

Modélisation de la production agricole au Burundi

Servat NYANDWI^{1*}, Emmanuel BARANKANIRA² et Anaclet CONGERA¹

¹ *Université du Burundi, Faculté des Sciences, Département de Mathématiques, BP 2700 Bujumbura, Burundi*

² *École Normale Supérieure, Département des Sciences Naturelles, BP 6983 Bujumbura, Burundi*

* Correspondance, courriel : nservat@yahoo.fr

Résumé

Ce travail porte sur l'analyse des facteurs influençant la production agricole (céréales, légumineuses, racines et tubercules, bananes) de 2005 à 2014 au Burundi. Les données proviennent utilisées de l'Institut des Statistiques et d'Études Économiques du Burundi. Les variables candidates dans l'explication de la production agricole sont les provinces et les saisons. Un échantillon de 8 provinces a été tiré aléatoirement parmi les 18 provinces que compte le pays. L'objectif est d'examiner l'effet des provinces, des saisons sur la production agricole d'une part, et d'examiner l'évolution de la production vivrière au cours des saisons et au sein des provinces d'autre part. Les méthodes d'analyse utilisées sont l'analyse de la variance et l'analyse des séries temporelles. Les résultats montrent que la saison, la province et leur interaction ont un effet significatif sur la production vivrière. De plus, la production vivrière moyenne annuelle est la plus élevée dans la province de Gitega d'une part et au cours de la saison B d'autre part. L'analyse des séries temporelles a montré que, pour la majorité des saisons et pour toutes les provinces, la production vivrière était faible entre 2009 et 2011. Cette étude pourrait aider les futurs chercheurs à choisir adéquatement les méthodes non paramétriques lorsque les conditions de validité ne sont pas satisfaites.

Mots-clés : *production agricole, analyse de la variance, saisons, Burundi.*

Abstract

Agricultural production modeling in Burundi

This study focuses on the analysis of the factors influencing agricultural production (cereals, legumes, roots and tubers, bananas) from 2005 to 2014 in Burundi. The data were obtained from the Institute of Statistics and Economic Studies of Burundi. The candidate variables in the explanation of agricultural production are provinces and seasons. A sample of 8 provinces was randomly selected from the 18 provinces of the country. The objective is to examine the effect of the provinces and seasons on agricultural production on one hand, and to examine the evolution of food production over the seasons and within the provinces on the other. The analytical methods used are analysis of variance and time series analysis. The results show that the season, the province and their interaction have a significant effect on food production. In addition, annual average food production is highest in Gitega province on one hand and in season B on the other. Time series analysis showed that, for the majority of seasons and for all provinces, food production was low between 2009 and 2011. This study could help future researchers to adequately choose non-parametric methods when assumptions are not satisfied.

Keywords : *agricultural production, analysis of variance, seasons, Burundi.*

1. Introduction

Les produits consommés par les populations sont d'origines diverses : pêche, élevage et agriculture. Souvent combinée à l'élevage, l'agriculture occupe une place importante dans la vie des populations. Cependant, selon le rapport de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture de 2016, l'agriculture et la sécurité alimentaire sont influencées par le changement climatique [1, 2]. L'amélioration de l'agriculture permet de contribuer à l'atteinte du deuxième Objectif de Développement Durable (ODD) qui consiste à éliminer, d'ici 2030, la faim et la malnutrition sous toutes ses formes [3]. La malnutrition constitue un problème de santé publique dans le monde. En effet, selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), 815 millions de personnes souffrent de la faim et des millions d'enfants sont sous l'emprise de la malnutrition en 2016 [4]. Comme dans les autres parties du monde, l'agriculture constitue le moteur de la vie des populations en Afrique en général et en Afrique subsaharienne en particulier, étant donné que la majorité (environ 80 %) de la population vit des petites exploitations agricoles [5]. Les principales cultures rencontrées dans cette partie de l'Afrique sont, entre autres, le maïs, le riz, la pomme de terre, la patate douce, la banane et le manioc. Ces cultures sont pratiquées en Afrique orientale englobant le Burundi. Au Burundi, environ 90 % de la population vivent de l'agriculture. Les terres cultivables sont individuelles et s'amenuisent de plus en plus à cause de la forte croissance démographique.

Ce sont surtout les femmes non instruites qui s'occupent de l'exploitation agricole et cette agriculture est, en grande partie, non mécanisée. La qualité et la quantité des produits agricoles laissent à désirer, ce qui fait que la population souffre de l'insécurité alimentaire. Le pouvoir d'achat de la population est limité. En effet, environ 80 % de la population burundaise vivent sous le seuil de pauvreté, soit avec moins d'un dollar américain par jour. L'Indice du Développement Humain (IDH = 0,417) classe le Burundi au 185^{ème} rang sur les 189 pays au monde et au 49^{ème} rang sur les 53 pays en Afrique en 2017 [6]. L'agriculture est influencée par le climat qui est chaud et humide. Les températures varient selon les saisons, les années et les régions naturelles (Bugesera, Buragane, Bututsi, Buyenzi, Buyogoma, Bweru, Imbo, Kirimiro, Moso, Mugamba, Mumirwa). Par exemple, entre 2005 et 2014, les températures dans certaines provinces ont atteint 35 degrés Celsius alors que dans d'autres provinces, ces températures ne dépassent même pas 30 degrés Celsius [7]. C'est surtout pendant la saison sèche (juillet à septembre) qu'il fait plus chaud par rapport aux autres mois de l'année. Comme conséquences de ces irrégularités des températures, il y a des disparités dans les précipitations et les récoltes agricoles. Ces précipitations oscillent en général entre 700 à 2000 mm chaque année [7]. La pluviosité diffère d'une province à l'autre et des disparités intra-provinciales sont observées, ce qui a un impact sur la production agricole.

Bien que le secteur agricole soit influencé par plusieurs facteurs, notre étude se limite aux effets des saisons et des provinces sur ce secteur. Ce choix est dû en partie à la méthode analytique utilisée dans cet article. Cette méthode nous a permis de comparer les produits vivriers récoltés selon les saisons (A, B et C). La saison A, qui est la petite saison des pluies, couvre les mois de septembre à janvier. La saison B est la période où la pluviosité est plus prononcée et s'étend du mois de février au mois de mai. Quant à la saison C, elle commence en juin et se termine en septembre. C'est la période de sécheresse. Les cultures vivrières dépendent énormément de ces différentes saisons. La plupart de ces cultures sont plus abondantes au cours de certaines saisons. Il y en a d'autres qui sont cultivées pendant toutes les saisons comme le haricot, les pommes de terre, le manioc, les bananes, etc. Les données traitées dans cet article proviennent de huit provinces et couvrent une période de dix ans (2005-2014). Ces données sont fournies par l'Institut de Statistiques et d'Études Économiques du Burundi (ISTEEBU) [8]. Les études antérieures réalisées sur la production agricole au Burundi et sur les perspectives agricoles dans le monde se limitent en général à l'étude descriptive (représentation des données dans des tableaux, leur visualisation par des graphiques et calcul de pourcentages suivis de leurs interprétations) [7 - 10]. Notre objectif est d'examiner l'effet des provinces, des

saisons et de l'année sur la production agricole (céréales, légumineuses, racines et tubercules, bananes) à l'aide de l'analyse de la variance. Il s'agit aussi d'examiner l'évolution de la production vivrière au cours des saisons et au sein des provinces afin de détecter d'éventuelles cassures de la production vivrière.

2. Méthodologie

L'étude est réalisée sur un échantillon de huit provinces choisies au hasard parmi dix huit provinces que compte le Burundi. Ces provinces sont Bubanza, Bujumbura, Bururi, Gitega, Kayanza, Kirundo, Mwaro et Ruyigi. La province de Bubanza a une altitude qui s'étend de 770 m à 260 m. La pluviométrie varie de 900 mm à 1600 mm. Les quatre groupes de cultures vivrières sont : les céréales, les tubercules, les légumineuses et les bananes. La province de Bujumbura a un climat tropical. C'est une province où les précipitations sont abondantes pendant la saison de pluies. En moyenne, les températures atteignent 24,0 °C chaque année et les précipitations annuelles moyennes sont de 932 mm. Pour la province de Bururi, l'altitude varie de 1750 m à 2600 m avec une pluviométrie de plus ou moins 1300 mm à 1600 m. Les mêmes groupes de cultures vivrières sont représentés avec des pourcentages variables selon l'altitude. Pour la province de Gitega, l'altitude est comprise entre 1400 m et 1750 m et les précipitations oscillent entre 1200 mm et 1300 mm. Les groupes de cultures vivrières y sont représentés. À Kayanza, les températures sont de l'ordre de 18,5° C en moyenne sur toute l'année et les précipitations sont en moyenne de 1348 mm. La province de Kirundo possède un climat de savane avec une saison de pluie sèche. Les précipitations sont beaucoup plus importantes pendant une longue période de l'année. La température moyenne dans cette province est de 21,3° C et les précipitations sont en moyenne de 828,6 mm. La province de Mwaro a une altitude variant entre 1200 m et 2600 m avec une pluviométrie qui se situe entre 1200 mm et 1600 mm. Quant à la province de Ruyigi, le climat dominant est connu pour être de type tropical. La saison des pluies se caractérise par une pluviosité moins importante qu'en été.

La température moyenne est de 18,9 °C. Sur l'année, la précipitation moyenne est de 1219 mm. Les données utilisées dans cette étude ont été fournies par l'Institut des Statistiques et d'Études Économiques du Burundi (ISTEEBU). Pour sélectionner ces données, nous avons utilisé l'échantillonnage stratifié et l'échantillonnage aléatoire simple. Les variables étudiées sont toutes qualitatives, à l'exception de la variable dépendante qui représente la production agricole. Après la sélection des données, nous avons établi des tableaux de fréquences qui ont servi à l'analyse et à l'interprétation de ces résultats. L'analyse des données est basée sur la méthode analytique (ANOVA : analysis of variance en anglais), méthode utilisée dans la comparaison de moyennes issues de plusieurs populations, avec l'effet d'un ou de plusieurs facteurs. La production vivrière a été comparée selon les provinces et les saisons culturales sur une période de 2005 à 2014, soit une analyse de la variance à deux facteurs avec interaction [11 - 13]. Nous avons comparé les modèles avec interactions et les modèles sans interaction à l'aide du critère de la p-valeur [14]. Cette procédure consiste à choisir le modèle ayant la probabilité ne dépassant pas 5 %. Une analyse préliminaire a consisté à représenter graphiquement la productivité à l'aide des boîtes à moustaches et des diagrammes temporels. Pour examiner la normalité des résidus et l'homogénéité de la variance respectivement, les tests de Shapiro-Wilk et de Bartlett ont été utilisés [15 - 17]. La méthode de Tukey a permis de faire des comparaisons multiples en cas de rejet de l'hypothèse nulle pour l'ANOVA [18]. Nous déterminons des modèles mathématiques du type :

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ijk} \tag{1}$$

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ijk} \tag{2}$$

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \tag{3}$$

y_{ijk} étant la production, μ la moyenne globale, α_i l'effet de la saison, β_j l'effet de la province, $(\alpha\beta)_{ij}$ l'effet d'interaction entre la province et la saison et ε_{ijk} un terme d'erreur avec $1 \leq i \leq 3$, $1 \leq j \leq 8$, $1 \leq k \leq 10$.

Lorsque les conditions de validité de l'analyse de la variance à un facteur (indépendance des observations, normalité des résidus dans les niveaux du facteur, homogénéité des variances) ne sont pas vérifiées, une analyse non paramétrique de Kruskal-Wallis est effectuée et le test de Wilcoxon pour des comparaisons multiples en cas de rejet de l'hypothèse nulle d'égalité des moyennes [19, 20]. Les résultats de l'analyse de la variance non paramétrique à un facteur sont confirmés par ceux des tests de permutation [21]. Ces tests sont des approches caractérisées par la robustesse et qui sont basées sur l'aléatoire et le ré-échantillonnage. Leur avantage est qu'ils permettent de réaliser des tests classiques sans pour autant que la validité des résultats ne repose sur des distributions théoriques. La complexité des données nécessite l'utilisation du logiciel « R », version 3.4.3 [22].

3. Résultats

3-1. Statistiques descriptives

Les statistiques descriptives (minimum, moyenne, écart-type, médiane, maximum) de la production vivrière (en tonnes) selon les saisons et dans l'ensemble sont consignées dans le **Tableau 1**.

Tableau 1 : Statistiques descriptives de la production vivrière selon les saisons

Saison	Minimum	Moyenne	Écart-type	Médiane	Maximum
A	3629,00	59305,54	50293,63	48627,50	333694,00
B	16057,00	110614,54	69855,72	89700,50	294246,00
C	3681,00	56146,14	46947,08	46230,00	218034,00
Ensemble	3629,00	75355,00	61672,46	62125,00	333694,00

Les résultats de ce tableau montrent que la production moyenne est dominante pour la saison B et qu'elle est faible pour la saison C.

La **Figure 1** montre les boîtes à moustaches de la production vivrière selon les saisons.

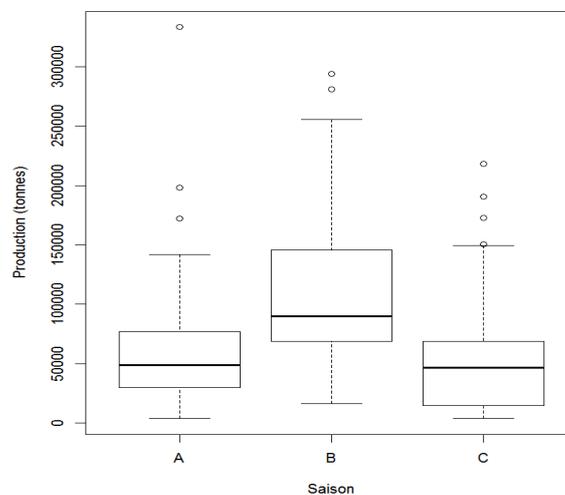


Figure 1 : Boîtes à moustaches de la production vivrière selon les saisons

Au vu de ce graphique, il semble que la production vivrière moyenne est plus élevée pour la saison B comparativement aux autres saisons. Par contre, cette production est presque identique pour les autres saisons (A et C). Les mêmes statistiques descriptives de la production vivrière selon les provinces sont consignées dans le **Tableau 2**.

Tableau 2 : Statistiques descriptives de la production vivrière selon les provinces

Province	Minimum	Moyenne	Écart-type	Médiane	Maximum
Bubanza	6454,00	67927,87	58522,69	60903,00	333694,00
Bujumbura	3681,00	68853,47	55793,89	50318,50	198065,00
Bururi	10045,00	56615,43	27302,30	61268,00	99833,00
Gitega	12614,00	113196,17	71100,02	104714,50	281342,00
Kayanza	10067,00	94761,03	62117,06	85718,00	239285,00
Kirundo	5320,00	107699,90	86412,83	69475,50	294246,00
Mwaro	6241,00	38412,40	23498,30	29042,50	83317,00
Ruyigi	3629,00	55376,97	43447,72	38639,50	153845,00

Du **Tableau 2**, nous déduisons que les provinces de Gitega et de Kirundo ont produit en moyenne plus que les autres provinces. Par contre, la production de Mwaro est très faible par rapport à celle des sept autres provinces. La **Figure 2** montre les boîtes à moustaches de la production vivrière selon les provinces.

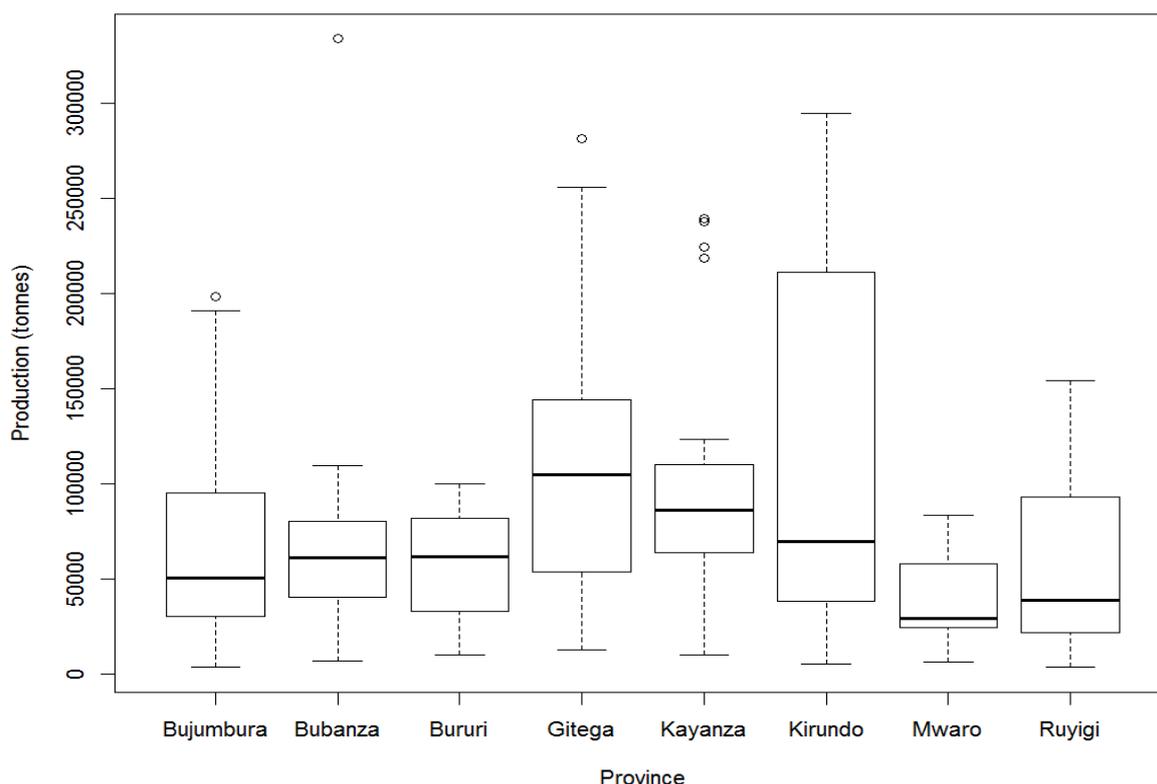


Figure 2 : Boîtes à moustaches de la production vivrière selon les provinces

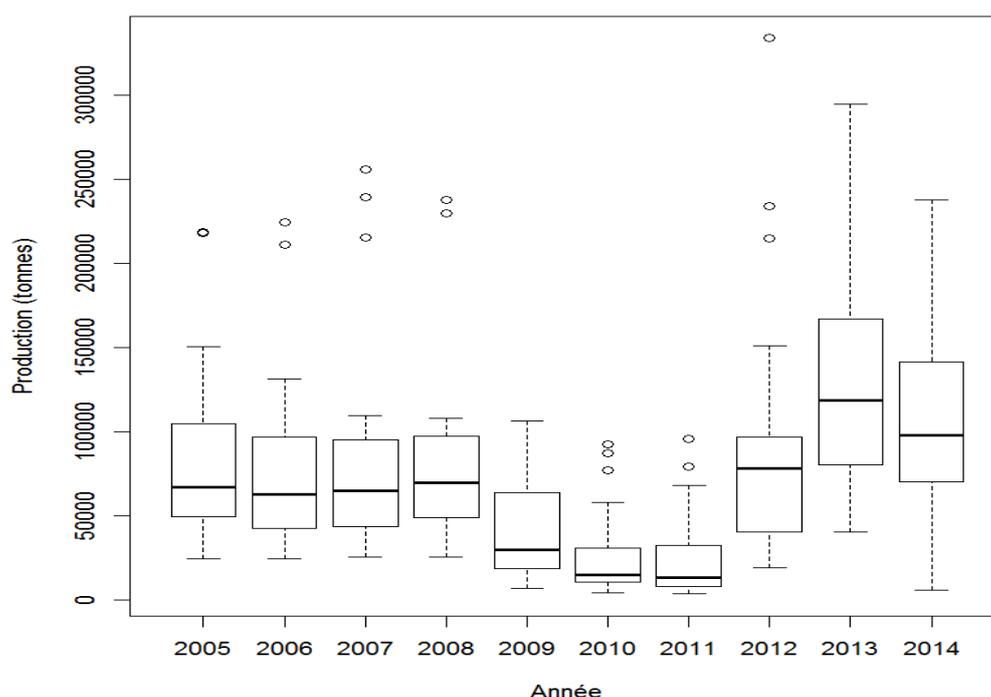
Les boîtes à moustaches précédentes confirment les résultats du **Tableau 2**. Il semble y avoir une différence entre les productions moyennes selon les provinces mais cette différence semble disparaître en excluant la province de Gitega et celle de Kayanza. Les statistiques descriptives de la production vivrière selon les années figurent dans le **Tableau 3**.

Tableau 3 : Statistiques descriptives de la production vivrière selon les années

Année	Minimum	Moyenne	Écart-type	Médiane	Maximum
2005	24355	83971,04	53085,16	66680	218474
2006	23970	76829,46	51525,9	62417	224316
2007	25284	83346,04	64009,52	64475,5	255419
2008	25087	87345,21	61708,75	69355,5	237826
2009	6912	42709,25	30468,15	29683,5	106186
2010	3821	26792,21	25717,83	14834,5	92164
2011	3629	25962,96	25698,27	12976	95349
2012	19048	92804,54	76052,26	77798,5	333694
2013	40204	128670,46	67831,43	118386,5	294246
2014	5541	105122,88	53725,69	97462	237683

Ce **Tableau** met en lumière les années où la production est plus importante d'une part, et d'autre part, les années où cette même production est faible. La production moyenne la plus importante est observée pour les années 2013 et 2014. C'est en 2010 où la productivité était très faible.

La **Figure 3** montre les boîtes à moustaches de la production vivrière selon les années.

**Figure 3 :** Boîtes à moustaches de la production vivrière selon les années

Les boîtes à moustaches ci-dessus confirment les résultats du **Tableau 3**. Trois groupements d'années sont observés au vu des productions moyennes. Le premier groupe est formé des années 2005 à 2008, le deuxième de 2009 à 2011 et le troisième de 2012 à 2014.

La **Figure 4** montre l'évolution de la production vivrière selon les provinces et l'année pour la saison A.

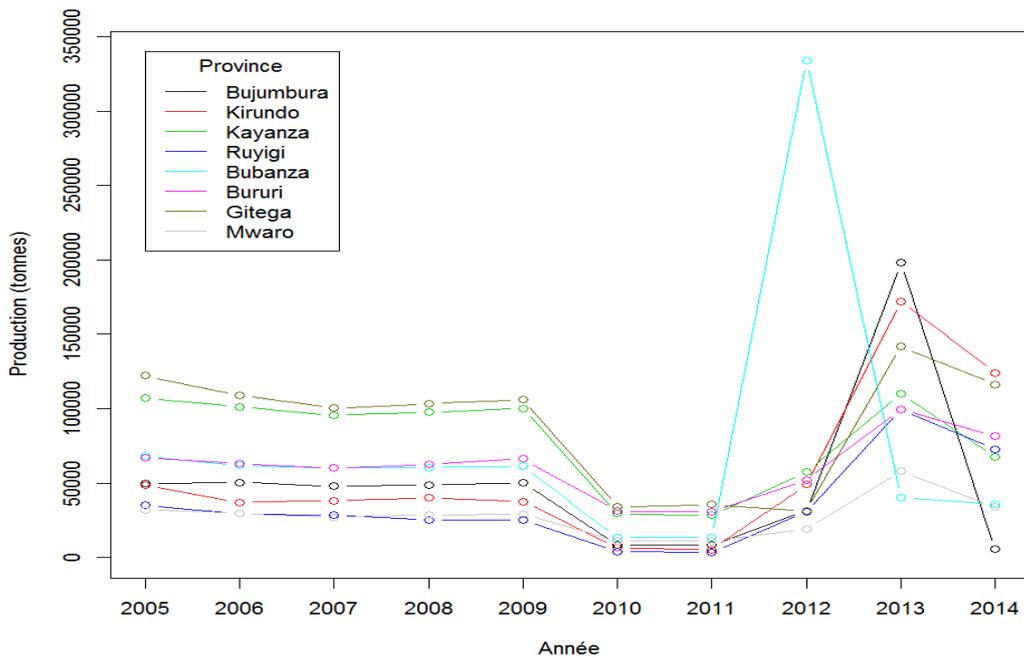


Figure 4 : Évolution de la production vivrière selon les provinces et l'année pour la saison A

De cette **Figure**, nous constatons une différence très accentuée de la production agricole entre les provinces pour les années 2012 et 2013 où les pics sont observés pour les provinces de Bubanza et Bujumbura. Nous constatons que la production agricole de la province de Bubanza a varié d'une façon significative. Par exemple, cette province occupait la première place en 2012 alors qu'elle était la dernière en 2013. Au cours de ces dix années d'étude, la province de Ruyigi se classait parmi les dernières provinces. La **Figure 5** montre l'évolution de la production vivrière selon les provinces et l'année pour la saison B.

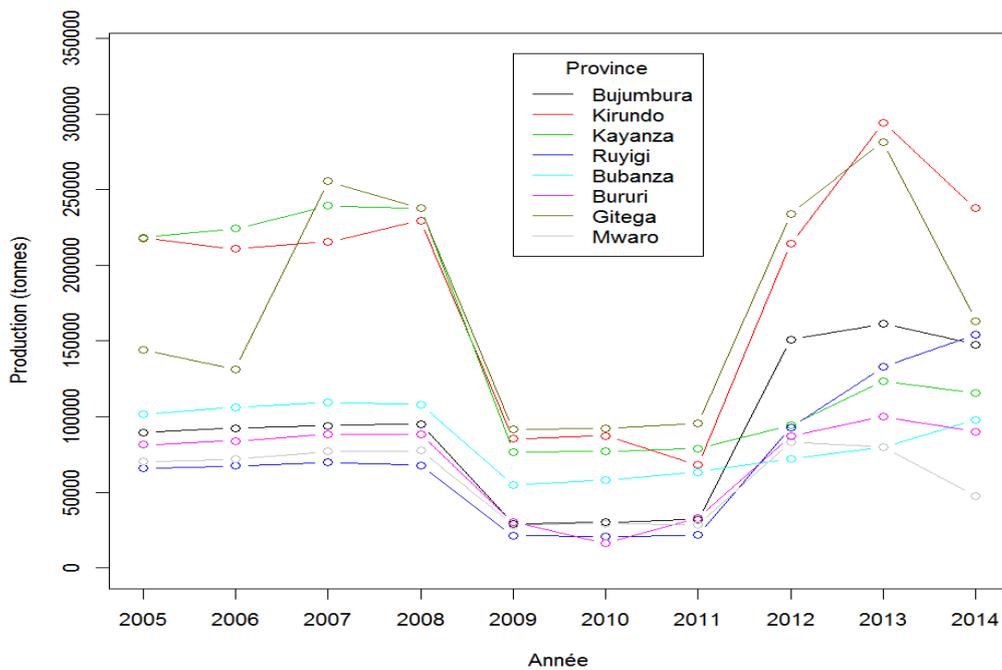


Figure 5 : Évolution de la production vivrière selon les provinces et l'année pour la saison B

Pour la saison B, les résultats de la **Figure 5** montrent que les provinces qui se démarquent des autres en termes de production sont Bujumbura en 2007 et Kirundo en 2013. Ruyigi reste toujours la province la moins productive de 2005 jusqu'en 2009. À part les provinces de Gitega, de Kirundo et celle de Kayanza, la production agricole était presque stable de 2005 à 2008 et de 2009 à 2011. L'augmentation de la production vivrière à partir de l'année 2011 est due au fait que c'est en cette année que la quantité d'engrais vendu à la population a été revue à la hausse. La **Figure 6** montre l'évolution de la production vivrière selon les provinces et l'année pour la saison C.

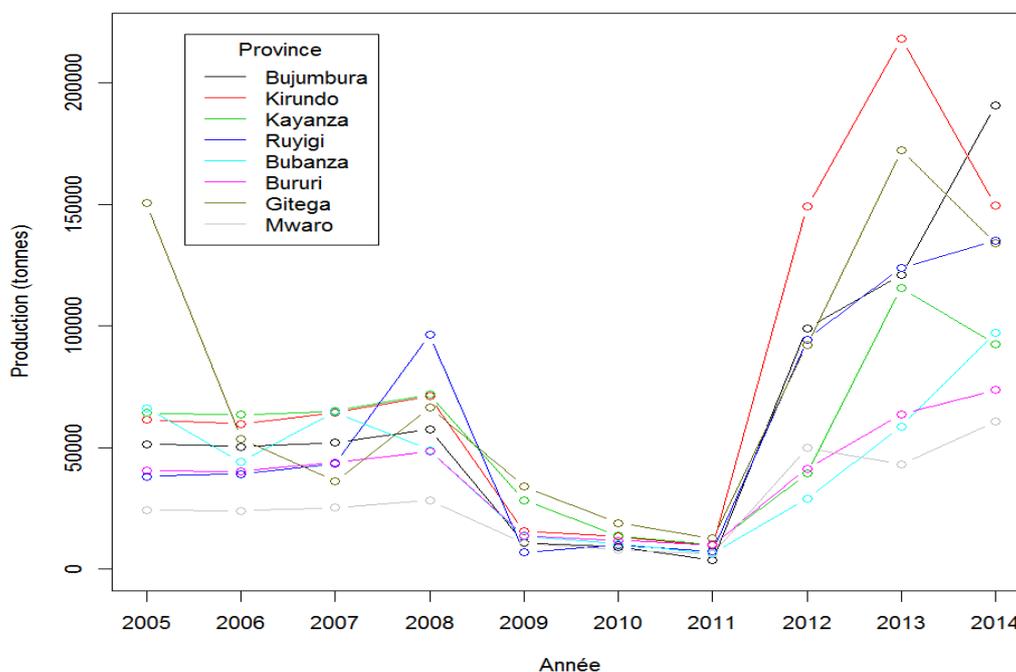


Figure 6 : Évolution de la production vivrière selon les provinces et l'année pour la saison C

Pour cette saison, toutes les provinces affichent le même comportement de 2005 à 2011 à l'exception des provinces de Gitega et de Ruyigi, cette dernière restant au plus bas niveau. Après cette année, la province de Kirundo prend le dessus jusqu'en 2013.

3-2. Analyse de la variance à un facteur

Le **Tableau 4** montre les résultats de l'analyse de la variance lorsque le facteur « Saison » est pris en considération.

Tableau 4 : Effet de la saison sur la production vivrière

Source de variation	Degré de liberté	Somme des carrés	Carré moyen	F	P-value
Factorielle	2	$1,50 \times 10^{14}$	$7,48 \times 10^{13}$	23,34	< 0,001
Résiduelle	237	$7,60 \times 10^{14}$	$3,20 \times 10^{12}$		
Totale	239	$9,10 \times 10^{14}$	$3,8 \times 10^{16}$		

Ce tableau montre que la saison a un effet significatif sur la production vivrière ($F = 23,34$; $p\text{-value} < 0,001$). Autrement dit, il existe une différence significative entre les productions vivrières moyennes des saisons. Ce résultat est confirmé par le test de permutation. Les résultats du test de Tukey pour des comparaisons multiples des moyennes sont consignés dans le **Tableau 5**.

Tableau 5 : Comparaisons multiples des productions moyennes selon les saisons

Saison	Différence	IC 95 %	P-value
A-C	3159,40	[-15237,32; 21556,12]	0,913
B-C	54468,40	[36071,68; 72865,12]	< 0,001
B-A	51309,0	[32912,28; 69705,72]	< 0,001

De ce **Tableau**, nous concluons qu'il y a une différence significative entre les productions agricoles moyennes des saisons A et B et des saisons B et C car les p-values correspondantes sont inférieures à 5 % ou les intervalles de confiance à 95 % des différences des moyennes ne contiennent pas le nombre zéro. Le **Tableau 6** montre les résultats de l'analyse de la variance lorsque le facteur « Province » est pris en considération.

Tableau 6 : Effet de la province sur la production vivrière

Source de variation	Degré de liberté	Somme des carrés	Carré moyen	F	P-value
Factorielle	7	$1,52 \times 10^{11}$	$2,17 \times 10^{13}$	6,65	< 0,001
Résiduelle	232	$7,57 \times 10^{11}$	$3,26 \times 10^{12}$		
Totale	239	$9,09 \times 10^{11}$	$3,8 \times 10^{13}$		

Comme pour la variable « Saison », la province a un effet significatif sur la production vivrière ($F = 6,65$; $p\text{-value} < 0,001$).

Le test de Tukey montre les provinces dont les productions moyennes diffèrent significativement et les résultats significatifs de ces comparaisons multiples selon les provinces sont consignés dans le **Tableau 7**.

Tableau 7 : Comparaisons multiples des productions moyennes selon les provinces

Province	Différence	IC 95 %	P-value
Kayanza-Mwaro	56348,633	[17384,61; 95312,66]	< 0,001
Kirundo-Mwaro	69287,5	[30323,48; 108251,52]	< 0,001
Gitega-Mwaro	74783,767	[35819,74; 113747,79]	< 0,001
Kayanza-Ruyigi	39384,067	[420,04; 78348,09]	0,046
Kirundo-Ruyigi	52322,933	[13358,91; 91286,96]	0,001
Gitega-Ruyigi	57819,2	[18855,18; 96783,22]	< 0,001
Kirundo-Bururi	51084,467	[12120,44; 90048,49]	0,002
Gitega-Bururi	56580,733	[17616,71; 95544,76]	< 0,001
Kirundo-Bubanza	39772,033	[808,01; 78736,06]	0,042
Gitega-Bubanza	45268,3	[6304,28; 84232,32]	0,011
Gitega-Bujumbura	44342,7	[5378,68; 83306,72]	0,014

Ce **Tableau** montre que la province de Mwaro diffère des provinces de Kayanza, Kirundo et Gitega en termes de production vivrière moyenne. De même, la province de Ruyigi diffère des provinces de Kayanza, de Kirundo et de Gitega, Bururi diffère de Kirundo et Gitega et Bubanza diffère de Kirundo et Gitega. Cette dernière province diffère aussi de Bujumbura. Comme les résidus de l'ANOVA 1 ne sont pas normalement distribués, une analyse de la variance non paramétrique de Kruskal-Wallis a été effectuée. Le test de Kruskal-Wallis rejette l'effet de la saison sur la production ($\chi^2 = 41,43$, ddl = 2, $p\text{-value} < 0,001$) et l'effet de la province sur la production ($\chi^2 = 38,39$, ddl = 7, $p\text{-value} < 0,001$). Le test de Wilcoxon montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les productions moyennes pour les saisons A et C ($p\text{-value} = 0,64$) et qu'il y a une différence significative entre les productions moyennes pour les provinces Gitega et Bururi

(p-value = 0,004), Gitega et Mwaro (p-value < 0,005), Gitega et Ruyigi (p-value = 0,013), Kayanza et Mwaro (p-value < 0,001) et Kirundo et Mwaro (p-value = 0,021). Le **Tableau 8** montre les résultats de l'analyse de la variance à deux facteurs (Saison et Province) avec interaction.

Tableau 8 : Effet de la saison et de la province sur la production vivrière

Source de variation	Degré de liberté	Somme des carrés	Carré moyen	F	P-value
Saison	2	$1,50 \times 10^{11}$	$7,48 \times 10^{10}$	30,77	< 0,001
Province	7	$1,52 \times 10^{11}$	$2,17 \times 10^{10}$	8,93	< 0,001
Saison \times Province	14	$8,24 \times 10^{10}$	$5,89 \times 10^9$	2,42	0,003
Résiduelle	216	$5,25 \times 10^{11}$	$2,43 \times 10^9$		
Totale	239	$9,09 \times 10^{11}$	$3,8 \times 10^{13}$		

Ce **Tableau** montre que la production vivrière est influencée par la saison (F = 30,77; p-value < 0,001), la province (F = 8,93; p-value < 0,001) et l'interaction entre ces deux variables (F = 2,42; p-value = 0,003). La significativité de l'effet d'interaction entre la saison et la province sur la production vivrière est confirmée par la **Figure 7**.

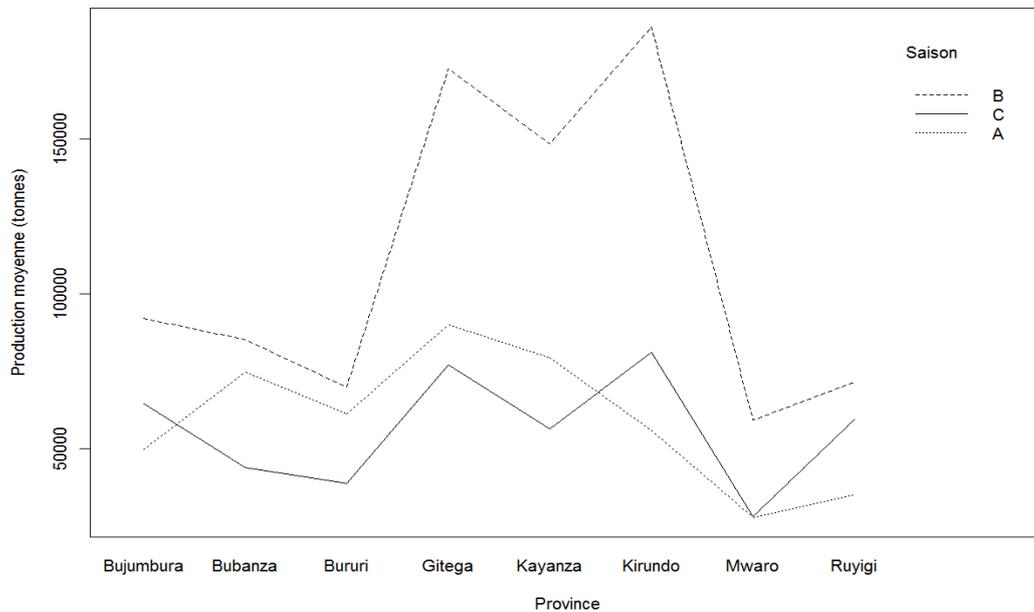


Figure 7 : Interaction entre la saison et la province sur la production vivrière

Le **Tableau 9** montre les résultats du test de normalité des résidus.

Tableau 9 : Normalité des résidus selon la saison

Saison	Statistique W de Shapiro-Wilk	P-value
Saison A	0,77	< 0,001
Saison B	0,99	0,555
Saison C	0,95	0,006
Ensemble	0,95	< 0,001

Ces résultats montrent que, globalement, les résidus ne suivent pas une loi normale dans deux niveaux de la saison (A et C).

Le **Tableau 10** montre les résultats du test de normalité des résidus.

Tableau 10 : Normalité des résidus selon les provinces

Province	Statistique W de Shapiro-Wilk	P-value
Bujumbura	0,88	0,003
Bubanza	0,64	< 0,001
Bururi	0,94	0,090
Gitega	0,95	0,146
Kayanza	0,95	0,231
Kirundo	0,97	0,612
Mwaro	0,97	0,507
Ruyigi	0,91	0,018
Ensemble	0,95	< 0,001

Les résidus ne sont pas normalement distribués dans les niveaux (Bujumbura, Bubanza et Ruyigi) de la variable « Province » et dans l'ensemble. Le test de Bartlett ne rejette pas l'hypothèse d'homogénéité des variances des résidus selon les saisons ($\chi^2 = 2,16$, ddl = 2, p-value = 0,340) et rejette cette hypothèse selon les provinces ($\chi^2 = 61,28$, ddl = 7, p-value < 0,001). Bien que la variance des résidus ne soit pas homogène dans les niveaux de la variable « Province », ce manquement est compensé par le fait que les tailles des échantillons sont identiques, et que les variances des échantillons ne diffèrent pas dans des proportions allant jusqu'à un facteur 9, selon George E. P. Box (M. M. TRIOLA & F. M. TRIOLA, 2012).

4. Discussion

La production agricole est influencée négativement par le fait de combiner plusieurs cultures dans un même champ. Cette combinaison des cultures est pratiquée dans toutes les provinces du pays. De ce fait, ces cultures entrent en compétition non seulement à la recherche de la lumière qui facilite la photosynthèse mais également à celle des éléments nutritifs qui favorisent la croissance. Le manque d'alternance des cultures dû à la rareté des terres cultivables est aussi un facteur qui influence la baisse de la production agricole. Notre étude montre que la production agricole moyenne diffère selon les saisons et les provinces. La disparité de la production agricole selon les saisons est expliquée par la variation de la pluviométrie. Par exemple, en saison B, il pleut abondamment dans la mesure où elle correspond à la grande saison des pluies. C'est au cours de cette dernière où une grande variété de cultures est observée. Pendant cette période, les cultures qui dominent sont entre autres le haricot et les bananes. En général, la production est abondante par rapport aux autres saisons sauf que les agriculteurs associent plusieurs variétés de cultures. La saison A, quant à elle, correspond à la petite saison des pluies et est caractérisée par une pluviosité irrégulière et peu de cultures comme le maïs et le manioc sont pratiquées. La baisse de la production agricole au cours de la saison C est due en grande partie au fait que la culture se fait principalement dans les marais car elle correspond à la saison sèche (**Tableau 1**). À côté des saisons, les provinces ont aussi un effet significatif sur la production agricole. Les provinces qui se démarquent des autres sont, selon notre étude : Gitega, Kirundo et Kayanza. Les cinq autres provinces occupent les places restantes (**Tableau 2**). Au bas du classement, il y a les provinces de Mwaro et de Ruyigi. Ces différences sont dues, en partie, à la situation géographique, à l'étendue des provinces, à l'inadaptation et à la rotation de certaines cultures, à la mise en jachère de la terre, au nombre d'habitants et à d'autres facteurs sous adjacents. Par exemple, dans les provinces de Bururi et de Mwaro, la culture de la banane est rarement exploitée et même les agriculteurs ne sont pas nombreux, contrairement aux provinces de Gitega, de Kirundo et celle de Kayanza. La rareté des terres cultivables ne permet pas aux agriculteurs de certaines provinces de mettre en jachère leurs terres. La disparité dans la

production agricole n'est pas seulement due aux saisons et provinces. Elle est aussi influencée par des facteurs non utilisés dans cet article à savoir le manque de matériels agricoles adaptés, celui des semences, du fumier et des fertilisants organiques de qualité [23]. Pour accroître cette production, il faudrait que la population mette en jachère les terres cultivables, planter des arbres et tracer des courbes de niveaux. La jachère joue un rôle capital en agriculture car elle favorise la prolifération de la faune et de la flore et constitue ainsi un véritable abri des vers qui contribuent à l'aération du sol. Les arbres favorisent les précipitations, emmagasinent l'eau de pluie, favorisent l'infiltration de l'eau et diminuent l'érosion. Les courbes de niveaux permettent, au même titre que les arbres, de lutter contre l'érosion. Notre étude montre que les taux de variation de la production agricole diffèrent selon les années. Par exemple, entre 2009 et 2010, il y a eu une tendance à la diminution de la production agricole suivie d'une augmentation de cette même production entre 2012 et 2013 pour la saison A (*Figure 4*). Pour les saisons B et C, par contre, une tendance à la diminution de la production agricole est observée entre 2008 et 2009 et une augmentation entre 2011 et 2012 (*Figure 5 et Figure 6*). Pour la quasi-totalité des provinces et pour toutes les saisons, la production agricole reste stable de 2005 à 2008. Ces années correspondent aux premières années de la sortie de la crise qui a secoué le pays de 1993 à 2002, suivie d'une période de transition qui s'est terminée en 2005.

La production agricole reste la plus faible de 2009 à 2011 comparée à celle des autres années (*Figure 3*). Pour presque toutes les saisons, la production vivrière était faible entre 2009 et 2011. Cette production a baissé de 2008 à 2009 suite à l'excès des pluies qui ont affecté les cultures surtout dans les marais pour la saison A, à l'irrégularité des pluies pour la saison B, à une longue saison sèche et à la mauvaise répartition des pluies sur une grande partie du territoire national. Globalement, les données du *Tableau 3* montrent qu'entre 2005 et 2014, la production vivrière moyenne a augmenté d'environ de 25 %. En effet, l'indice calculé est obtenu en faisant le rapport entre la production moyenne observée en 2014 et celle observée en 2005, puis en multipliant ce rapport par 100. Le taux d'accroissement est alors obtenu en soustrayant cet indice de 100. Cette augmentation est due à la stabilité politico-économique et aux conditions climatiques favorables à l'agriculture. Au Burundi, l'agriculture se heurte cependant à plusieurs défis. Les terres ne sont pas bien gérées et une part importante des terres est dégradée. De plus, l'érosion des sols a été identifiée comme cause principale de la baisse de production agricole vivrière entre certaines années et les terres cultivables deviennent de plus en plus rares à cause de la forte croissance démographique. Cette rareté des terres est accompagnée de l'absence de rotation des cultures. Ainsi, la surexploitation des sols provoque une infertilité et une forte érosion de ces derniers engendre une diminution de la production agricole.

La raréfaction croissante des terres entraîne également un exode rural des jeunes vers les villes à cause du manque de travail en milieu rural. Cet exode accroît la population des milieux urbains au détriment des milieux ruraux. En conséquence, la production agricole pourrait être influencée d'une façon indirecte de cet exode. Signalons aussi que la faible productivité de certaines provinces est le résultat de l'illettrisme. Les recherches ont montré que le niveau d'éducation des producteurs a un effet positif sur la productivité de l'exploitation. En effet, une étude longitudinale réalisée en Afrique de l'Est a montré que le niveau d'instruction a un impact sur la production agricole et l'économie [24]. De plus, une étude réalisée au Malawi a montré que l'éducation a une influence positive sur la production agricole en général et sur la production de maïs en particulier [25]. D'autres chercheurs comme S. Kampelmann, E. Oduro-Ofori et leurs collègues respectifs ont prouvé que le niveau d'étude a un effet positif sur la productivité [26, 27]. Cet effet s'explique en partie par le niveau d'adaptation et l'utilisation des nouvelles techniques. Ce problème touche aussi le Burundi. En effet, les statistiques démographiques réalisées en 2016 montrent que 36,2 % des femmes et 23,7 % des hommes n'avaient pas terminé les études primaires et, 39,2 % des femmes et 46,3 % des hommes les avaient terminées [28]. Pour terminer, nous signalons que, selon le rapport de la Banque Mondiale sur le Burundi de 2014, « la mauvaise performance du secteur agricole au Burundi est due en partie aux insuffisantes

modernisations, commercialisations et diversifications ». Remarquons que l'année 2014 a été proclamée « Année internationale de l'agriculture familiale » par l'Organisation des Nations Unies (ONU) pour mettre en exergue le rôle joué par les exploitations familiales dans la résolution du problème de la faim [29]. Les différences en moyenne de la production vivrière au Burundi de 2005 à 2014 obtenues dans cette étude sont dues en grande partie aux saisons et aux provinces via les effets internes de ces facteurs. Ces résultats sont en concordance avec les idées des autres chercheurs. La fiabilité de ces résultats réside de la méthode analytique utilisée dans ce travail et la vérification de certains postulats. Une étude ultérieure pourrait s'intéresser à la production vivrière des autres provinces qui ne font pas partie de notre échantillon en tenant compte de la période 2015 à 2018 et y inclure d'autres produits tels que le riz, l'huile de palme et le café.

5. Conclusion

Cette étude a montré que la saison, la province et leur interaction ont un effet significatif sur la production vivrière grâce à l'analyse de la variance. De 2004 à 2014, la province de Gitega s'est démarquée en ce qui concerne la production vivrière suivie des provinces de Kirundo et de Kayanza. Selon les années, la production vivrière moyenne la plus élevée a été observée en 2013, et au cours de la saison B. Les productions moyennes n'étaient pas significativement différentes pour les saisons A et C mais il y avait une différence significative entre les productions moyennes pour les provinces Gitega et Bururi, Gitega et Mwaro, Gitega et Ruyigi, Kayanza et Mwaro et, Kirundo et Mwaro respectivement. L'analyse des séries temporelles a montré que, pour la plupart des saisons et pour toutes les provinces, la production vivrière était faible entre 2009 et 2011.

Références

- [1] - J. G. DA SILVA, « Changement climatique, agriculture et sécurité alimentaire », Rome (2016), <http://www.fao.org/news/story/fr/item/453480/icode/>, (Janvier 2019)
- [2] - A. MEYBECK, E. LAVAL, R. LEVESQUE et al., « Sécurité alimentaire et nutrition à l'heure des changements climatiques. Actes du Colloque international organisé par le gouvernement du Québec en Collaboration avec la FAO », Québec (2017), Rome FAO (2018), 134p, www.fao.org/3/CA1334FR/ca1334fr.pdf, (Décembre 2018)
- [3] - Nations Unies, « Transformer notre monde : le Programme de développement durable à l'horizon 2030 (Résolution A/RES/70/1 de l'Assemblée générale des Nations Unies) », New York §45 (2015), <https://www.cncd.be/IMG/doc/n1529190.doc>, (Janvier 2019)
- [4] - FAO, FIDA, OMS, PAM et UNICEF, « L'état de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde 2017, renforcer la résilience pour favoriser la paix et la sécurité alimentaire » Rome (2017), <http://www.fao.org/3/a-17695f.pdf>, (Novembre 2018)
- [5] - OCDE/FAO, « L'agriculture en Afrique subsaharienne : Perspectives et enjeux de la décennie à venir dans Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO 2016-2025 », Éditions OCDE, Paris (2016), <http://www.oecd.org/fr/publications/perspectives-agricoles-de-l-ocde-et-de-la-fao-19991150.htm>, (Janvier 2019)
- [6] - Programme des Nations Unies pour le Développement, « Indices et indicateurs du développement humain : mise à jour statistique 2018 », New York (2018), http://hdr.undp.org/sites/default/files/2018_summary_human_development_statistical_update_fr.pdf, (Décembre 2018)
- [7] - ISTEEBU, « Changement climatique, agriculture et sécurité alimentaire », Bujumbura, (2015)

- [8] - ISTEERU, « Annuaire des Statistiques de l'Environnement au Burundi », Bujumbura, (2015) 60 p., [https://unstats.un.org/unsd/environment/Compendia/Burundi Directory of Statistics of the Burundi Environment 2015 French.pdf](https://unstats.un.org/unsd/environment/Compendia/Burundi_Directory_of_Statistics_of_the_Burundi_Environment_2015_French.pdf), (Décembre 2018)
- [9] - S. LIERSCH, R. RIVAS and K. FRITZSCHE, « Rapport sur le changement climatique au Burundi », Berlin, (2014), https://www.adelphi.de/de/system/files/mediathek/bilder/changement_climatique_au_burundi_r%C3%A9sum%C3%A9_fr_1.pdf, (Janvier 2019)
- [10] - OCDE/FAO, « Rapport OCDE-FAO sur les perspectives agricoles 2016-2025 : la fin du discours sur « les 9 milliards de bouches à nourrir » ? », (2016), <http://www.agriculture-strategies.eu/2018/01/rapport-ocde-fao-sur-les-perspectives-agricoles-2016-2025-la-fin-du-discours-sur-les-9-milliards-de-bouches-a-nourrir/>, (Janvier 2019)
- [11] - R. WEBSTER and R. M. LARK, “Analysis of variance in soil research: let the analysis fit the design”, *Eur J Soil Sci.*, 69 (1) (2018) 126 - 39
- [12] - R. C. YANG, “Towards understanding and use of mixed-model analysis of agricultural experiments”, *Can J Plant Sci.*, 90 (5) (2010) 605 - 27
- [13] - L. A. THOMPSON, S. M. STRYDHORST, L. M. HALL et al., “Effect of cultivar and agronomic management on feed barley production in Alberta environments”, *Can J Plant Sci.*, 98 (6) (2018) 1304 - 20
- [14] - S. GREENLAND, S. J. SEN, K. J. ROTHMAN et al., “Statistical tests, P values, confidence intervals, and power : a guide to misinterpretations”, *Eur J Epidemiol.*, 31 (2016) 337 - 50
- [15] - N. M. RAZALI and Y. B. WAH, “Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests”, *J Stat Model Nalytics*, 2 (1) (2011) 21 - 33
- [16] - A. GHASEMI and S. ZAHEDIASL, “Normality Tests for Statistical Analysis: A Guide for Non-Statisticians”, *Int J Endocrinol Metab.*, 10 (2) (2012) 486 - 9
- [17] - K. P. JAYALATH, H. K. T. Ng, A. B. MANAGE et al., “Improved tests for homogeneity of variances”, *Commun Stat - Simul Comput.*, 46 (9) (2017) 7423 - 46
- [18] - F. A. S. SILVA and C. A. V. AZEVEDO, “Comparison of means of agricultural experimentation data through different tests using the software Assisat”, *Afr J Agric Res.*, 11 (37) (2016) 3527 - 31
- [19] - F. S. NAHM, “Nonparametric statistical tests for the continuous data: the basic concept and the practical use”, *Korean J Anesthesiol.*, 69 (1) (2016) 8 - 14
- [20] - J. T. E. RICHARDSON, “Kruskal—Wallis Test. In: Frey, Bruce B. ed. The SAGE Encyclopedia of Educational Research, Measurement, and Evaluation”, In: Frey (first), éditeur. The SAGE Encyclopedia of Educational Research, Measurement, and Evaluation. *SAGE Publications*, (2018) 937 - 9
- [21] - I. SAMONENKO and J. ROBINSON, “A new permutation test statistic for K-sample multivariate designs”, *Aust N Z J Stat.*, 60 (1) (2018) 132 - 9
- [22] - R Development Core Team, “R : A language and environment for statistical computing”, R Foundation for Statistical Computing, (2016), Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, <https://cran.r-project.org/>, (Juillet 2018)
- [23] - M. FAYE, A. FALL, G. FAYE et al., « La variabilité pluviométrique et ses incidences sur les rendements agricoles dans la région des Terres Neuves du Sénégal oriental », *Belgeo*, (1) (2018), <http://journals.openedition.org/belgeo/22083>, (Janvier 2019)
- [24] - K. DAVIS, E. NKONYA, E. KATO et al., “Impact of Farmer Field Schools on Agricultural Productivity and Poverty in East Africa”, *World Dev.*, 40 (2) (2012) 402 - 13
- [25] - T. FERREIRA, “Does education enhance productivity in smallholder agriculture? Causal evidence from Malawi”, Stellenbosch Econ Work Pap WP05, (2018), <https://www.ekon.sun.ac.za/wpapers/2018/wp052018>, (Janvier 2019)

- [26] - S. KAMPELMANN, F. RYCX, Y. SAKS et al., « Does education raise productivity and wages equally? The moderating role of age and gender », *IZA J Labor Econ.*, 7 (2018) 1 - 37
- [27] - E. ODURO-OFORI, P. ABOAGYE ANOKYE and E. ACQUAYE NAA AKU, « Effects of education on the agricultural productivity of farmers in the offinso municipality », *Int J Dev Res IJDR.*, 4 (9) (2014) 1951 - 60
- [28] - Ministère à la Présidence chargé de la Bonne Gouvernance et du Plan [Burundi] (MPBGP), Ministère de la Santé, Publique et de la Lutte contre le Sida [Burundi] (MSPLS), Institut de Statistiques et d'Études Économiques du, Burundi (ISTEEBU), et ICF, Institut de Statistiques et d'Études Économiques du Burundi (ISTEEBU), Ministère de la Santé Publique et de la Lutte contre le Sida [Burundi] (MSPLS), ICF International, « Troisième Enquête Démographique et de Santé », Bujumbura, Burundi : ISTEEBU, MSPLS et ICF., <https://dhsprogram.com/pubs/pdf/FR335/FR335.pdf>, (Janvier 2019)
- [29] - FAO, « La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture : ouvrir l'agriculture familiale à l'innovation », Rome, (2015), FOOD Agric ORG, <http://www.fao.org/3/a-i4040f.pdf>, (Décembre 2018)