

Évaluation des variétés hybrides de maïs jaune (*maïs zea mays l.*) dans les conditions de culture de la région maritime du Togo

Mamadou Lamarana BA^{1*}, Justin Adebayo HOUNKPEVI¹, Mamadou Lamarana SOUARE²,
Mondomdewa AGATE³, Mamadou Saliou Sandaké BALDE⁴, Ibrahima BAH⁴
et Tchadjobo TCHACONDO⁵

¹ Université de Lomé-UL, Centre d'Excellence Régional sur les Sciences Aviaires-CERSA, BP 1515, Lomé, Togo

² Institut Supérieur des Sciences et de Médecine Vétérinaire-ISSMEV, Département de Technologie et Contrôle des Produits Alimentaires-TCPA, BP 09, Dalaba, Guinée

³ Institut Togolais de Recherche Agronomique-ITRA, BP 1163, Lomé Togo

⁴ Institut de Recherche Agronomique de Guinée-IRAG, BP 1523, Conakry, Guinée

⁵ Université de Lomé-UL, Laboratoire des Sciences Biomédicales, Alimentaires et de Santé Environnementale-LaSBASE, Ecole Supérieure des Techniques Biologiques et Alimentaires-ESTBA, BP 1515, Lomé, Togo

(Reçu le 31 Mars 2024 ; Accepté le 24 Mai 2024)

* Correspondance, courriel : lamaranaba.1978@gmail.com

Résumé

La présente étude se propose d'évaluer le comportement agronomique et la composition chimique des hybrides de maïs dans les conditions de culture de la région maritime du Togo. Trois hybrides de maïs jaune et une variété locale produits par l'Institut de Recherche Agronomique de Guinée (IRAG) et l'Institut Togolais de Recherche Agronomique (ITRA) ont été testés pendant la grande saison pluvieuse à l'unité expérimentale de l'Ecole Supérieure d'Agriculture de l'Université de Lomé. Le dispositif expérimental a été celui à blocs aléatoires complets répétés quatre fois. Les résultats ont montré que l'hybride K11 a eu la durée semis-floraison la plus courte ($37,00 \pm 0,71$ jours pour la floraison mâle et $41,00 \pm 0,41$ jours pour la floraison femelle) et la variété locale Sotubaka avait un cycle plus long ($48,00 \pm 0,41$ jours pour la floraison mâle et $51,00 \pm 0,82$ jours pour la floraison femelle). L'analyse de variance a montré que les génotypes différaient au seuil $\alpha = 5\%$ pour la longueur de l'épi et du nombre d'épis récoltés. Du point de vue rendement, les maïs étaient statistiquement différents ($p < 0,0001$). L'hybride K11 a donné un rendement plus élevé ($4,478 \pm 0,02$ t/ha) et la variété Sotubaka avait le plus faible rendement ($2,473 \pm 0,02$ t/ha). La composition chimique des maïs montre que les proportions de matière sèche (MS) et de matière organique (MO) étaient élevées. L'hybride Samaz52 avait une composition plus faible en MS ($92,92 \pm 0,02\%$) et l'hybride K5 était plus riche en MS ($93,45 \pm 0,33\%$). L'hybride K11 avait la plus faible composition de MO ($89,66 \pm 0,28\%$) et l'hybride K5 avait une composition plus importante en MO ($97,86 \pm 0,09\%$). L'hybride K11 était plus riche en protéine brute ($11,03 \pm 0,07\%$ MS) et la variété Sotubaka a donné plus de matière grasse ($4,84 \pm 0,03\%$ MS). L'Energie Métabolisable (EM) dans cette étude était plus élevée pour les hybrides K5 et K11 (supérieure à 3800 Kcal/kg MS). L'analyse de la composition de l'amidon et de la zéine montre une différence significative ($p < 0,05$) entre les types de maïs. Les trois hybrides étaient plus précoces que la variété locale et avaient une valeur en EM plus élevée (environ 3830 Kcal/kg MS). L'étude a révélé que les maïs étudiés s'adaptent aux conditions agro-climatiques de la région maritime du Togo vu leur rendement et leur valeur alimentaire élevés. Ainsi, ils peuvent être utilisés dans les systèmes de production pour améliorer les revenus des utilisateurs.

Mots-clés : maïs hybrides, comportement agronomique, composition chimique, Région maritime du Togo.

Abstract

Evaluation of hybrid varieties of yellow corn (*maize zea mays l.*) under the growing conditions of the maritime region of Togo

This study aims to evaluate the agronomic behavior and chemical composition of maize hybrids under the growing conditions of the maritime region of Togo. Three yellow corn hybrids and a local variety produced by the Agronomic Research Institute of Guinea (IRAG) and the Togolese Agronomic Research Institute (ITRA) were tested during the long rainy season at the experimental unit of the Higher School of Agriculture of the University of Lomé. The experimental design was that of complete random blocks repeated four times. The results of the analysis of variance showed that the genotypes differed at the $\alpha = 5\%$ threshold for ear length, number of ears harvested and grain yield. The K11 hybrid had the shortest sowing-flowering duration (37.00 ± 0.71 days for male flowering and 41.00 ± 0.41 days for female flowering) and the local variety Sotubaka had a longer cycle. long (48.00 ± 0.41 days for male flowering and 51.00 ± 0.82 days for female flowering). From a yield point of view, the corns were statistically different ($p < 0.0001$). The K11 hybrid gave a higher yield (4.478 ± 0.02 t/ha) and the Sotubaka variety had the lowest yield (2.473 ± 0.02 t/ha). The chemical composition of corn shows that the proportions of dry matter (DM) and organic matter (OM) were high. The Samaz52 hybrid had a lower DM composition ($92.92 \pm 0.02\%$) and the K5 hybrid was richer in DM ($93.45 \pm 0.33\%$). Hybrid K11 had the lowest OM composition ($89.66 \pm 0.28\%$) and hybrid K5 had a higher OM composition ($97.86 \pm 0.09\%$). The K11 hybrid was richer in crude protein ($11.03 \pm 0.07\%$ DM) and the Sotubaka variety gave more fat ($4.84 \pm 0.03\%$ DM). The Metabolizable Energy (ME) in this study was higher for the K5 and K11 hybrids (greater than 3800 Kcal/kg DM). The analysis of the composition of starch and zein shows a significant difference ($p < 0.05$) between the types of corn. The three hybrids were earlier than the local variety and had a higher ME value (around 3830 Kcal/kg DM). The study revealed that the corn studied adapts to the agro-climatic conditions of the maritime region of Togo given their high yield and food value. Thus, they can be used in production systems to improve user income.

Keywords : *hybrid corn, agronomic behavior, chemical composition, Maritime region of Togo.*

1. Introduction

Le maïs (*Zea mays L.*) est la céréale dont la zone de culture est la plus vaste. Il fait partie des principales cultures céréalières mondiales, constituant ainsi le pilier de la sécurité alimentaire du monde [1]. En Afrique, le maïs est le principal aliment de base de la plupart des pays. Ainsi, la sécurité alimentaire de la région dépend essentiellement de sa disponibilité et de son prix. Cette céréale occupe 21 % des superficies plantées en céréale en Afrique Occidentale et centrale [2]. Au Togo, le maïs se positionne comme la principale culture céréalière de base devant le sorgho, le mil et le riz [3]. Jadis cultivé essentiellement dans les Régions des Plateaux et Maritime, la culture du maïs est progressivement répandue sur toute l'étendue du territoire national. La production de cette céréale a connu une nette évolution depuis les années 1960 jusqu'à nos jours. Elle croît environ 1,5 fois plus vite que celle du sorgho/mil. Cette tendance confirme l'engouement porté à cette spéculation qui se positionne désormais comme une culture de rente. Selon [4], le maïs est utilisé pour l'alimentation humaine et animale (volailles, porcs, bovins) et sert de matière première dans certaines industries (brasserie, savonnerie et huilerie). C'est la céréale la plus énergétique [5], due à ses atouts nutritifs (richesse en amidon, présence de protéine, de minéraux) et économiques (culture simple à produire, à récolter et à stocker) [6]. Toutefois, la production nationale reste faible car, réalisée dans la plupart par les petits producteurs agricoles souvent très peu équipés qui produisent environ 2 tonnes par campagne agricole. Ceci est dû à l'utilisation à grande échelle de variétés locales à faible potentielle bien qu'adaptées aux zones

agroécologiques, possèdent un faible potentiel de production. Pour contribuer à améliorer les rendements, il est donc nécessaire de mettre au point de variétés améliorées à haut potentiel de production pouvant résister aux fluctuations climatiques. Ainsi, La présente étude se propose d'étudier le comportement agronomique et la composition physicochimique de trois hybrides de maïs dans les conditions de culture de la région maritime du Togo.

2. Matériel et méthodes

2-1. Matériel végétal et site expérimental

Le matériel végétal utilisé dans le cadre de cette étude est constitué de quatre types de maïs jaune dont trois hybrides : K5, K11, sammaz52 et une variété locale Sotubaka (*Tableau 1*).

Tableau 1 : Variétés expérimentales de maïs

| Variétés | Type | Code | Origine |
|----------|---------|------|---------|
| K5 | Hybride | K5 | IRAG |
| K11 | Hybride | K11 | IRAG |
| Samaz52 | Hybride | S52 | ITRA |
| Sotubaka | Locale | S | ITRA |

Ces maïs ont été caractérisés du point de vue agronomique durant la grande saison pluvieuse de l'année 2022 dans l'unité expérimentale de l'Ecole Supérieure d'Agriculture de l'Université de Lomé (ESA/UL) située dans l'enceinte de l'Université de Lomé sur une superficie de 3000 m² et dans les mêmes conditions édapho-climatiques.

2-2. Méthodes

2-2-1. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental a été celui à blocs aléatoires complets répétés quatre fois. Chaque répétition a comporté quatre parcelles élémentaires. Les répétitions étaient séparées par une allée de 1m. La superficie utile du dispositif expérimental était de 2 809 m². La superficie d'une parcelle élémentaire était de 14,58 m x 9 m soit 131,22 m². Chaque parcelle élémentaire était constituée de 11 lignes de 14,58 m de longueur de 56 poquets chacune. L'écartement entre les lignes était de 0,80 m et celui entre les poquets sur les lignes de 0,50 m.

2-2-2. Conduite de l'essai

L'essai a été installé en condition hydrique strictement pluviale du 17 avril au 22 Août 2022 (grande saison pluvieuse au Togo) sur un précédent cultural constitué du haricot. Avant la mise en place du maïs, un bon nettoyage de la parcelle a été effectué suivi d'un labour au tracteur à une profondeur de 20 cm et d'un hersage. Un émottage manuel a été effectué pour préparer le lit de semence (*Figure 1*). Durant la période de l'expérimentation une variation de température a été enregistrée en fonction des mois. Ainsi, c'est au mois d'août que la plus faible température a été observée à Lomé avec 23,41°C. La phase floraison-maturation de nos variétés (début Juin à fin Juillet) avait coïncidé avec des baisses de températures qui atteignaient jusqu'à 23°C. Les pluies ont débuté durant la troisième décennie du mois de Mars avec 10mm. En effet, la première pluie utile est tombée le 17 Avril avec 63,7mm et les pluies se sont poursuivies jusqu'à la fin du mois de Juillet. Toutefois, des irrégularités pluviométriques ont été enregistrées durant la phase de développement du maïs. Le cumul pluviométrique enregistré était de 850 mm durant 42 jours de pluies.



Figure 1 : Lit de semence

La matière organique constituée du fumier de ferme a été apportée à la quantité de 10 tonnes par hectare dans chaque poquet comme fumure de fond. Le semis a été fait en poquets avec 2 grains par poquet à une profondeur comprise entre 3 cm. L'épandage d'urée s'est effectué à la dose de 200 kg/ha, en deux applications : 100 kg/ha au 27^{ème} Jour Après Semis (JAS) et 100 kg/ha au 45^{ème} JAS. Deux opérations de sarco-binage ont été réalisées à deux dates différentes : d'abord au 15^{ème} JAS, ensuite au 30^{ème} JAS. Au 10^{ème} jour après la levée un insecticide a été appliqué pour lutter contre les attaques des plantules par les insectes.

2-2-2-1. Observations et mesures effectuées

Les observations et mesures ont été faites dans la parcelle utile et les paramètres étudiés étaient.

- **Floraison mâle (FM)** : c'est le nombre de jours après semis pour atteindre la floraison mâle (50 % des plantes présentes dans le carré de rendement émettant du pollen) ;
- **Floraison femelle (FF)** : c'est le nombre de jours du semis à la sortie des soies de 50 % des plantes de la parcelle utile ;
- **Hauteur des plants (HP)** : c'est la mesure de la hauteur des plants, du sol jusqu'à la base de la panicule. Cette mesure est exprimée en centimètres (cm). Les mesures étant faites sur 5 plants pris au hasard dans le carré de rendement ;
- **Hauteur d'insertion de l'épi (HIE)** : elle correspond à la mesure en centimètre de la hauteur d'insertion de l'épi depuis la base de la plante jusqu'au nœud d'insertion de l'épi.
- **Nombre d'épis récoltés (NER)** : le nombre d'épis récoltés par hectare a été calculé par la **Formule** suivante :

$$\text{NER/ha} = \frac{\text{nombre épis récoltés} \times 10000}{\text{nombre de plants récoltés} \times 0.75 \times 0.25} \quad (1)$$

- **Longueur épi (LE)** : elle va consister à mesurer juste après la récolte la longueur de cinq épis choisis au hasard dans chaque carré de rendement ;
- **Diamètre épi (DE)** : C'est la mesure du diamètre de cinq épis choisis au hasard dans chaque carré de rendement ;
- **Rendement en grain (RG)** : le rendement en Kg/ha a été calculé par la **Formule** suivante :

$$(\text{RG}) = \frac{[\text{poids grains} \times ((100 - \text{humidité à la récolte}) / 85)] \times 10000}{\text{nombre de plants récoltés} \times 0.75 \times 0.25} \quad (2)$$

➤ **Hétérosis standard**: l'hétérosis standard a été calculée par la **Formule** suivante :

$$H_s = \left(\frac{\text{Rendement variété} - \text{Rendement témoin}}{\text{Rendement témoin}} \right) \times 100 \quad (3)$$

2-2-2-2. Analyse chimique des principaux nutriments des quatre types de maïs jaune

Les analyses chimiques ont porté sur 100g de chaque type de maïs qui ont été finement broyés à l'aide d'un broyeur de type GLEN CRESTON pour faciliter les manipulations pendant les analyses. Ces échantillons ont été analysés selon les méthodes officielles (**Tableau 2**) approuvées par [7] pour évaluer leurs teneurs en Matière Sèche (MS), Matière Organique (MO), Protéine Brute (PB) ou Matières Azotées Totales (MAT), Matière Grasse (MG), Cellulose Brute (CB) et en Cendres Totales (CT).

Tableau 2 : Méthodes chimiques d'analyse

| Composants | Méthodes d'analyse |
|--------------------------|--|
| <i>Matière Sèche</i> | Séchage à l'étuve à 105 °C jusqu'à obtention d'un poids constant |
| <i>Matière Organique</i> | Par différence avec la formule, MO (%) = 100 - CT (%) |
| <i>Protéine Brute</i> | Détermination de l'Azote par la méthode de Kjeldahl. L'Azote dosé est multiplié par 6,25 pour trouver la teneur en PB |
| <i>Matière Grasse</i> | Extraction au Soxhlet avec de l'éther pétrole (40-60 °C) pendant 6 h |
| <i>Cellulose Brute</i> | Méthode de Weende qui se résume en deux hydrolyses acides et une autre alcaline séparées par une filtration et un rinçage à l'eau chaude |
| <i>Cendres Totales</i> | Calcination au four électronique à 550 °C pendant 7 h |

2-2-2-3. Détermination de la teneur totale en amidon des quatre types de maïs jaune

La teneur totale en amidon (AT) dans les échantillons de maïs a été déterminée à l'aide d'une méthode enzymatique (procédure de dosage de l'amidon total). Le glucose libre (GL) a été déterminé en utilisant une modification des méthodes de Luff-Schoorl et Nelson-Somogy. Un échantillon (4 g) a été mélangé à 125 ml d'eau sur un shaker pendant 30 min. Des solutions Carrez I et Carrez II ont été ajoutées, puis de l'eau jusqu'à 250 ml. Après filtration, 25 ml de solution ont été mélangés à 15 ml de HCl à 7,2 % solution et incubé pendant 5 min dans un bain-marie à 65-70 °C. Après refroidissement, le mélange a été neutralisé avec une solution de NaOH à 28 % et rempli jusqu'à 25 ml d'eau. Une aliquote (0,5 ml) a été mélangé avec un réactif au cuivre (solution contenant 0,2 M d'hydrogène sodique phosphate, tartrate de potassium et de sodium 0,14 M, hydroxyde de sodium 0,1 M, sulfate de cuivre 0,04 M et sulfate de sodium 1,27 M) et incubé au bain-marie bouillant pendant 10 min. Après refroidissement de l'aliquote, 1 ml de réactif colorant à l'arsenic (0,045 M de molybdate d'ammonium tétrahydraté et 0,02 M d'arséniate de sodium dans 0,76 M d'acide sulfurique) était ajouté et le mélange a été laissé au repos pendant 5 minutes. Les mélanges ont ensuite été dilués avec 15 ml d'eau, soigneusement mélangés, et l'absorbance a été mesurée à 450 nm. La teneur apparente en amylose a été déterminée comme décrit par [8]. La zéine totale a été extraite en triple en utilisant une solution de Borate de sodium 0,0125 M (pH 10,0), 1 % de dodécylsulfate de sodium et 2 % de 2-mercaptoéthanol. Après trois extractions, les surnageants ont été regroupés sans zéine, les protéines ont été précipitées avec de l'éthanol. Le surnageant représentant la fraction totale de zéine a été séché à 60 °C dans des tubes Kjeldahl et analysé pour extraire l'azote par la méthode Kjeldahl ; la teneur totale en zéine a été calculée à l'aide du facteur 6,25. La teneur en zéine de toutes les variétés de maïs était exprimée par rapport à l'amidon total pour souligner son rôle dans l'amidon de l'endosperme du maïs.

2-3. Analyses statistiques

Les données obtenues ont été soumises à une analyse descriptive sur le logiciel GraphPad Prism 8.0.2 où une analyse de variance (ANOVA) à un facteur a été réalisée. Les différences statistiques significatives ont été mises en évidence par le test de Duncan à 95 % de niveau de confiance.

3. Résultats

3-1. Performances agronomiques des maïs

Les résultats de l'analyse de variance montrent que les génotypes différaient au seuil $\alpha = 5\%$ pour la longueur de l'épi, du nombre d'épis récoltés et du rendement en grains (*Tableau 3*).

3-1-1. Cycle de semis-floraison mâle

Les variétés ont eu en moyenne une durée de semis-floraison mâle de 43 jours (*Figure 2*). L'analyse statistique montre que les variétés étaient différentes ($p < 0,05$) pour la durée de semis-floraison mâle. L'hybride K11 a eu la durée la plus courte ($37,00 \pm 0,71$ jours) suivi de l'hybride K5 ($38 \pm 0,91$ jours) tandis que la variété Sotubaka a eu la plus longue durée ($48,00 \pm 0,41$ jours). L'hybride Samaz52 avec une durée de $43 \pm 0,71$ jours a eu la durée la plus proche de la moyenne (43 jours) de l'ensemble des variétés étudiées.

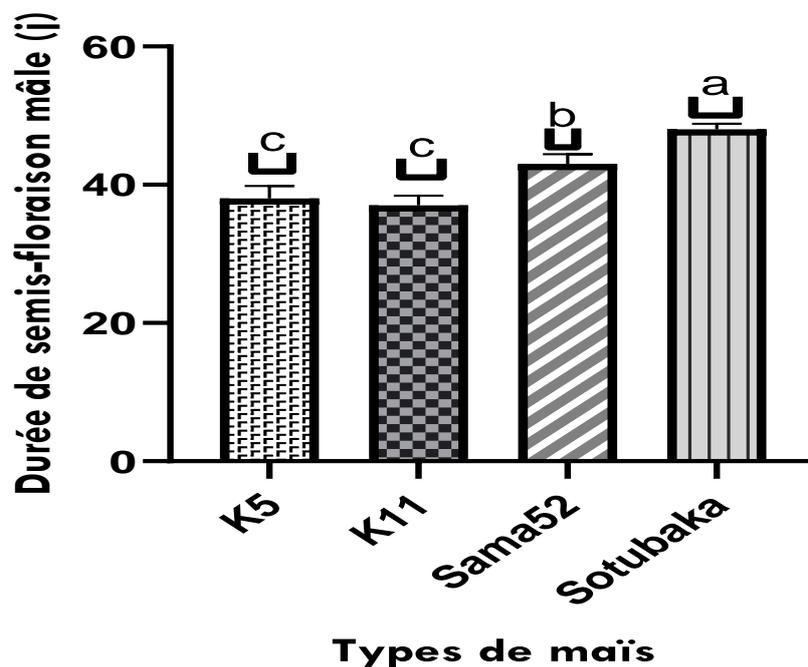


Figure 2 : Répartition des types de maïs en fonction de la durée de semis-floraison mâle

Les histogrammes suivis des lettres différentes au sein d'une même ligne sont significativement différents au seuil $p < 0,05$.

3-1-2. Cycle de semis-floraison femelle

En moyenne, toutes les variétés ont un cycle semis-floraison femelle moyen de 46 jours et étaient statistiquement différents ($p < 0,05$). L'hybride K11 a eu le cycle le plus court ($41,00 \pm 0,41$ jours) tandis que la variété locale Sotubaka a eu le cycle le plus long ($51,00 \pm 0,82$ jours). Les hybrides K5 et Samaz52 ont eu des cycles intermédiaires plus ou moins proches $45,00 \pm 0,41$ et $47,00 \pm 0,71$ jours respectivement plus longs que l'hybride K11 mais moins que la variété Sotubaka (Figure 3).

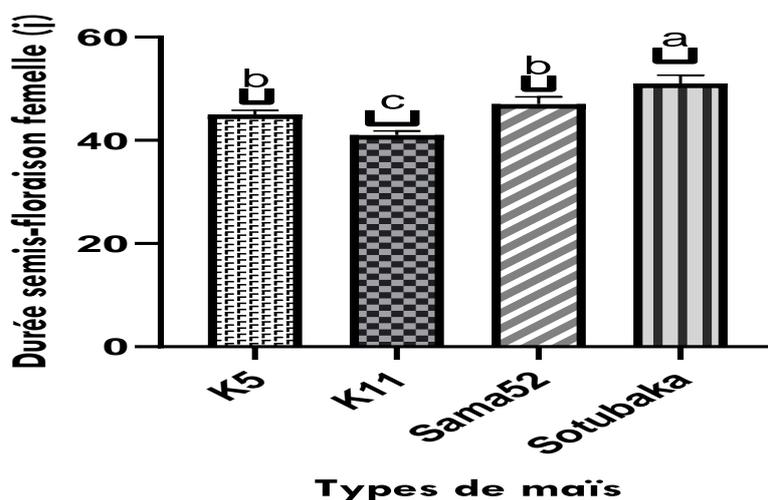


Figure 3 : Répartition des types de maïs en fonction de la durée de semis-floraison femelle

Les histogrammes suivis des lettres différentes au sein d'une même ligne sont significativement différents au seuil $p < 0,05$. A partir du tableau III, il ressort que la hauteur des plants a varié de 146 cm à 194 cm avec une moyenne de $173,75 \pm 3,35$ cm. Le test de Student-newman-keuls donne une classification des variétés au seuil $\alpha = 5 \%$ en trois groupes. Le premier groupe (K5) qui présente la plus petite hauteur moyenne de l'étude ($168,20 \pm 7,38$ cm). Ensuite le deuxième groupe intermédiaire formé de l'hybride K11 avec une hauteur moyenne de $171,20 \pm 8,34$ cm et enfin le troisième groupe constitué par l'hybride Samaz52 et la variété locale Sotubaka ayant respectivement les hauteurs moyennes de $177 \pm 5,75$ cm et $178,60 \pm 6,19$ cm. La hauteur d'insertion de l'épi (HIE) a varié de 64 à 129 cm dans l'essai avec une moyenne de $96,95 \pm 3,36$ cm. La variété K11 a eu la plus faible hauteur d'insertion de l'épi ($91,60 \pm 7,68$ cm) tandis que la variété locale Sotubaka et l'hybride Samaz52 ont présenté les plus grandes hauteurs d'insertion respectivement $100,40 \pm 5,69$ et $99,00 \pm 5,66$ cm. L'hybride K5 a présenté la hauteur d'insertion relativement inférieure à celles-ci ($96,80 \pm 8,96$ cm) mais supérieure à l'hybride K11. L'hybride K11 a donné des épis plus longs ($27,60 \pm 0,33$ cm) et les épis de la variété Sotubaka étaient les plus petits ($24,60 \pm 0,42$ cm) dans le lot. Il n'existe pas de différence significative entre les hybrides K5, K11 et Samaz52 ($P > 0,05$) mais aussi entre l'hybride Samaz52 et la variété locale Sotubaka pour ce paramètre. Le diamètre moyen des épis de ces maïs était de $7,10 \pm 0,14$ cm. L'étude montre qu'il n'existe pas de différence significative entre les types de maïs ($p > 0,05$). Néanmoins l'hybride K11 et la variété locale Sotubaka ont présenté des diamètres de l'épi plus élevés ($7,38 \pm 0,23$ cm) chacune par rapport aux hybrides K5 et Samaz52 avec des diamètres de $6,88 \pm 0,13$ et $6,75 \pm 0,39$ cm respectivement. Les hybrides K5 et K11 n'ont présenté aucune différence significative ($p < 0,0001$) et avaient moins d'épis récoltés par rapport à l'hybride Samaz52 et Sotubaka. L'hybride K11 a donné le plus grand rendement ($4,478 \pm 0,02$ t/ha) tandis que la variété Sotubaka avait le plus faible rendement ($2,473 \pm 0,02$ t/ha). Du point de vue rendement, les maïs étaient statistiquement différents ($p < 0,0001$).

Tableau 3 : Performances agronomiques des maïs étudiés

| Paramètres | K5 | K11 | Samaz52 | Sotubaka | R ² | p |
|-----------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------|---------|
| Hauteur des plants (cm) | 168,20 ± 7,38 | 171,20 ± 8,34 | 177,00 ± 5,75 | 178,60 ± 6,19 | 0,08372 | 0,6959 |
| Hauteur d'insertion de l'épi (cm) | 96,80 ± 8,96 | 91,60 ± 7,68 | 99,00 ± 5,66 | 100,4 ± 5,69 | 0,05205 | 0,8300 |
| Longueur de l'épi (cm) | 26,00 ± 0,20 ^{ab} | 27,60 ± 0,33 ^a | 25,40 ± 0,58 ^{bc} | 24,60 ± 0,42 ^c | 0,5792 | 0,0005 |
| Diamètre de l'épi (cm) | 6,88 ± 0,13 | 7,39 ± 0,23 | 6,75 ± 0,39 | 7,39 ± 0,23 | 0,2310 | 0,2282 |
| Nombre d'épis récoltés | 30811 ± 9,88 ^b | 31193 ± 270,6 ^b | 33050 ± 101,2 ^a | 32993 ± 43,08 ^a | 0,9419 | <0,0001 |
| Rendement (t/ha) | 4,243 ± 0,02 ^b | 4,478 ± 0,02 ^a | 2,630 ± 0,03 ^c | 2,473 ± 0,02 ^d | 0,9977 | <0,0001 |

Les moyennes suivies des lettres différentes au sein d'une même ligne sont significativement différentes au seuil $p < 0,05$.

3-1-3. Hétérosis pour le rendement en grains

Les hybrides ont donné des rendements supérieurs à la variété locale (Sotubaka). La supériorité des rendements de ces hybrides a varié de 8,65 à 82,61 %. Cette supériorité a été plus importante avec les hybrides K11 et K5 avec plus de 70 %. Le **Tableau 4** présente les rendements des variétés et l'effet hétérosis.

Tableau 4 : Présentation des rendements et de l'effet d'hétérosis des variétés de maïs étudiées

| Variétés / hybrides | Rendement kg/ha | Effet d'hétérosis (%) |
|---------------------|-----------------|-----------------------|
| K11 | 4478 ± 0,02 | 82,61 |
| K5 | 4243 ± 0,02 | 71,44 |
| Samaz52 | 2630 ± 0,03 | 8,65 |
| Sotubaka (témoin) | 2473 ± 0,02 | |

3-1-4. Relation entre les caractères agro-morphologiques observés

La matrice de corrélation entre les paramètres agronomiques étudiés est présentée dans le **Tableau 5**. Les corrélations entre les paramètres sont pour la plupart non significatives cependant la durée semis-floraison femelle est corrélée de manière forte et positive à la durée semis-floraison mâle ($R = 0,997$). La hauteur des plants a présenté une corrélation positive et très significative avec la durée semis-floraison mâle ($R = 0,996$). Cette corrélation est aussi significative avec la durée semis-floraison femelle ($R = 0,989$). Le rendement a montré une corrélation positive avec le poids mille grains ($R = 0,893$) mais corrélé négativement avec la hauteur d'insertion de l'épi, la longueur de l'épi, le diamètre de l'épi et la hauteur du plant. Les corrélations les plus fortes ont été celles entre les caractères phénologiques (FM, FF) d'une part et celles entre les caractères du rendement (P1000 grains et rendement) d'autre part.

Tableau 5 : Matrice de Corrélation entre les paramètres agronomiques étudiés

| | HP (cm) | DE (cm) | LE (cm) | HIE (cm) | R (t/ha) | P1000G (g) | FM (j) | FF (j) |
|-----------|---------|---------|---------|----------|----------|------------|---------|--------|
| HP (cm) | | | | | | | | |
| DE (cm) | 0,291 | | | | | | | |
| LE (cm) | 0,496 | 0,246 | | | | | | |
| HIE (cm) | 0,625 | 0,781 | -0,025 | | | | | |
| R (t/ha) | -0,926 | -0,496 | -0,738 | -0,590 | | | | |
| P1000 (g) | -0,696 | -0,810 | -0,702 | -0,676 | 0,893 | | | |
| FM (j) | 0,996** | 0,243 | 0,557 | 0,555 | -0,934 | -0,688 | | |
| FF (j) | 0,989* | 0,173 | 0,547 | 0,506 | -0,911 | -0,639 | 0,997** | |

** : La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral) ; * : La corrélation est significative au niveau 0.05 (bilatéral).

3-2. Profil chimique des grains de maïs

La composition chimique des types de maïs étudiés (**Tableau 6**) montre que les proportions de MS et de MO étaient élevées. Elles étaient comprises entre $92,92 \pm 0,02$ % pour l'hybride Samaz52 et $93,45 \pm 0,33$ % pour l'hybride K5 de matière sèche et $89,66 \pm 0,28$ % pour l'hybride K11 et $97,86 \pm 0,09$ % pour l'hybride K5 de matière organique. Les grains de l'hybride K5 étaient les plus secs. Les grains de l'hybride K11 contenaient moins de MO par contre cet hybride avait plus de PB avec une teneur dépassant 11 % de MS alors que la variété Sotubaka a donné le plus faible taux de PB. Les teneurs en MG, CB et CT des quatre types de maïs ont varié respectivement de $3,93 \pm 0,07$ % pour l'hybride K5 à $4,84 \pm 0,03$ % pour la variété Sotubaka de MS ; de $1,96 \pm 0,04$ % pour l'hybride K5 à $2,94 \pm 0,04$ % pour l'hybride K11 de MS et de $0,98 \pm 0,13$ % pour Samaz52 à $1,63 \pm 0,12$ % pour l'hybride K11 de MS. La variété Sotubaka a donné plus de MG ($4,84 \pm 0,03$ % MS) tandis que l'hybride K5 avait moins de CB ($1,96 \pm 0,04$ % MS) de même que l'hybride Samaz52 présentait le plus faible taux en CT ($0,98 \pm 0,13$ % MS). La proportion d'ENA dépassait 80 % dans tous les types de maïs, l'Energie Métabolisable des hybrides K5 et K11 était nettement la plus élevée que celle des autres types de maïs et dépassait 3800 Kcal/kg MS. La variété Samaz52 avait la plus faible Energie Métabolisable ($3698,98 \pm 3,12$ Kcal/kg MS).

Tableau 6 : Composition chimique des types de maïs étudiés

| Variétés | MS (%) p = 0,69 | MO (% MS) P < 0,0001 | Composition chimique (% MS) | | | | | EM (kcal/kg MS) P < 0,0001 | EM (kcal/kg MB) P < 0,0001 |
|----------|--------------------|-------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | | | PB (%MS) P < 0,0001 | MG (%MS) P < 0,0001 | CB (%MS) P < 0,0001 | CT (%MS) P < 0,0001 | ENA (%MS) P < 0,0001 | | |
| Sotubaka | $93,16 \pm 0,36$ | $97,71 \pm 0,08^a$ | $9,86 \pm 0,12^b$ | $4,84 \pm 0,03^a$ | $2,83 \pm 0,02^a$ | $1,57 \pm 0,10^a$ | $80,89 \pm 0,21^c$ | $3764,33 \pm 0,46^c$ | $3381,73 \pm 0,05^d$ |
| K11 | $93,36 \pm 0,40$ | $89,66 \pm 0,28^c$ | $11,03 \pm 0,07^a$ | $4,02 \pm 0,02^b$ | $2,94 \pm 0,04^a$ | $1,63 \pm 0,12^a$ | $80,37 \pm 0,42^c$ | $3807,21 \pm 0,40^b$ | $3483,17 \pm 0,16^a$ |
| K5 | $93,45 \pm 0,33$ | $97,86 \pm 0,09^a$ | $10,95 \pm 0,13^{ab}$ | $3,93 \pm 0,07^b$ | $1,96 \pm 0,04^c$ | $1,4 \pm 0,17^{ab}$ | $81,75 \pm 0,16^{ab}$ | $3830,24 \pm 0,71^a$ | $3481,59 \pm 1,09^b$ |
| Samaz52 | $92,92 \pm 0,02$ | $95,73 \pm 0,19^b$ | $10,29 \pm 0,12^b$ | $4,07 \pm 0,03^b$ | $2,29 \pm 0,01^b$ | $0,98 \pm 0,13^b$ | $82,36 \pm 0,16^a$ | $3698,98 \pm 3,12^d$ | $3389,23 \pm 0,55^c$ |

MS = Matière Sèche ; MO = Matière Organique ; PB = Protéine Brute ; MG = Matières Grasses ; CB = Cellulose brute ; CT = Cendres Totales ; ENA = Extractif Non Azoté ; EM = Énergie Métabolisable et MB = Matière Brute. Les moyennes suivies des lettres différentes au sein d'une même ligne sont significativement différentes au seuil $p < 0,05$.

3-3. Composition de l'amidon et de la Zéine des variétés de maïs étudiées

Les résultats de l'analyse de la composition de l'amidon et de la zéine montrent des différences significatives ($p < 0,05$) entre les différents types de maïs. Ces résultats sont indiqués dans le **Tableau 7**. Les variétés K5

et Samaz52 ont présenté les plus hautes valeurs d'amylose contenues dans l'amidon total, tandis que les variétés K11 et Sotubaka ont donné les plus faibles valeurs d'amylose. L'hybride K5 avait une composition plus faible en amylopectine qui était statistiquement différent des autres types de maïs ($p < 0,05$). La variété Sotubaka a eu une composition plus importante en amylopectine ($576,8 \pm 9,096$ g/kg) mais n'a eu aucune différence statistique avec les hybrides K11 et Samaz52 qui avaient des compositions de $551,8 \pm 13,14$ g/kg et $570,8 \pm 10,48$ g/kg respectivement. La composition en Zéine des variétés de maïs dans cette étude est statistiquement différente ($P < 0,05$). L'hybride Samaz52 a donné les valeurs de zéine les plus élevées ($85,50 \pm 1,85$ g/kg). L'hybride Samaz52 et l'hybride K5 n'ont pas présenté de différence statistique ($p < 0,05$) pour la composition en Zéine. L'hybride K11 avait les quantités de zéine plus basses ($73,14 \pm 1,75$ g/kg) qui était statistiquement différent ($p < 0,05$) des autres types de maïs. D'une manière générale, les maïs qui ont présenté des valeurs plus élevées en Amylose ont également présenté les quantités de zéine plus élevées.

Tableau 7 : Composition de l'amidon et de la Zéine des variétés de maïs étudiées

| Hybrides | Amylose (g/kg) $p = 0,0029$ | Amylopectine (g/kg) $p < 0,0001$ | Zéine (g/kg) $p = 0,0075$ |
|----------|--------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| K5 | $255,4 \pm 6,72^a$ | $449,2 \pm 17,66^c$ | $84,08 \pm 2,29^{ab}$ |
| K11 | $217,0 \pm 4,05^b$ | $551,8 \pm 13,14^{ab}$ | $73,14 \pm 1,75^c$ |
| Samaz52 | $257,2 \pm 13,20^a$ | $570,8 \pm 10,48^{ab}$ | $85,50 \pm 1,85^a$ |
| Sotubaka | $222,8 \pm 3,66^b$ | $576,8 \pm 9,096^a$ | $82,80 \pm 3,20^b$ |

Les moyennes suivies des lettres différentes au sein d'une même colonne sont significativement différentes au seuil $p < 0,05$.

3-4. Relation entre les constituants de l'amidon des variétés de maïs étudiées

L'analyse des relations entre les constituants de l'amidon de ces variétés de maïs (**Tableau 8**), montre que la composition en amylopectine est corrélée négativement avec tous les constituants de l'amidon exceptée la composition en glycémie pour laquelle il existe une corrélation de 0,41. La composition en protéine est corrélée au taux de cholestérol avec une probabilité significative au seuil de 5 %. Cette corrélation est de 0,96. La composition en glycémie est corrélée négativement avec la composition en cholestérol et en protéines totales. Cette analyse montre aussi que la composition en zéine de ces variétés de maïs est corrélée positivement et de façon significative avec la composition en triglycérides. Cette corrélation entre ces deux constituants est de 0,98.

Tableau 8 : Relation entre les constituants de l'amidon des différentes variétés de maïs étudiées

| | | Corrélations | | | | | | |
|-------------------------|------------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|----------------|--------------|-------------------|------------|
| | | Cholestérol total (g/l) | Triglycérides (g/l) | Protéines totales (g/l) | Glycémie (g/l) | Amylose g/kg | Amylopectine g/kg | Zéine g/kg |
| Cholestérol total (g/l) | Corrélation de Pearson | | | | | | | |
| Triglycérides (g/l) | Corrélation de Pearson | 0,649 | | | | | | |
| Protéines totales (g/l) | Corrélation de Pearson | 0,966* | 0,792 | | | | | |
| Glycémie (g/l) | Corrélation de Pearson | -0,319 | 0,323 | -0,065 | | | | |
| Amylose g/kg | Corrélation de Pearson | 0,051 | 0,743 | 0,202 | 0,405 | | | |
| Amylopectine g/kg | Corrélation de Pearson | -0,905 | -0,723 | -0,857 | 0,412 | -0,351 | | |
| Zéine g/kg | Corrélation de Pearson | 0,513 | 0,986* | 0,681 | 0,428 | ,831 | -0,622 | |

*. La corrélation est significative au niveau 0.05 (bilatéral).

4. Discussion

Les statistiques descriptives ont montré des écarts importants entre les valeurs maximales et les valeurs minimales pour la plupart des caractères agro-morphologiques analysés. Cette importante variabilité constitue le fondement de tout programme de sélection [9]. Une faible variabilité a été observée au niveau de la phénologie. Néanmoins, notre étude montre que les variétés K5 et K11, par leur précocité pourraient s'adapter à la zone côtière de Lomé. Les résultats montrent que les hybrides testés ont une hauteur moyenne inférieure à celui du témoin avec des épis qui sont insérés sensiblement au milieu du plant de maïs. En effet, cette position leur permet de résister aux vents qui pourraient les fragiliser. Ces résultats sont en accord avec les travaux de [9] au Sénégal. La variété K11 a enregistré la longueur de l'épi la plus élevée que celle du témoin Sotubaka. Cet hybride pourrait répondre aux besoins des paysans car ces derniers préfèrent les épis longs aux épis courts [9]. Pour ce qui est du rendement, les résultats montrent que l'utilisation des hybrides permet d'augmenter significativement le rendement du maïs. Ainsi, les hybrides K5 et K11 ont eu un rendement supérieur à celui de l'hybride Samaz52 et du témoin Sotubaka. En effet, la supériorité agronomique des hybrides par rapport aux variétés à pollinisation libre se traduit par une vigueur importante favorisant les rendements élevés. Du fait de leurs performances, ces hybrides ne semblent pas avoir subi l'effet négatif des pauses pluviométriques intervenues au cours de notre expérimentation. Cela s'explique par le fait que les hybrides se comportent mieux en cas de sécheresse. La présente étude a montré une corrélation forte et positive entre la durée de semis-floraison mâle et femelle. Nos résultats concordent avec ceux de [9] qui ont montré que les durées des cycles semis-floraison mâle et femelle sont corrélées positivement et de manière significative. La corrélation positive et significative qui lie le poids de mille grains et le rendement montre que ce dernier dépend du poids des grains. Ceci peut être expliqué par le fait que le poids des grains est l'une des composantes du rendement. La relation négative qui lie le cycle semis-floraison et le rendement indique que ce dernier dépend du cycle semis-floraison. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par [9], qui avance qu'une floraison tardive peut être associée à un bon rendement si les conditions climatiques sont favorables. La teneur en MS élevée des quatre variétés de maïs jaune expérimentaux est en accord avec les résultats de [10]. Les teneurs de MS obtenues dans cette étude sont inférieures à celles de [11] qui a trouvé

des teneurs comprises entre 85 et 91 %. Ces teneurs élevées en MS permettent leur conservation facile. La teneur en PB des quatre variétés évaluées se trouvent dans les limites de 8,9 à 13,6 % obtenues par [10]. La faible teneur en PB de ces variétés de maïs jaune par rapport aux variétés de maïs blanc EVDT-W justifie leur forte teneur en ENA (80 à 82 %). Les grains de maïs utilisés dans l'essai ont eu une faible teneur en MG (3,9 à 4,8 % MS) ce qui concorde avec les résultats de [10], qui indique que les céréales contiennent peu de matière grasse. Le taux de CB des quatre variétés de maïs jaune est également faible et varie de 1,96 à 2,94 % MS. Ces valeurs sont relativement proches de celles trouvées par [10] qui se situent entre 1,89 à 2,56. Il est admis que le potentiel énergétique d'une matière première est corrélé à ses caractéristiques chimiques et nutritionnelles [10]. Cette étude révèle que les grains de ces variétés de maïs ont une valeur en EM élevée (environ 3830 kcal/kg MS), malgré leurs faibles teneurs en MG. Cette énergie métabolisable de ces variétés est supérieure à celle rapportée par [10] qui est de 3750 kcal/kg MS. La composition chimique des ressources alimentaires est influencée par plusieurs facteurs tels que les facteurs environnementaux, les pratiques agronomiques, les conditions de stockage [13]. Cet auteur en signalant que la composition chimique varie d'une région à une autre et d'une variété à une autre, rapporte que le maïs brésilien titre 7,2 % de protéines brutes (PB) et 3495 kcal/kg MS d'EM ; le maïs argentin titre 8 % de PB et 3453 kcal/kg MS et le maïs sénégalais titre 10 % de PB et 3383 kcal/kg MS. De même, les travaux menés par [14] au Bénin ont montré que les grains de maïs local de variété « gbogboé » contiennent 3632,89 kcal/kg MS d'EM contre 3540,67 kcal/kg MS d'EM pour les grains de maïs blanc DMR. Nos résultats montrent que les compositions en Amylose et en Amylopectine diffèrent entre les différents types de maïs. Ces résultats corroborent les travaux de [15] qui rapportent des teneurs en amylose variables après analyse de 35 variétés différentes de maïs. [16] ont quant à eux observé des teneurs en amylose variant entre 15,3 et 25,1 %. Les granules d'amidon sont composés d'une proportion d'amylose et d'amylopectine variable selon la variété de maïs [17]. Les amidons de ces maïs ont tous présenté des valeurs élevées en Amylose et en Amylopectine. Ces résultats sont différents de ceux rapportés par [18] qui stipulent que les amidons de certaines variétés de maïs sont essentiellement composés d'amylopectine, tandis que d'autres sont beaucoup plus riches en amylose.

5. Conclusion

Les résultats obtenus de cette étude montrent que les hybrides testés ont été plus précoces que le témoin. Les hybrides ont formé un groupe homogène pour la hauteur des plants, la hauteur d'insertion des épis et le diamètre épi. Les meilleurs rendements ont été obtenus par les hybrides K5 (4243 kg/ha) et K11 (4478 kg/ha). La matrice de corrélation a montré des relations fortes et positives entre le rendement et le poids de 1000 grains ($R = 0,893$), entre la durée de semis-floraison mâle et femelle ($R = 0,997$) et entre la hauteur des plants et la durée de semis-floraison (femelle et mâle). L'étude montre aussi que les grains de ces variétés hybrides de maïs ont une valeur en EM élevée (environ 3830 Kcal/kg MS) malgré leurs faibles teneurs en MG. L'étude a révélé que les maïs étudiés s'adaptent aux conditions agro-climatiques de la région maritime du Togo vu leur rendement et leur valeur alimentaire élevées. Ainsi, ils peuvent être utilisés dans les systèmes de production pour améliorer les revenus des utilisateurs.

Références

- [1] - FAO, Bulletin de la FAO sur l'offre et la demande en céréales, (2016)
- [2] - S. C. HIEMA, Caractérisation et classification de lignées de maïs (*Zea mays* L.). Mémoire de fin de cycle. IDR, UPB, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, (2005) 71 p.
- [3] - E. M. KOFFI-TESSIO, Expériences positives autour des exploitations familiales. Cas de la filière maïs dans la région Savane au Togo. Lomé : LARPSAD/Université de Lomé, (2011)
- [4] - BOONE, PETER, STATHACOS, J. D. CHARLES, WANZIE, L. ROSE, Évaluation sous régionale de la chaîne de valeurs du maïs, rapport technique ATP n°1. Bethesda, MD : projet ATP, Abt Associates Inc, (2008)
- [5] - A. CHARCOSSET et A. GALLAIS, Emergence et développement du concept de variétés hybrides chez le maïs. *Le Sélectionneur Français*, 60 (2009) 21 - 30 p.
- [6] - T. E. NUSS and S. A. TANUMIHARDJO, Quality Protein e foMaizr Africa : Closing the protein inadequacy gap in vulnerable populations. *Adv. Nutr.*, 2 (2011) 217 - 224 p.
- [7] - AOAC : Official Methods of Analysis, Association for official agricultural chemist (18Ed), Washington, DC, USA, (2000) 66 - 89 p.
- [8] - CA. KNUTSON, A simplified colorimetric procedure for determination of amylose in maize starches. *Cereal Chem*, 63 (1986) 89 - 92 p.
- [9] - C. A. B., SOKHNA, Evaluation de variétés hybrides de maïs dans les conditions de culture du sud du bassin arachidier du Sénégal. Mémoire d'ingénieur des travaux, université de Thiès, Sénégal, (2018) 49 p.
- [10] - G. S. T. ATCHADE, E. F. SEGBOTANGNI, S. E. P. MENSAH, M. F. HOUNDONUGBO, S. E. ATTAKPA et C. A. A. M. CHRYSOSTOME, Les grains de céréale dans l'alimentation des poulets au Bénin : digestibilité métabolique et paramètres biochimiques sériques induits. *Afrique SCIENCE*, ISSN 1813-548X, (2019) 25 - 38. <http://www.afriquescience.net>
- [11] - S. B. AYSSIWEDE, C. CHRYSOSTOME, W. OSSEBI, A. DIENG, L. HORNICK et A. MISSOHOU, (12). Utilisation digestive et métabolique et valeur nutritionnelle de la farine de feuilles de *Cassia tora* (Linn.) incorporée dans la ration alimentaire des poulets indigènes du Sénégal. *Revue Méd. Vét.*, 161 (2010) 549 - 558 p.
- [12] - J. WISEMAN, N. T. NICOL and G. NORTON, Relationship between apparent metabolisable values and in vivo : in vitro starch digestibility of wheat for broilers. *World's Poult. Sci.*, 56 (2000) 305 - 318 p.
- [13] - H. ARCHIMEDE, D. BASTIANELLI, M. BOVAL, G. TRAN et D. SAUVANT, Ressources Tropicales : Disponibilité Et Valeur Alimentaire. *Inra Prod. Anim.*, 24 (1) (2011) 23 - 40 p.
- [14] - F. M. HOUNDONUGBO, A. CHWALIBOG and C. A. A. M. CHRYSOSTOME, Is the nutritional value of grains in broiler chickens' diets affected by environmental factors of soybean (*Glycine max*) growing and the variety of maize (*Zea mays*) in Benin ? *Livestock Research for Rural Development*, (2) (2009) 21 p.
- [15] - K. SEETHARAMAN, Thermal and functional characterization of starch from Argentinean corn. *Cereal Chem.*, 78 (2001) 379 - 386 p.
- [16] - K. S. SANDHU, N. SINGH and M. KAUR, Characteristics of the different corn types and their grain fractions : physicochemical, thermal, morphological, and rheological properties of starches. *J. Food Eng.*, 64 (2004) 119 - 127 p.
- [17] - P. MALUMBA, S. JANAS, C. DEROANNE, T. MASIMANGO and F. BERA, Structure de l'amidon de maïs et principaux phénomènes impliqués dans sa modification thermique. *Revue Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 15 (2) (2011) 315 - 326 p.
- [18] - S. RAHMAN, Resistant starch in cereals : exploiting genetic engineering and genetic variation. *J. Cereal Sci.*, 46, 251-260p. Resource for broiler chickens, Ph.D. Thesis, University of Agriculture, Umudike, Nigeria, (2007) 102 p.