Ainsi, un total, 199 personnes ont été sélectionnées et enquêtées individuellement au moyen d'un questionnaire structuré.

Au cours des entretiens, les principales informations collectées concernent le profil sociodémographique des enquêtés, les catégories d'usage des espèces végétales, les plantes utilisées dans chaque catégorie d'usage, l'importance de l'utilisation des espèces mentionnées par les populations au sein des différentes catégories d'usage suivant une grille (3= espèce fortement utilisée dans la catégorie; 2 = espèce moyenne utilisée dans la catégorie; 1 = espèces faiblement utilisées dans la catégorie), (v) les parties utilisées pour les plantes dans les diverses catégories d'usage. Les échantillons de ces espèces végétales ont été concomitamment collectés avec l'aide de personnes ressources qui connaissent bien le nom des plantes en langue locale. Cette approche repose sur le principe que les plantes

utiles les plus significatives sont ceux citées par plusieurs enquêtés et obtenant une fréquence de citation élevée (Coton, 1996).

2.3. Traitement et analyse des données

Les données inscrites sur les fiches d'enquête ont été transférées dans une base de données pour être traitées au moyen du tableur Excel 2010 de Microsoft office. Le logiciel Minitab14.exe a permis de faire le test d'analyse de variance (ANOVA). L'identification taxonomique des espèces végétales collectées a été réalisée à partir de la flore analytique du Bénin (Akoègninou *et al*., 2006) et dans des bases de données en ligne. Les espèces non directement identifiées sur le terrain ont été déterminées à l'Herbier National de l'Université d'Abomey-Calavi. L'identification a consisté à la détermination du nom scientifique de chaque plante ainsi que sa famille d'appartenance. Pour chacune des espèces, les types biologique et phytogéographique ont été déterminés à partir de la littérature (Raunkiaer, 1934). Ainsi, Les types phytogéographiques adoptés correspondent aux grandes subdivisions chorologiques de White (1986) admises pour l'Afrique.

Les données collectées ont été analysées en utilisant le taux de réponse (F), la valeur d'usage ethnobotanique (Vu) et l'indice similarité de Sorensen :

Taux de réponse d'utilisation des organes de plantes ligneuses

Le taux de réponse ou la réponse des organes utilisés par type d'espèce (Maregesi et al., 2007) a été calculé suivant la formule :

$$\mathbf{F = 100 * (S/N)} \quad (2)$$

Où, F : taux de réponse calculé ; S : nombre de personnes ayant donné une réponse positive (Oui) pour l'utilisation de l'organe concerné ; N: nombre total de personnes interviewées. Il indique les organes les plus utilisés pour chaque espèce dans le milieu et varie de 0 à 100.

Valeur d'usage ethnobotanique (Vu)

La valeur d'usage ethnobotanique a été calculée pour les espèces végétales suivant la méthode de calcul utilisée par Camou-Guerrero et al. (2008). La valeur d'usage ethnobotanique d'une espèce "e" est donnée par la formule :

$$\mathbf{Vu} = \sum_{k=1}^{p} \sum_{i=1}^{n} (Si/n) \quad (3)$$

où Si = score d'utilisation attribué par les enquêtés ; n = nombre de réponses positives (oui) pour une espèce dans une catégorie d'usage "k" donnée ; p = nombre de catégories d'usage. Elle a été calculée pour chacune des espèces suivant les différents groupes socio-culturels. Le test de Kruskal Wallis a été exécuté pour comparer les valeurs d'usage entre les ethnies et le test non paramétrique de Mann Whitney pour la comparaison des valeurs d'usage en fonction de l'âge des enquêtés.

Indice de similitude de Sorensen

Il est utilisé pour montrer l'affinité de l'usage des plantes médicinales entre deux groupes socio-culturels d'une même communauté. Si S >50% alors les deux groupes ethniques considérés ont une forte similitude dans l'usage des espèces médicinales.

$$\mathbf{S = \frac{2c}{a+b} \times 100} \quad (4)$$

Avec C= nombre d'espèces de plantes communes citées par les deux groupes ethniques considérés, a= nombre d'espèces de plantes citées par le groupe ethnique 1 et b le nombre d'espèces de plantes citées par le groupe ethnique 2.

3. RESULTATS

3.1. Analyse floristique des espèces recensées

3.1.1. Inventaire des espèces végétales exploitées

La figure 2 présente le nombre d'espèces par famille botanique. Au total, cent sept (107) espèces réparties en 42 familles ont été recensées (Tableau 1 en annexe). Les familles les plus représentées sont les Leguminosae-Caesalpinioideae (9 espèces), les Combretaceae (8 espèces), les Rubiaceae (7 espèces), les Arecaceae et Verbenaceae (5 espèces). Leguminosae-Mimosoideae, Rutaceae, Acanthaceae et Annonaceae ont quatre (4) représentants chacune ; tandis que les moins représentées avec trois (3 espèces) sont au nombre de cinq et avec deux (2 espèces) et une seule espèce sont respectivement au nombre de quinze (15) et treize (13).

Le calcul du coefficient de similarité de Sorensen montre qu'il existait une forte similarité (Indice de Sorensen, S= 83%) dans l'utilisation des plantes entre les deux ethnies.

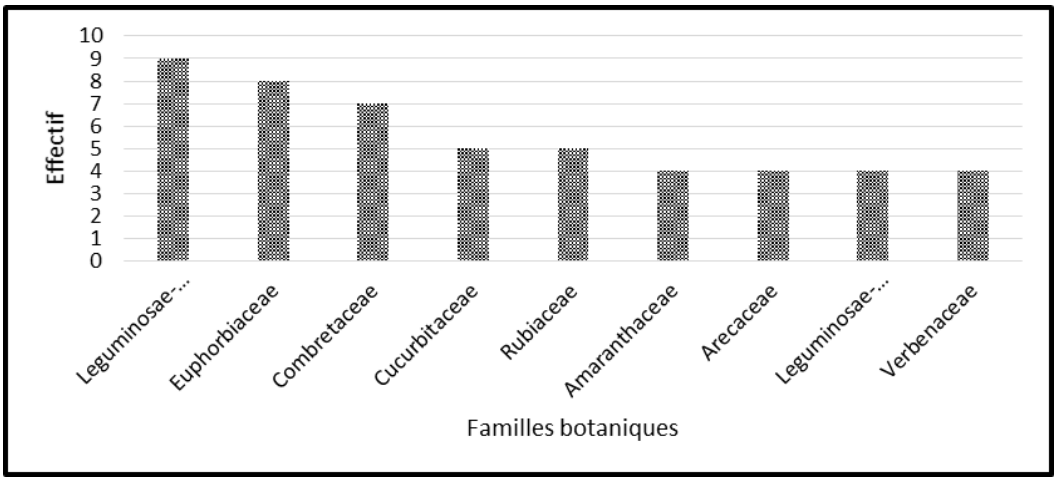


Figure 2 : Répartition du nombre d'espèces par famille botanique

3.1.2. Types biologique et phytogéographique des espèces recensées

Les espèces microphanérophytes (mph), mésophanérophytes (mPh), nanophanérophytes (nph) et thérophytes (Th) sont abondantes. Les autres formes de vie telle que mégaphanérophytes (MPh), les nanophanérophytes lianescentes (Lnph) chaméphyte (Ch), géophytes rhizomateuses (Gr) et géophytes tuberculées (Get) sont faiblement représentées (Figure 3).

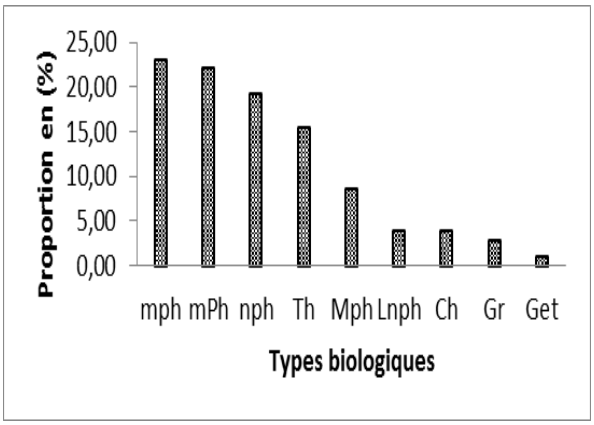


Figure 3 : Type biologique des espèces végétales

Les espèces pantropicale, soudanien et Soudano guinéenne sont les types phytogéographiques les plus représentés avec respectivement (33,01%, 17,48% et 12,62%). Les autres types phytogéographiques sont faiblement représentés (Figure 4).

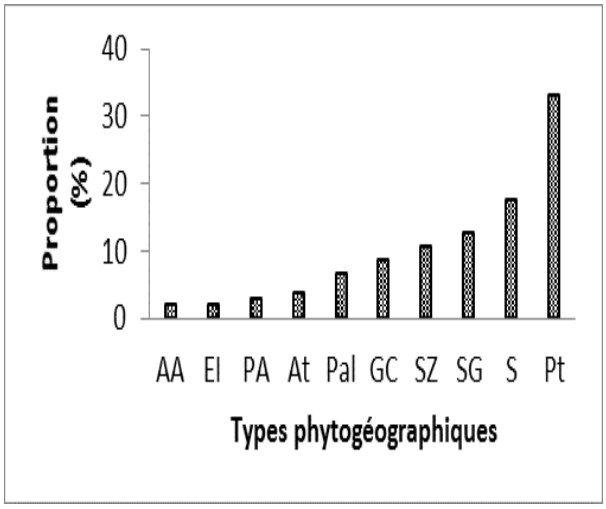


Figure 4 : Types phytogéographiques des espèces végétales

3.2. Utilisation ethnobotanique des espèces recensées

3.2.1. Catégories d'usage des espèces végétales identifiées

Les espèces ont été classées en quatre (4) catégories d'usages : médicinale (81 % des enquêtés), alimentaire (75 % des enquêtés), énergétique (52 % des enquêtés) et artisanale (27 % des enquêtés). Il ressort que ces espèces sont utiles dans la vie des populations locales (Figure 5).

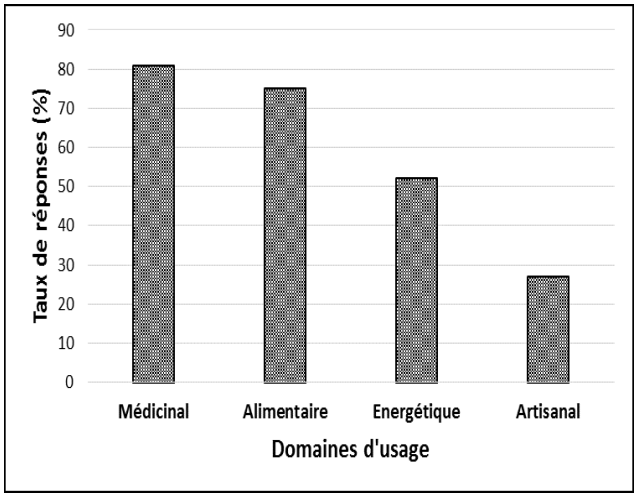


Figure 5 : Domaines d'utilisation des plantes recensées

3.3. Valeurs d'usage ethnobotanique des catégories d'usage

Le tableau 2 présente les valeurs d'usage ethnobotanique des catégories d'usage par ethnie, sexe et par âge. L'analyse de ce tableau montre que les catégories d'usage artisanale et alimentaire ont des valeurs d'usage faible (c'est à dire inferieur à deux) les espèces végétales sont donc faiblement utilisées dans ces deux catégories d'usage par les ethnies. Par contre les espèces végétales sont très sollicitées dans l'artisanat, la préparation des aliments et le traitement des maladies.

Le test non paramétrique de Mann Whitney révèle qu'il n'y a pas une différence significative (P>0,05) entre les valeurs d'usage des deux ethnies quel que soit la catégorie d'usage considérée. Mais au niveau du sexe on note une différence significative (P=0,0306) sur l'utilisation artisanale. Mais pas de différence significative de l'importance accordée aux espèces utilisées dans les domaines alimentaire, énergétique et médicinale. Le test de Kruskall Wallis effectué sur les valeurs d'usage suivant l'âge révèle que quelque en soit l'âge des enquêtés qu'il n'y a pas une différence significative entre les valeurs d'usage dans la médicinale. Par contre ce même test montre une différence significative entre les valeurs d'usage au sein des catégories artisanale, énergétique et alimentaire suivant l'âge des enquêtés.

Tableau 2 : Valeur d'usage ethnobotanique des espèces par catégorie d'usage

Catégorie Socio-démographiques Ethnie	Valeur d'usage ethnobotanique/catégorie d'usage			
	Alimentaire	Artisanat	bois d'énergie	Médicinal
Nago	1,95	3	2,26	2,16
Mahi	1,94	2,96	2,20	2,10
P-value	**0,9611**	**0,2916**	**0,5824**	**0,5273**
Sexe				
Femme	1,83	2,96	2,16	2,13
Homme	2,02	3,00	2,26	2,12
P-value	**0,0668**	**0,6266**	**0,343**	**0,8758**
Age				
Jeune	1,88	3	2,08	2,13
Adulte	1,93	2,97	2,25	2,15
Vieux	2,09	2,95	2,44	2,07
P-value	**0,27**	**0,828**	**0,02**	**0,741**

4. DISCUSSION

La commune de Savalou regorge de nombreuses ressources végétales utiles à diverses fins et exploitées par les populations locales. Cette étude a permis de recenser les espèces végétales exploitées et utilisées par les ethnies Mahi et Nago dans la commune de Savalou. L'analyse des résultats issus de cette étude montre une forte similarité dans l'utilisation des espèces par les ethnies. De façon générale, une richesse spécifique de (107 espèces végétales) a été recensée comme étant utilisée par la population dans cinq catégories d'usage : médicinale, alimentaire, bois de service, bois d'énergie et bois d'œuvre. Cette richesse avoisine celle inventoriée par d'Almeida (2007) dans la forêt classée de Logozohè (115 espèces). Mais elle est largement inférieure à la richesse spécifique (208 espèces) de la réserve naturelle de Zinvié et des formations végétales connexes (Koudèrin, 2007). Cette différence s'expliquerait par le fait que ce dernier a pris en compte dans son étude de nombreuses ethnies.

De plus, l'usage alimentaire est culturelle (Malaisse, 1997), ce qui fait que la connaissance dans l'utilisation des plantes alimentaires varie en fonction des ethnies. Le nombre d'espèce exploitéeS par les populations (107 espèces) est supérieur à la richesse spécifique de la forêt de Pobè (74 espèces) dénombrée par Vihotogbé (2001). L'effectif des espèces végétales alimentaires est de 47 et semblable à celui obtenu par Assogbadjo (2000) dans la forêt de la Lama (47 espèces alimentaires). Cet effectif est supérieur à celui obtenu par Chabi (2010) dans la forêt d'Igbodja (24 espèces végétales alimentaires) et Dossou al. (2012) dans la forêt classée de Pénéssoulou (26 espèces ligneuses alimentaires). Mais cet effectif est faible par rapport à celui obtenu par Vihotogbé (2001) 76 espèces végétales alimentaires dans la forêt de Pobè. Ces écarts pourraient s'expliquer par les conditions climatiques qui déterminent la répartition des espèces. Ils pourraient également être expliqués par la disparition de certaines espèces à travers la dégradation dont fait l'objet toutes les formations végétales du secteur d'étude.

Les types biologiques observés concordent avec ceux trouvés par Zanou (2014) à l'Est de la commune de Savalou qui a noté la dominance des phanérophytes. Il a été constaté que les mégaphanérophytes sont faiblement représentées et méritent une attention particulière en matière de conservation. Les types biogéographiques montrent une bonne représentation des espèces à large distribution (pantropicales, soudaniennes et Soudano guinéennes) qui sont des espèces capables de coloniser les milieux dégradés (Adomou *et al.*, 2012).

Les espèces végétales sont exploitées et utilisées dans cinq catégories d'usage à savoir médicinale, alimentaire, bois de service, bois d'énergie et bois d'œuvre. La plupart des espèces recensées sont utilisées dans la médicine traditionnelle pour leurs feuilles, écorces, fruits, racines et plante entière pour traiter les maladies. La connaissance des usages des plantes médicinales et leurs propriétés sont généralement acquises suite à une longue expérience accumulée et transmise d'une génération à l'autre. Ces derniers ne révèlent le secret des plantes qu'à leurs fils fidèles et sages ou à des initiés. Il est donc difficile de collecter des informations approfondies sur les plantes médicinales. Toutefois, à partir des révélations sommaires de certaines personnes enquêtées, nous avons pu recenser (72 espèces médicinales) qui traitent 55 maladies et symptômes. Ces résultats confirment ceux de Gbèsso (2011) qui a montré que les vertus des plantes médicinales sont acquises suite à une longue expérience et transmise d'une génération à une autre et qu'il est aussi difficile de recueillir des informations approfondies sur les plantes médicinales. Dans l'alimentation, les fruits sont consommés pour leur arille, pulpe et jus. Les grains/ graines de certaines espèces sont consommées après transformation. Les feuilles alimentaires sont consommées après préparation et accompagnent souvent les repas de la population. Ces résultats concordent avec ceux obtenus par Dossou (2012) et Chabi (2011). Certaines espèces servent de bois d'énergie, de service, et d'œuvre. Toutes les espèces sont utilisées comme bois d'énergie sauf quelques-unes qui sont défendues d'utiliser par certains clans. Il a été signalé aussi que certains arbres proches des agglomérations ou situés dans les champs tels que *Adansonia digitata, Melicia excelsa, Ceiba pentandra, Hymenocardia acida, Vitellaria paradoxa* sont fétiches (c'est-à-dire abritent les divinités ou les esprits maléfiques) et leur coupe est interdite. Les espèces utilisées comme bois d'œuvre et bois de service sont résistantes. Elles sont alors sélectionnées et recherchées. Elles subissent par conséquent une forte pression humaine.

L'évaluation du niveau de connaissance et d'exploitation des espèces végétales a permis de constater qu'il n'y a pas de différence significative entre les valeurs d'usage des deux ethnies quel que soit la catégorie d'usage considérée. De plus, le coefficient de similarité de Sorensen montre qu'il existe une forte similarité dans l'utilisation des espèces entre les deux ethnies. En effet, l'ethnicité à elle seule ne suffit pas pour expliquer entièrement les différences des connaissances ethnobotaniques des plantes entre les différentes communautés (Kwetche *et al.*, 2012). D'autres facteurs tels que les conditions locales environnementales pouvaient aussi jouer un rôle significatif. Différents contextes environnementaux et les facteurs socioculturels spécifiques incluant la localisation géographique, la disponibilité locale des espèces, le brassage interculturel entre communautés déterminent l'intensité et les formes d'usage des plantes par les communautés (Gouwakinnou *et al.,* 2011 ; Lougbégnon *et al.,* 2011). Par ailleurs, l'étude a montré que les espèces végétales sont très sollicitées dans les catégories bois d'œuvre, d'énergie et médicinale tant chez les Mahi que chez les Nagos. Ce résultat traduit la forte satisfaction des populations des espèces dans ces catégories d'usage. Par contre elles sont moins sollicitées dans les usages alimentaire et bois de service avec des valeurs d'usage inférieures à deux. Les données de terrain montrent que les espèces alimentaires sont plus nombreuses et plus abondantes que celles utilisées comme bois d'œuvre et d'énergie. On pourrait dire que l'importance accordée aux espèces ne dépend pas de leur disponibilité mais de leur capacité à satisfaire les besoins des populations (Tenté *et al*., 2012). Les

résultats de cette étude aident à mettre en évidence les espèces utiles qui devraient être considérées comme priorités pour la conservation et la gestion durable, comme suggéré par Kvist *et al*. (2001). Néanmoins, ces résultats obtenus à travers l'étude devraient être appliqués avec prudence, car les enquêtes ethnobotaniques ont été réalisées à l'aide de la méthode rétrospective, faisant alors rappel à la mémoire des enquêtés et les populations sont très souvent réservées pendant les entretiens.

5. CONCLUSION

La présente étude a permis de mieux connaitre les ressources végétales exploitées à diverses fins par la population de la commune de Savalou. Cette commune dispose d'une diversité de ressources d'origine végétale qui permettent à sa population de satisfaire à ces besoins. En effet, 107 espèces réparties dans 42 familles sont utilisées dans 4 catégories d'usages (médicinale, alimentaire, énergétique et artisanale). Les organes utilisés varient suivant les usages. Ainsi, les feuilles et les fruits sont plus utilisés dans la médicine traditionnelle et dans l'alimentation tandis que le tronc et les branches sont utilisés dans les catégories bois d'énergie, bois d'œuvre et bois de service. En générale, la présente étude montre que les ressources végétales de la commune de Savalou offrent plusieurs potentialités socio-économiques (sécurité alimentaire, médicinale, énergétique, etc.) aux populations locales. L'important rôle que jouent ces ressources dans la vie quotidienne des populations oblige à mettre en place une bonne stratégie de conservation et de gestion durable de ces ressources.

REFERENCES

Adomou A. C., Yedomonhan H., Djossa B., Lègba S. I., Oumorou M. & Akoegninou A., 2012. Etude Ethnobotanique des plantes médicinales vendues dans le marché d'Abomey-Calavi au Bénin. 28p.

Akoegninou A., Van der burg W. J. & Van der maesen Akoegninou L. J. G., 2006. Flore Analytique du Bénin. Wageningen University Papers 06.2. 1034p.

Badjaré B., Kokou K., Bigou-laré N., Koumantiga D., Akpakouma A., Bétidé Adjayi M., Abbévi Abbey G., 2017. Étude ethnobotanique d'espèces ligneuses des savanes sèches au Nord-Togo : diversité, usages, importance et vulnérabilité. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 2018 22(3), 152-171

Bonou A., 2008. Utilisation locale des PNFL: valeur économique et culturells, commercialization et indicateur de durabilité. Cas du village de Sampéto. Mémoire de DEA, FSA/UAC, Bénin. 66p.

Kwetche S.T., Oldeland J. & Bognounou F., 2012. Ethnobotanical knowledge and valuation of woody plants species: a comparative analysis of three ethnic groups from the sub-Sahel of Burkina Faso. Environnement Devenir Sustain 12-23.

Chabi R. B. K., 2011. Produits forestiers non ligneux végétaux prélevés dansla foêt communautaire d'Igbodja : Biodiversité et formes d'usage. Mémoire de maîtrise de géographie. FLASH/UAC. 88P.

Aumeeruddy T.Y., et Pei S., 2003. Applied Ethno botany: Case Study from Himalaya Region. People and plants working paper 12.WWF, Godalming, UK.

Bary-Lenger A., Evrard R. & Gathy P., 1988. La forêt. Editions du Perron, Liège 254p.

Codjia J.T.C., Assogbadjo A.E. & Ekué M.R., 2003. Diversité et valorisation au niveau local des ressources végétales forestières alimentaires du Bénin. Cahier d"études et de recherches francophones/Agriculture. 12(5) : 321-331.

Cunningham A. B., 2001. Applied Ethnobotay. People, wild plant. Use and the conservation. People and the plant conservation manuals. Earthscan puplications Ltd, London. 300p.

D'Almeida A.Y., 2007. Contribution à l'aménagement de la forêt lassée de Logozohê au Bénin. Mémoire de maîtrise de géographie. FLASH/UAC. 93P.

Delvaux C., & Sinsin B., 2002. Les plantes médicinales dans la forêt des Monts kouffé au centre du Bénin : Stratégie de conservation, de restauration et de production compatible avec le développement local. LEA /FSA, Cotonou, Bénin.

Dossou M.E., Houessou G.L., Lougbégnon O.T., Tenté A.H.B & Codjia J.T.C., 2012. Etude ethnobotanique des ressources forestières ligneuses de la forêt marécageuse d'Agonvè et terroirs connexes au Bénin. Tropicultura 30 (1) 41-48.

Eyog Matig O.; Ndoye, O.; Kengue, J. & Awono, A., 2006. Les fruitiers forestiers comestibles du Cameroun. 204p.

Fadil M., Farah A., Haloui T., Rachiq S., 2018. Étude ethnobotanique des plantes exploitées par les coopératives et les associations de la région Meknès-Tafilalet au Maroc. Phytothérapie DOI 10.1007/s10298-014-0902-2

FAO., 2001. Evaluation des ressources forestières mondiales 2000. Rapport principal, Etude FAO, Foret, Rome 140p.

FAO., 2005. Evaluation des ressources forestières. Rapport national du Bénin. FAO, 17p.

FAO., 2006. Les perspectives de la certification des produits forestiers non ligneux en Afrique centrale. Par Mbolo M. ; GCP/RAF/398/GER. Yaoundé.

FAO., 2011. Situation des forêts du monde. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture Rome. 164p.

Fonton B. K. ; Codjia J. T. C. ; Assongbadjo A. & Ekoué M., 2003. Le baobab (Adansonia digitata) : une espèce à usage multiple au Bénin, UAC45p. Freeze C. H., 1998. Wild species as commodities. In: Island press, Washington, pp 3-8.

Gbesso G.H.F., Logbo J., Lougbégnon O. T., Codjia J.T.C., 2016. Biodiversité et valeurs d'usage des plantes utilisées comme arômes traditionnels par les populations du plateau d'Allada au Sud Bénin. Revue CAMES – Série Pharm. Méd. Trad. Afr., 2017 ; 18(2) : 1-12.

Gbèsso G. H. F., 2011. Structure des peuplements et importances socioculturelles et économique du Chrysophyllum albidum (G. Don) sur le plateau d'Allada (Sud-Bénin). Mémoire de DEA, Université d'Abomey-calavi. 85p.

Gouwakinnou G.N., Lykke A.M., Assogbadjo A.E. & Sinsin B., 2011. Local knowledge, pattern and diversity of use of Sclerocarya birrea. Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine 7: 49-62.INSAE., 2002. RGPH 3. Résultat provisoire : population et habitat au Bénin, caractéristiques économiques. Cotonou, 135 p.

Hseini S, Kahouadji A., 2007. Etude ethnobotanique de la flore médicinale dans la région de Rabat (Maroc occidental). Lazaroa 28:79 – 93

INSAE., 2004. Cahier des villages et quartiers de ville du département du Zou, RGPH 3. République du Bénin, 38 p. INSAE., 2015. Rapport provisoire du Récensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH) 4ème édition 182p.

Kadri Y., Moussaoui A., Benmebarek A., 2018. Étude ethnobotanique de quelques plantes médicinales dans une région hyper aride du Sud-ouest Algérien «Cas du Touat dans la wilaya d'Adrar», Journal of Animal & Plant Sciences, 2018. Vol.36, Issue 2: 5844-5857

Koudèrin M. K., 2007. Caractérisation écologique de la forêt marécageuse de Zivié et des formations végétales connexes dans la commune d'Abomey-calavi au sud du Bénin. Mémoire de DESS, FSA/UAC, Abomey-calavi, 60p.

Kvist P. L., Andersen M. K., Stagegaard I., Hesselsoe M. & Lapapasca C., 2001. Extraction from woody forest plants in flood plain communities in Amazonian peru: Use, Choice, Evaluation and Conservation Status of Resources. Forest, Ecology and management. 150-172pp.

Lougbégnon T.O., Tente B.A.H., Amontcha M. & Codjia J.T.C., 2011. Importance culturelle et valeur d'usage des ressources végétales de la réserve forestière maréca geuse de la vallée de Sitatunga et zones connexes. Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (7), 1-13.

Lykke A. M., Kristensen M. K., et Ganaba S., 2004. Valuation of the local dynamics of 56 woody species in the Sahel. Biodiversity and Conservation 13: 1961-1990, 2004

Malaisse F., 1997. Se nourrir en forêt claire Africaine : Approche écologique et nutritionnelle. Les presses agronomiques de Gembloux, 375p.

Mbolo M., Asseng Ze A. & Walter S., 2006. Les perspectives de la certification des produits forestiers non ligneux en Afrique centrale. FAO, Rome 30p.

Nkwatoh A. F., 2000. Evaluation of trade in Non-Timber Forest Product in the Ejagham forest reserve of South West Cameroon, Ibadan, Nigeria.PhD, 198p.

Pei S., 2001. Ethnobotanical approches of traditional medicine studies: Some experiences from Asia. Pharmaceutical Botany 39:74-79.

Raunkiaer C., 1934. The Life Forms of Plantsand Statistical Plant Geography.Clarendron Press: Oxford. 632 p.

Sinsin B., Eyog Matig O., Assogbadjo A.E., Gaoué O.G. & Sinadouwirou T., 2004. Dendrometric characteristics as indicators of pressure of Afzelia Africana Sm. Dynamic changes in trees found in different climate zones of Benin. Biodiversity and Conservation 13 (8): 1555-1570.

Sinsin B., Eyog Matig O., Sinadouwirou A.T. & Assogbadjo A., 2002. Caractérisation écologique des essences fourragères Khaya senegalensis et Afzelia africana suivant les gradients de latitude et de station au Bénin. In Eyog Matig O., Gaoué O.G. & Obel Lawson E. (eds). Development of appropriate conservation strategies for African forest countries identified as priority species by SAFORGEN members countries IPGRI. Nairobi, Kenya 15-50

Sinsin B. & Owolabi L., 2001. Rapport sur la monographie de diversité Biologique du Bénin. MEHU socioéconomiques. Rome, 354p.

Sokpon N.,1995. Recherche écologiques sur la forêt dense semi-decidue de Pobè au sud-est du Bénin : Groupements végétaux, structure, régéneration naturelle et chutte de litière. Thèse de Doctorat, 350 p.

Sokpon N. & Ouissavi C., 2004. Gestion des plantations de Khaya senegalensis au Bénin. Bois et Forêts des Tropiques 279 : 37-46.

Tenté A. B. H., 2005. Recherche sur les facteurs de la diversité floristique des versants du massif de l'Atacora : secteur Perma-Toucountouna (Bénin). Thèse de doctorat.UAC, 252p.

UICN., 2004. Liste Rouge 2004 de l'UICN des espèces menacées en ligne. UICN -l'Union internationale pour la conservation de la nature et de ses ressources, Gland, Suisse et Cambridge, RU. 10p http://www.iucnredlist.org.

Vihotogbé R., 2001. Diversité biologique potentialité socioéconomique des ressources alimentaires forestières végétales RAFVs (PFNL) de la forêt de Pobè et de ces zones connexe. Thèse d'ingénieur agronome.FSA /UAC, 102p.

ANNEXE

Tableau 1 : Liste de quelques espèces recensées

Espèces	Familles	Appellation locale	Fréquences de citation
Adansonia digitata	Bombacaceae	Kpassa	1
Aframomum meleguetta	Zingiberaceae	Atakun	2
Afzelia africana	Leguminosae-Caesalpinioideae	Kpakpadjidé	1
Anacardium occidentale	Anacardiaceae	Acadjoutin	8
Anogeissus leiocarpa	Combretaceae	Hlihon	1
Azadirachta indica	Meliaceae	Kininoutin	5
Blighia sapida	Sapindaceae	Sinsintin	1
Bridelia ferruginea	Euphorbiaceae	Honkokwé	1
Caesalpinia bonduc	Leguminosae-Caesalpinioideae	Adjikuintin	23
Cajanus cajan	Leguminosae-Papilionoideae	Klouékoun	2
Calotropis procera	Apocynaceae	Amoman	8
Carica papaya	Caryophyllaceae	Ablibatin	77
Ceiba pentandra	Bombacaceae	Guédéhunsou	3
Citrus limonia	Rutaceae	Clétin	16
Clausena anisata	Rutaceae	Gbozoazohion	7
Cochlospermum planchonï	Cochlospermaceae	Adjinakouvocanfoun	1
Cocos nucifera	Arecaceae	Agontin	15
Combretum hypopilinum	Combretaceae		1
Combretum micranthum	Combretaceae	Kinkéliba	2
Crateva adansonii	Capparaceae	wontonzounzon	3
Cyperus esculentus	Cyperaceae	Fiyo	1
Daniellia oliveri	Leguminosae-Caesalpinioideae	Za	16
Elaeis guineensis	Arecaceae	Détin	29
Euphorbia hirta	Euphorbiaceae	Nonsinwé	9
Ficus sp	Moraceae		1
Flueggea virosa	Euphorbiaceae	Tchakètchakè	31
Gardenia erubescens	Rubiaceae	Dakpla	15
Heliotropium indicum	Boraginaceae	Koklo-assoudenkpadja	10
Hymenocardia acida	Euphorbiaceae	Sotive	1
Jatropha curcas	Euphorbiaceae	Kpotin wéwé	5
Jatropha gossypiifolia	Euphorbiaceae	Kpotin vovo	2
Khaya senegalensis	Meliaceae	Akawo	49
Kigelia africana	Bignoniaceae	Gnankpo	4
Lippia multiflora	Verbenaceae	Aglala	2
Lophira lanceolata	Verbenaceae	Kotoblè-assou	1
Mangifera indica	Anacardiaceae	Amanga	23
Manihot esculenta	Euphorbiaceae	Fenyen	1
Milicia excelsa	Moraceae	Loko	4
Momordica balsamina	Cucurbitaceae	Yensikin	24
Momordica charantia	Cucurbitaceae	Slosinkan	6
Moringa oleifera	Moringaceae	Yovokpatin	5
Musa paradisiaca	Musaceae	Kokwé-alorga	1

Musa sapientum	Musaceae	Kokwé	10
Newbouldia laevis	Bignoniaceae	Abobwé	21
Ocimum americanum	Lamiaceae	Xissixissi	18
Ocimum gratissimum	Lamiaceae	Kioyo	34
Pandiaka involucrata	Amaranthaceae	Adjassi-afovè	1
Parkia biglobosa	Leguminosae-Mimosoideae	Ayouwatin	11
Pavetta crassipes	Rubiaceae	Dakplasu	17
Péricopsis laxiflora	Leguminosae-Papilionoideae	Sèdon	1
Persea americana	Lauraceae	Avoca	3
phaulopsis ciliata	Acanthaceae	Koukougloucou	11
Phyllanthus amarus	Euphorbiaceae	Hlenwé	20
Prosopis africana	Leguminosae-Mimosoideae	Kakè	18
Psidium guajava	Myrtaceae	Kinkoun	33
Pteleopsis suberosa	Combretaceae	Kluikluitin	8
Pterocarpus erinaceus	Leguminosae-Papilionoideae	Kosso	4
Rytigynia umbellulata	Rubiaceae		2
Sarcocephalus latifolius	Rubiaceae	Kodo	3
Senna alata	Leguminosae-Caesalpinioideae	Amansu	30
Senna siamea	Leguminosae-Caesalpinioideae	Cassia	1
Sesamum indicum	Pedaliaceae	Agbor	7
Sorghum bicolor	Poaceae	Hancan	7
Spondias mombin	Commelinaceae	Kounkontin	14
Tectona grandis	Verbenaceae	Tètitin	8
Terminalia sp	Combretaceae	Kpavou	3
Uapaca heudelotii	Flacourtiaceae		1
Vernonia amygdalina	Asteraceae	Aloman	6
Vernonia cinerea	Asteraceae	Hounsikonou	1
Vitellaria paradoxa	Scrophulariaceae	Kotoblètin	52
Vitex doniana	Verbenaceae	Fontin	3
Voacanga africana	Apocynaceae	Lètin	1