

Évaluation morphologique et nutritionnelle de variétés locales et améliorées de maïs (*zea mays* L.) produites en Côte d'Ivoire

Kahndo Prudence DEFFAN^{1,2*}, Louise AKANVOU¹, René AKANVOU¹, Gnonpo Jean NEMLIN¹
et Patrice Lucien KOUAMÉ²

¹ *Laboratoire de Technologie du Centre National de Recherche Agronomique (CNRA),
01 BP 1740 Abidjan 01, Côte d'Ivoire*

² *Laboratoire de Biocatalyse de l'Université Nangui Abrogoua (UFR STA), 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire*

* Correspondance, courriel : pdeffan@yahoo.fr

Résumé

La présente étude vise à caractériser de façon morphologique et nutritionnelle des variétés de maïs, afin d'aider l'utilisateur dans leurs différents choix. Au total huit variétés de maïs, dont deux locales et six améliorées, produites par le Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) sont régénérées à la station expérimentale d'Anguédédou. Ces variétés de maïs ont été caractérisées physico chimiquement, au laboratoire de recherche technologique de Bingerville dudit centre. La régénération faite dans un dispositif en blocs aléatoires complets et répétée trois fois, a permis une analyse descriptive qui a révélé une diversité importante entre les valeurs minimales et les valeurs maximales. Ainsi, la comparaison des moyennes a spécifié les écarts observés dans l'analyse descriptive. Le cycle de semi-floraison femelle (FLOF) subdivise les variétés en trois groupes : les variétés à cycles court de 53 et 54 jours (AC176, Violet de Katiola, GMRP-18 ; EV8728 et Acr97 TZL comp1-w), les variétés à cycle intermédiaire avec un retard de 4 et 5 jours (Obatanpa et MDJ), et les variétés à cycle long avec un retard de 7 jours (Acr97 TZLcomp 1-w synt).

Le rendement (RENDT) a montré que la variété la plus productive est Obatanpa (2612,33 kg d'épis récoltés) et la moins productive est AC176 (1003 kg d'épis récoltés). Par ailleurs, les variétés GMRP18 et Obatanpa présentent respectivement des poids plus élevés ($330,433 \pm 0,090$ et $330,130 \pm 0,350$ g /1000 grains) contre le plus faible ($250,367 \pm 0,250$ g) pour le Violet de Katiola. Les variétés étudiées ont toutes significativement les mêmes taux d'humidité compris entre 11,077 et 11,537%. Cependant, le taux de lipides le plus élevé est observé au niveau du Violet de Katiola ($5,710 \pm 0,125\%$ MS) et ACr97comp1wsynt ($5,533 \pm 0,360\%$ MS) contre les plus faibles valeurs : $3,30 \pm 0,40\%$ MS pour GMRP18 et $3,247 \pm 0,032\%$ MS pour AC176. Les variétés Violet de Katiola et ACr97comp1wsynt constituent une excellente source d'énergie lipidique offrant également avec Obatanpa, un bon rendement de production. Les variétés de maïs étudiées, se révèlent appropriées pour une bonne conservation, compte tenu de leurs taux d'humidité relativement faible.

Mots-clés : *maïs, variétés, caractéristiques morphologiques, qualités nutritionnelles, conservation, Côte d'Ivoire.*

Abstract

Morphological and nutritional evaluation of the varieties local and improved corn (*zea mays* L.) produced in Ivory Coast

The present study is based on the morphological and nutritional characterization of the corn so as to help the user in the choice of a variety adapted to its use. In all eight varieties of corn, among which local two and six improved, produced by the National Center of Agronomic Research (NCAR) were regenerated in the experimental resort of Anguédedou, then analyzed in the research technological laboratory of NCAR in Biglerville. These varieties have been regenerated in a device in complete random blocks repeated three times. So the descriptive analysis has revealed an important diversity between the minimal values and the maximal values. The comparison of the means has allowed to specify the carts observed in the descriptive analysis. So the cycle of female semi-blooming subdivides the varieties into three groups : the varieties at short cycles of 53 and 54 days (AC176, Violet de Katiola, GMRP-18; EV8728 and Acr97 TZL compl-w), the varieties at intermediate cycle with a lateness of 4 and 5 days (Obatanpa and MDJ), and the varieties to long cycle with a lateness of 7 days (Acr97 TZLcomp 1-w synt). The yield shows that the most productive variety is Obatanpa (2612.33 kg of collected ears) and the less productive is AC176 (1003 kg of collected ears). Moreover, the variety GMRP18 and Obatanpa presents respectively higher weights (330.433 ± 0.09 and 330.130 ± 0.35 g/1000 beads) against the weakest ($250.367 \pm 0,250$ g) for the Violet de Katiola. All studied varieties have significantly the same rates of humidity included between 11.077 and 11.537 %. However, the lipids rate of the highest is observed at the level of the Violet de Katiola (5.710 ± 0.125 % MS) and Car 97 complwsynt ($5.533 \pm 0,360$ % MS) against the weakest values (3.30 ± 0.40 % MS) for GMRP18 and (53.247 ± 0.032 % MS) for AC176. The varieties Violet de Katiola and Car97 complwsynt constitute an excellent lipid source of energy and is at the same time with Obatanpa, the varieties which would offer a good yield on production. The studied varieties being, products capable of a good preservation, considering their rate of relatively weak humidity.

Keywords : *corns, varieties, morphological characteristics, nutritional qualities, preservation, Ivory Coast.*

1. Introduction

Le maïs (*Zea mays* L.) est la plante la plus cultivée au monde et la première céréale produite devant le blé (*Triticum aestivum* L. subsp. *aestivum*). La production mondiale de maïs en 2013 était de 839 millions de tonnes, contre 653 millions de tonnes pour le blé [1]. En Côte d'Ivoire et dans la plupart des pays de l'Afrique de l'Ouest, le maïs constitue la base du régime alimentaire des populations rurales. Il est utilisé pour l'alimentation humaine et animale (volailles, porcs, bovins) et sert de matière première dans certaines industries (brasserie, savonnerie et huilerie) [2]. La production nationale est estimée à 654 738 tonnes, pour une superficie totale emblavée de 327 800 ha [3]. Longtemps considéré comme un simple produit de subsistance, le maïs fait aujourd'hui l'objet d'une spéculation agricole qui s'intensifie en Côte d'Ivoire, du fait des enjeux économiques de cette culture devenus de plus en plus importants [4]. 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]. Cependant, la majorité de la production nationale est réalisée par les petits producteurs agricoles qui la plupart, produisent environ 2 tonnes de maïs par campagne agricole [2]. Ceci est dû à la production à grande échelle de variétés traditionnelles à faible potentielle rustiques adaptées aux zones agro-écologiques, mais à faible potentiel de production.

En effet, dans l'agriculture traditionnelle, les variétés locales représentent l'essentiel du matériel végétal utilisé [7]. Pour contribuer à l'amélioration des rendements, il est donc nécessaire de lever cette contrainte par la mise au point de variétés améliorées à haut potentiel de rendement. La mise au point de variétés améliorées à rendement élevé dépend surtout à l'accès aux ressources génétiques locales. Ces ressources locales représentant en effet, un élément essentiel de la sécurité alimentaire, car elles constituent la matière première clé utilisée par les sélectionneurs pour améliorer aussi bien la productivité que la qualité nutritionnel du maïs. Ainsi, la préservation quantitative et qualitative des céréales constitue un élément vital pour la survie des groupes humains. Le Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) a, à travers ses programmes de recherche, mis au point plusieurs variétés améliorées de maïs. Afin de faire connaître ces variétés améliorées aux producteurs et utilisateurs et contribuer ainsi au progrès agricole et à la sécurité alimentaire, une évaluation des caractéristiques morphologiques et nutritionnelles a été conduite. La présente étude se propose donc d'analyser les caractéristiques agro-morphologiques et physico-chimiques de deux variétés locales de maïs et de six variétés améliorées à travers l'utilisation des descripteurs de Biodiversity international d'une part et à travers les analyses nutritionnelles d'autre part.

2. Matériel et méthodes

2-1. Site d'étude et Matériel végétal

Les variétés de maïs ont été caractérisées au plan morphologique durant la saison pluvieuse de l'année 2011 dans une station expérimentale d'Anguédédou du CNRA, située à 22 km d'Abidjan sur l'autoroute du nord, entre les méridiens 4°05' et 4°10' ouest et les parallèles 5°20' et 5°25' nord. Le matériel végétal (*Tableau 1*) est composé de 6 variétés de maïs améliorées (Obatanpa ; GMRP-18 ; EV8728 ; MDJ ; ACR97 comp1w ; ACR97 comp1 synt) et de deux variétés locales utilisées comme témoin (Ac176 ; violet de Katiola).

Tableau1 : *Caractéristiques des huit variétés de maïs régénérées*

VARIETES	TYPE	COULEUR	TEXTURE	ORIGINE
Violet de Katiola	locale	violet	corné	Katiola
AC 176	locale	jaune	corné	Bouaké
Obatanpa	améliorée	blanc	denté	IITA
MDJ	améliorée	jaune	corné	CNRA
EV 87 28	améliorée	jaune	semi-denté	CNRA
GMRP 18	améliorée	jaune	corné	CNRA
Acr 97TZL comp 1-W	améliorée	blanc	corné-denté	IITA
Acr 97TZL comp 1-W synt	améliorée	blanc	corné	IITA

2-2. Méthodes

2-2-1. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental a été constitué de blocs aléatoires complets répétés trois fois. La superficie de la parcelle élémentaire était de 5 m x 2,25 m, soit 11,25 m². Huit variétés de maïs ont été semées, chacune sur deux lignes de 5 mètres de longueur. La distance entre les lignes de semis d'une parcelle élémentaire était de 0,75 m et la distance entre les poquets sur une même ligne est de 0,25 m.

Les semis ont été réalisés à raison de deux graines par poquets, et le démariage des plantules a été effectué 15 jours après germination en vue de ne laisser qu'une seule plantule par poquet. Un apport d'engrais NPK (15-15-15) a été appliqué à la dose de 200 Kg. ha⁻¹, 15 jours après semis, puis 35 jours après semis de l'urée a été incorporée au sol à la dose de 100 Kg. ha⁻¹. Un désherbage régulier a été effectué pendant la phase végétative de la culture pour assurer la protection des jeunes plantules contre les attaques des insectes.

2-2-2. Collecte des données

Les mesures ont été effectuées sur un effectif de 8 plantes sélectionnées de façon aléatoire sur chaque parcelle élémentaire et dans chaque bloc, soit un total de 30 plantes par variété. Onze (11) caractères sélectionnés parmi les descripteurs du maïs (IPGRI, 1991) ont été retenus. Il s'agit de: la date de levée (DLE), le nombre de jours à 50% de floraison mâle (FLOM), le nombre de jours à 50% de floraison femelle (FLOF), la hauteur de la plante (HPL), la hauteur d'insertion de l'épi (HIE), le nombre de plante par rangé (NPR), le nombre de rangée de grains par épi (NRG), le nombre moyen de grains par rangée (NMGR) et le rendement (RENDT).

2-2-3. Analyses physico-chimiques

2-2-3-1. Echantillonnage

Pour chaque variété, 50 Kg de grains ont été recueillis dans des sacs, puis 1 Kg retirés de chaque contenant pour l'échantillonnage. Cent (100 g) de chaque échantillon ont été finement broyés à l'aide d'un broyeur de type GLEN CRESTON pour obtenir des farines qui ont servi à effectuer toutes les analyses.

2-2-3-2. Détermination des caractéristiques physiques

Cent (100) grains de maïs de chaque variété ont été pesés à l'aide d'une balance électronique STARTORIUS (Ax423, Max 420g, d=1mg) et le poids P, noté. La couleur de chaque variété est aussi déterminée à l'aide d'un colorimètre.

2-2-3-3. Détermination des caractéristiques chimiques

La teneur en matière sèche a été déterminée par séchage de 5 g de farine de maïs Elle consiste à évaporer l'eau contenue dans la matière première par séchage à chaud dans une étuve à 105°C jusqu'à l'obtention d'une masse constante de l'échantillon. La cendre est la matière minérale obtenue par incinération au four à 550 °C de 5 g de farine de maïs pendant 24 heures. Son taux est déterminé selon la méthode de [8]. Les taux de matière grasse sont déterminés à partir de la matière sèche de farine selon la méthode de [8] utilisant le SOXHLET. Les glucides totaux ont été dosés selon la méthode de [9]. Quant aux protéines, leurs teneurs ont été déterminées selon la méthode de [10]. La méthode de [11] simple et sensible, a été utilisée pour doser les phénols totaux.

2-2-3-4. Détermination des tanins

Les tanins condensés sont déterminés par la méthode à la vanilline en milieu acide [12] basée sur la capacité de la vanilline à réagir avec les unités des tanins condensés en présence d'acide pour produire un complexe coloré mesuré à 500 nm. La catéchine est utilisée comme standard et les résultats sont exprimés en mg d'équivalent catéchine par 100 mg de matière sèche de farine.

2-3. Analyses statistiques

Les données obtenues ont été soumises à une analyse descriptive sur le logiciel STAISTICA 7.1 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. Analyse statistique descriptive

L'analyse descriptive des données recueillies est consignée dans le **Tableau 2** suivant. Les valeurs moyennes, minimales, maximales et les écart-types des variables quantitatives y sont regroupés. Des écarts importants sont observés entre les minima et les maxima pour les caractères agronomiques importants comme la floraison mâle (FLOF), la hauteur de la plante (HPL), Nombre moyen de grains par rangée (NMGR) et le rendement (RENDT). En moyenne les variétés étudiées ont un cycle de semi-floraison femelle de $55,375 \pm 2,605$ jours, la plus précoce a commencé sa FLOF à partir de 53 jours et la plus tardive à 60 jours. La hauteur de la plante varie de 185 cm pour les variétés de petite taille à 219,250 cm pour les variétés de grande taille avec une moyenne de $195,896 \pm 11,812$ cm. Le nombre moyen de grains par rangée (NMGR) est compris entre 23 pour les variétés à petits épis et 34 pour les variétés à grands épis, avec une moyenne de $27,344 \pm 3,819$ grains/rangée. Le rendement est compris entre 1003 kg pour les variétés à faible production et 8550,750 kg pour les variétés plus productives avec une moyenne de $2654,820 \pm 2430,053$ kg.

Tableau 2 : Valeur minimale, maximale, moyenne et écart-type des 11 variables quantitatives étudiées

Variables	Nombre de variétés	Moyenne	Minimum	Maximum	Ecart-type
DLE (jrs)	8	4,875	4,000	5,000	0,354
NPE	8	32,594	20,750	35,500	4,942
FLOM (jrs)	8	53,031	51,000	58,000	2,324
FLOF (jrs)	8	55,375	53,000	60,000	2,605
HPL (cm)	8	195,896	185,000	219,250	11,812
HIE (cm)	8	103,568	83,750	134,333	14,188
NPR	8	13,406	9,750	16,250	2,398
NER	8	13,469	9,750	16,750	2,458
NGR	8	13,875	12,000	15,500	1,330
NMGR	8	27,344	23,000	34,000	3,819
RENDT (kg)	8	1822,335	1003,000	2612,330	430,053

3-2. Comparaison des moyennes

3-2-1. Date de levé (DLE) et nombre de plants par parcelle élémentaire (NPE)

La **Figure 1** montre la variation de la date de levé (DLE) et du nombre de plants par parcelle élémentaire (NPE) entre les variétés de maïs étudiées. La DLE est compris entre 4 et 5 jours. Excepté la variété MDJ qui a une DLE de 4 jours, toutes les autres variétés ont une DLE de 5 jours.

Concernant le NPE, il est exprimé en % de grains semés et est compris entre $20,75 \pm 4,27$ % et $35,50 \pm 2,51$ %. La variabilité étant faible suite à une analyse statistique, une différence significative au seuil de 0,05 est seulement notée entre la variété Obatanpa qui a le plus faible nombre de plants ($20,75 \pm 4,27$ %) et toutes les autres variétés ayant des NPE statistiquement identiques.

3-2-2. Cycle de semi-floraison mâle (FLOM) et femelle (FLOF) des variétés de maïs

La **Figure 2** montre que le cycle de semis-floraison mâle se situe entre 51 et 58 jours. La comparaison des moyens montre des différences significatives au seuil de 0,05 entre certaines variétés ; ce qui nous emmène à classer les variétés en deux groupes : Le premier groupe est caractérisé par un cycle de FLOM significativement identique chez chaque variété. Le nombre de jour pour la réalisation du cycle est compris entre 51 et 55 jours. Ce groupe renferme les deux variétés locales témoins et presque toutes les variétés améliorées à l'exception de la variété Acr 97compl synth. Le deuxième groupe caractérisé par un cycle de FLOM compris entre 55 et 58 jours, renferme deux variétés améliorées (MDJ et Acr 97compl synth). Selon les cycles de semis-floraison femelle (FLOF) des variétés étudiées (compris entre 53 et 60 jours), nous pouvons classer les génotypes en 3 groupes principaux (**Figure 2**): Le premier groupe se caractérise par un cycle de semis-floraison court compris entre 53 et 54 jours. Ce groupe de variétés renferme les deux variétés locales témoins (AC176 et Violet de Katiola) et les variétés améliorées GMRP-18 ; EV8728 ; ACr97compl. Le deuxième groupe caractérisé par un cycle de semis-floraison moyen renferme deux variétés améliorées (Obatanpa et MDJ) par rapport au premier groupe, ces variétés présentent un léger retard dans la réalisation du cycle biologique. Ce retard varie de 4 à 5 jours. Le groupe 3 caractérisé par un cycle de semi-floraison long renferme une seule variété (ACR97compsynt). Cette variété présente un retard dans la réalisation de son cycle de semi floraison plus important que les variétés du premier groupe avec une différence de 7 jours.

3-2-3. Hauteur de la plante des variétés de maïs (HPL)

La hauteur de la plante fluctue entre 185 cm et 219,25 cm et varie selon la variété. La variété locale Ac176 a présenté la hauteur la plus petite. Trois groupes également sont observés (**Figure 3**): Le groupe 1 renferme les variétés de petite taille (185 à 193,87 cm), il s'agit des variétés GMPR-18, EV8728, ACR complw et des deux variétés locales (Ac176, Violet de Katiola). Le groupe 2 se compose des variétés de taille intermédiaire (197,75 à 206,5 cm). Ce sont les variétés Obatanpa et ACR97 comp synt. Le groupe 3 renferme la variété MDJ dont la taille est la plus importante (219,25 cm). L'analyse de la variance faisant référence à la hauteur de la plante, révèle des différences très hautement significatives pour les 8 variétés de maïs.

3-2-4. Nombre de rangé de grains par épis (NRG) et nombre moyen de grains par rangée (NMGR)

La comparaison des moyennes nous révèle des différences très hautement significatives au niveau de chaque caractère. La valeur maximale 15,5 rangées de grains/épis est enregistrée chez les variétés ACR97complw et ACR97 comp synt. La valeur minimale 12 rangées de grains/épis est observée chez les variétés Violet de Katiola et MDJ. La **Figure 4** permet de dégager 2 grands groupes. Le groupe 1 est constitué des variétés possédant un nombre de rangées de grains/épis moins élevé (12 rangées de grains/épis). Ce groupe est composé de 2 variétés dont MDJ et une variété locale témoin (Violet de Katiola). Le groupe 2 renferme aussi 6 variétés dont le nombre de rangées de grains par épis est plus élevé (14 à 15,5 rangées de grains/épis). Ce sont Obatanpa, EV8728, ACR97complw, ACR97 comp synt, GMRP18 et une variété locale témoin (AC176).

La valeur maximale 34 grains/rangée est enregistrée chez la variété obatanpa. La valeur minimale 23 grains/rangée est observée pour la variété GMRP-18. La **Figure 3** permet de dégager 2 grands groupes. Le groupe 1 est constitué des variétés possédant un nombre de grains/rangée moins élevé (23 à 25,5 grains/rangée). Ce groupe est composé de 4 variétés dont GMRP-18, MDJ et les deux variétés locales témoins (AC176, Violet de Katiola). Le groupe 2 renferme aussi 4 variétés dont le nombre de grains par rangée est plus élevé (27,5 à 34 grains/rangée). Ce sont Obatanpa, EV8728, ACR97complw, ACR97 complw synth.

3-2-5. Rendement des variétés (kg/ha)

Les rendements sont compris entre 1003 et 2612,33 kg/ha. Le rendement le plus élevé est remarqué chez la variété Obatanpa (**Figure 5**). Le rendement le plus faible a été enregistré chez la variété locale AC176. Les autres variétés de maïs, c'est-à-dire GMRP-18, EV8728, Violet de Katiola, ACR97complw, ACR97 complw synth présentent des valeurs intermédiaires. La moyenne générale est de 2654,820 kg/ ha.

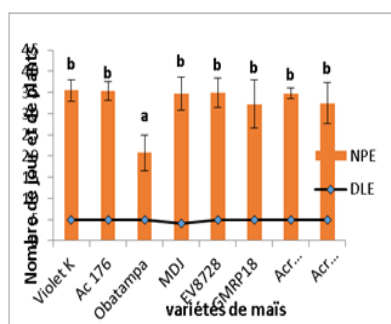


Figure 1 : Variation de la date de levé et du nombre de plants par variété

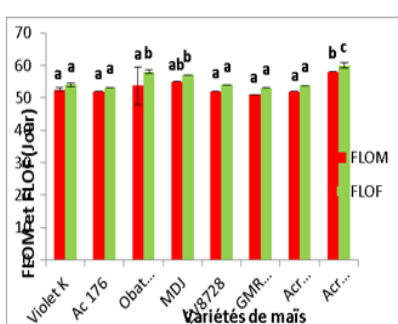


Figure 2 : Cycle de floraison male et de floraison femelle des huit (8) variétés de maïs

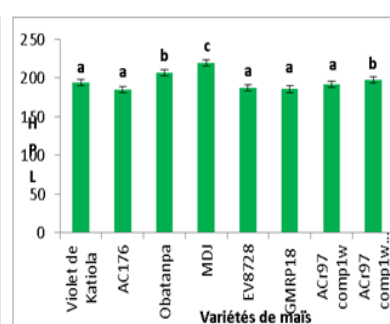


Figure 3 : Hauteur des plantes des huit (8) variétés de maïs

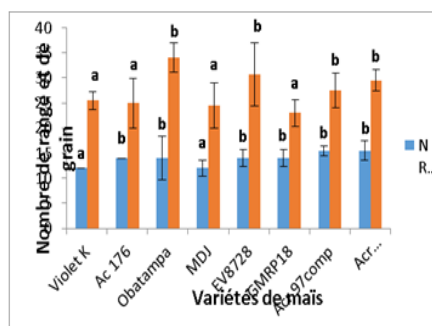


Figure 4 : Nombre de rangé par épis et nombre moyen de grains par rangée des variétés de maïs étudiées

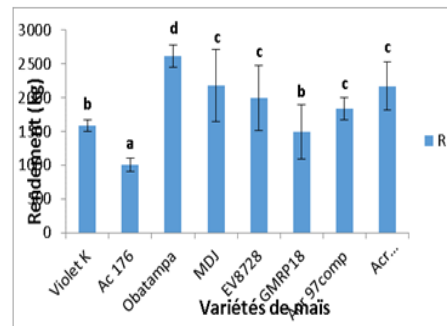


Figure 5 : Rendement des huit (8) variétés de maïs étudiées

NB : Les histogrammes affectés de la même lettre ne sont pas significativement différents au seuil de 5%

3-3. Caractéristiques physico-chimiques

3-3-1. Paramètres nutritionnelles des variétés de maïs

Le poids de 1000 grains de maïs des variétés est compris entre $250,367 \pm 0,25$ et $330,43 \pm 0,09$ g (**Tableau 3**). La comparaison des moyennes a montré une différence significative au seuil de 5% entre les variétés, avec le Violet de Katiola ayant le plus petit poids et Obatanpa et GMRP18 ayant les poids les plus élevés. Le taux d'humidité est compris entre $11,07 \pm 0,25\%$ et $11,54 \pm 0,30\%$ (**Tableau 3**).

La comparaison des moyennes montre une faible variation des taux d'humidité entre les variétés de maïs s'expliquant par une légère différence significative au seuil de 0,05. Les résultats montrent que la variété Obatanpa est significativement plus faible en eau ($11,07 \pm 0,25\%$) par rapport à la variété MDJ qui a un taux d'humidité plus élevé ($11,54 \pm 0,30\%$). Le taux de matière grasse ou de lipide des variétés de maïs (**Tableau 3**) est compris entre $3,24 \pm 0,03$ et $5,71 \pm 0,18$ % MS. Les résultats montrent que les variétés AC176 et GMRP18 ont les taux de MG les plus faibles et significativement identiques (avec respectivement $3,24 \pm 0,03$ et $3,39 \pm 0,48$ % MS); les taux les plus élevés sont observés chez les Violet de Katiola, Obatanpa et ACr 97compsynth (avec respectivement $5,71 \pm 0,18$; $5,50 \pm 0,42$ et $5,53 \pm 0,36$ % MS) et sont significativement identiques. Les taux de glucides totaux des variétés de maïs sont compris entre $59,4 \pm 0,25$ et $77,68 \pm 0,12$ % MS (**Tableau 3**).

Le Violet de Katiola se distingue par le taux de GT le plus élevé de façon significative avec $77,68 \pm 0,12$ % MS et les taux les plus faibles ($59,4 \pm 0,25$, $60,28 \pm 2,1$ et $61,65 \pm 1,80$ % MS significativement identiques) sont observés respectivement au niveau des variétés Obatanpa, AC176 et GMRP18. Le taux de cendre (**Tableau 3**) est compris entre $1,3 \pm 0,21$ et $1,74 \pm 0,44$ % MS. Ces taux sont significativement identiques excepté celui de la variété MDJ dont la teneur en cendre est faible ($1,3 \pm 0,21$ %MS) contre ceux des variétés EV8728 et GMRP18 dont les taux sont élevés avec respectivement $1,74 \pm 0,44$ %MS et $1,73 \pm 0,44$ % MS. Les taux de protéines sont compris entre $10,193 \pm 0,075$ et $12,85 \pm 0,046$ % MS (**Tableau 3**). Une différence significative est observée suite à une comparaison des moyennes. Le Violet de Katiola est la variété qui en contient la plus faible quantité ($10,193 \pm 0,075$ % MS); les variétés MDJ et EV8728 sont celles qui contiennent les fortes quantités avec respectivement $12,850 \pm 0,046$ % MS et $12,777 \pm 0,068$ % MS.

Tableau 3 : Caractéristiques physico-chimiques des variétés de maïs post-récolte

Variétés	Poids 1000grs (g)	Taux d'humidité (%)	Taux de matière grasse (%MS)	Glucides totaux (%MS)	Taux de cendre (%MS)	Protéines (%MS)
Violet de Katiola	$250,367 \pm 0,250$ ^a	$11,150 \pm 0,200$ ^{ab}	$5,710 \pm 0,180$ ^c	$77,681 \pm 0,125$ ^c	$1,623 \pm 0,105$ ^{ab}	$10,193 \pm 0,075$ ^a
AC 176	$280,593 \pm 0,280$ ^c	$11,167 \pm 0,165$ ^{ab}	$3,247 \pm 0,032$ ^a	$60,280 \pm 2,098$ ^{ab}	$1,403 \pm 0,105$ ^{ab}	$12,417 \pm 0,160$ ^d
Obatanpa	$330,130 \pm 0,350$ ^f	$11,077 \pm 0,250$ ^a	$5,503 \pm 0,421$ ^c	$59,410 \pm 0,250$ ^a	$1,687 \pm 0,405$ ^{ab}	$12,123 \pm 0,151$ ^c
MDJ	$280,757 \pm 0,110$ ^c	$11,537 \pm 0,355$ ^b	$4,417 \pm 0,358$ ^b	$64,320 \pm 1,041$ ^b	$1,300 \pm 0,210$ ^a	$12,850 \pm 0,046$ ^e
EV8728	$320,163 \pm 0,070$ ^e	$11,420 \pm 0,100$ ^{ab}	$4,670 \pm 0,727$ ^b	$64,581 \pm 1,867$ ^b	$1,740 \pm 0,440$ ^b	$12,777 \pm 0,068$ ^e
GMRP18	$330,433 \pm 0,090$ ^f	$11,390 \pm 0,39$ ^{ab}	$3,390 \pm 0,486$ ^a	$61,650 \pm 1,802$ ^{ab}	$1,727 \pm 0,441$ ^b	$11,027 \pm 0,025$ ^b
ACr 97comp	$290,843 \pm 0,690$ ^d	$11,247 \pm 0,075$ ^{ab}	$4,597 \pm 0,582$ ^b	$65,652 \pm 3,122$ ^b	$1,517 \pm 0,011$ ^{ab}	$12,540 \pm 0,095$ ^d
ACr 97comp synth	$270,803 \pm 0,200$ ^b	$11,290 \pm 0,110$ ^{ab}	$5,533 \pm 0,360$ ^c	$63,750 \pm 3,376$ ^b	$1,410 \pm 0,11$ ^{ab}	$12,513 \pm 0,085$ ^d

NB : Les valeurs affectées de la même lettre, dans la même colonne ne sont pas significativement différents au seuil de 5%

3-3-2. Teneurs en composés phénoliques totaux et des tanins

Les teneurs en composés phénoliques (exprimés en % MS) des variétés de maïs, sont compris entre $5,77 \pm 0,22$ et $9,89 \pm 0,09$ % MS (**Tableau 4**). Une nette différence significative a été notée après une comparaison des moyennes et permet de montrer que le taux le plus faible se trouve au niveau de la variété Obatanpa ($5,77 \pm 0,22$ % MS) et le plus élevé au niveau de la variété AC176 ($9,89 \pm 0,09$ % MS).

Les taux de tanins des variétés de maïs sont exprimés en $\mu\text{g}/100\text{g}$ de MS. Ils sont compris entre $3 \pm 0,000$ et $7 \pm 0,000$ $\mu\text{g}/100\text{g}$ de MS (**Tableau 4**) et sont significativement différents les uns des autres. La variété AC176 en contient le plus et les variétés Obatanpa, MDJ et ACr comp97 en contiennent le moins.

Tableau 4 : Les composés phénoliques totaux et tanins des variétés de maïs post-récolte

Variétés	Composés Phénoliques (%MS)	Tanins (µg/100g deMS)
Violet de Katiola	8,390 ± 0,640 ^d	8,390 ± 0,640 ^d
AC 176	9,893 ± 0,090 ^f	9,893 ± 0,090 ^f
Obatanpa	5,777 ± 0,220 ^a	5,777 ± 0,220 ^a
MDJ	6,913 ± 0,200 ^b	6,913 ± 0,200 ^b
EV8728	8,473 ± 0,155 ^d	8,473 ± 0,155 ^d
GMRP18	7,230 ± 0,255 ^b	7,230 ± 0,255 ^b
ACr 97comp	9,057 ± 0,040 ^e	9,057 ± 0,040 ^e
ACr 97comp synth	7,813 ± 0,124 ^c	7,813 ± 0,124 ^c

NB : Les valeurs affectées de la même lettre, dans la même colonne ne sont pas significativement différents au seuil de 5%

4. Discussion

La connaissance de la variabilité génétique est essentielle en sélection variétale. La mise en évidence de cette variabilité génétique pour certains caractères morphologiques constitue la première étape indispensable dans la description des ressources génétiques [13]. En effet, tout programme d'amélioration s'appuie nécessairement sur la variabilité morphologique [14]. Elle permet de mettre à la disposition des améliorateurs des informations capitales, nécessaires pour leurs travaux [15]. C'est dans ce contexte qu'une étude agro-morphologique de huit variétés locales et améliorée de maïs produite dans la zone forestière de la Côte d'Ivoire s'est avérée nécessaire. Les analyses descriptives ont montré des écarts importants entre les valeurs minimales et les valeurs maximales pour l'ensemble des caractères morphologiques analysés. Ceci témoigne d'une variabilité inter-variété importante. Cette forte diversité morphologique résulterait des pratiques de gestion paysanne des semences. En effet, plusieurs auteurs ont montré que les pratiques de gestion paysanne des semences, notamment les échanges de variétés entre agriculteurs sont à l'origine d'une diversité importante entre les populations de plantes cultivées [16-18].

La comparaison des moyennes fait apparaître de nette différence significative entre les variétés. La date de levée (DLE) est le début de la phase végétatif ou de croissance ; pour une variété donnée, elle correspond au nombre de jour entre le semis et le jour où 50% des coléoptiles sont visibles à la surface du sol. Elle survient après la germination où la radicule est hors du grain. Pendant cette étape, la germination déclenchée par l'imbibition du grain, se traduit par une mobilisation des réserves du scutellum puis de l'albumen et par le développement de la radicule puis des racines séminales secondaires qui apparaissent au niveau du nœud scutellaire. À l'autre extrémité de l'embryon, la gemmule se développe sous forme de coléoptile qui pousse vers le haut et forme un plateau de tallage. À ce niveau se forment une première série de racines adventives, et parfois des tiges secondaires, puis le coléoptile perce le sol et s'ouvre en libérant les premières feuilles [19]. Durant cette phase, l'alimentation de la jeune plante est assurée par les réserves de la graine [20]. Les résultats montrent que les variétés de maïs étudiées ont les mêmes dates d'apparition de coléoptiles allant de 4 à 5 jours. Ces résultats se rapprochent de ceux de [21] qui indiquent que la date de levée concernant le maïs se situe entre 6 et 10 jours. Le NPE est le nombre de plants par parcelle élémentaire après démarrage (entretiens 15 jours après semis).

Il est noté quelques jours après la levée. Obatanpa est la seule variété ayant le plus faible pourcentage (20,75%) en termes de nombre de plant après démariage. Cela est peut être dû à la variété ou à l'état des semences étant donné que toutes les variétés étudiées ont été cultivées dans les mêmes conditions (profondeur de semis, état du sol). En effet les techniques et les conditions de culture influent sur la levée et donc sur le nombre de plants [22]. Le grain de maïs produisant un seul plant, la densité de semence est directement corrélée au nombre de plant. Entre la densité au semis et le nombre de plantes, il faut considérer une perte moyenne de 5 à 8 % de pieds (graines non germées, attaques parasitaires) [23]. Ce pourcentage est à majorer pour les semis précoces et selon les conditions spécifiques de la parcelle (température et humidité du sol, ravageurs...). L'initiation de l'inflorescence mâle est le début de la phase de développement ou phase reproductrice (fabrication des organes reproducteurs (fleurs)). Pendant cette phase il y a une différenciation du méristème végétatif apical en inflorescence mâle (panicule). L'appareil foliaire est déterminé et se présente sous la forme d'ébauche foliaire. Le cycle de semi-floraison mâle selon les résultats, présentent un cycle végétatif précoce de 51 jours réalisé par les deux variétés locales et cinq autres variétés améliorées, et un cycle long avec un retard de 7 jours, réalisé par une variété améliorée (Acr 97 complw synt).

Cette structuration de la diversité morphologique montre que chez les variétés cultivées, la différenciation morphologique est souvent basée sur les traits agronomiques [24]. La sélection phénotypique paysanne basée sur les caractères perceptibles (phénologiques, végétatifs) pourrait expliquer la contribution de ces variables à la structuration de la variabilité. Selon [25], les caractères végétatifs (hauteur de la plante, la longueur du cycle et certains paramètres de l'épi comme le nombre de grains) sont les principaux critères utilisés par les paysans de Cuzalapa (Mexique) pour identifier les variétés de maïs. La transition de l'inflorescence mâle à l'inflorescence femelle occupe un intervalle de temps de 2 à 4 jours. Nos résultats sont conformes à ceux de [19], qui soutient que l'intervalle requis entre la floraison mâle et la floraison femelle est inférieur à 5 jours. Les cycles de floraison impliquant cette transition sont très dépendants de la température du sol. En effet une température inférieure à 15°C peut induire un ralentissement de la croissance, une réduction de la surface foliaire et une réduction de l'absorption de minéraux par les racines. Après analyse les résultats ont montré que le premier groupe se caractérisait par un cycle de semis-floraison femelle court compris entre 53 et 54 jours.

Ce groupe de variétés est considérées comme très précoces renfermant les deux variétés locales témoins (AC176 et le Violet de Katiola) et les variétés améliorées GMRP-18 ; EV8728 ; ACR97complw car la durée du cycle végétatif est l'un des principales critères de différenciation des génotypes (variétés) du maïs. Le cycle de semis-floraison femelle en passant par le cycle de floraison mâle sont parties intégrantes de la phase végétative pendant laquelle la plantule devient autotrophe à la levée, puis les 2 à 5 racines séminales sont fonctionnelles et les racines adventives se développent. A ce stade, l'ensemble de l'appareil foliaire est donc déterminé et présent sous la forme d'ébauche foliaire [20]. Les variétés du deuxième groupe considéré comme intermédiaire (Obatanpa et MDJ) par rapport au premier groupe présentent un léger retard dans la réalisation du cycle biologique. Ce retard varie de 4 à 5 jours. Le groupe 3 renferme une seule variété considérée comme tardive (ACR97compsynt). Cette variété présente un retard dans la réalisation de son cycle semis-floraison femelle plus important que les variétés du premier groupe avec une différence de 7 jours. La hauteur de la plante augmente avec la précocité et la tardivité de la variété, mais varie aussi en fonction des conditions de milieu (climat, humidité et température de sol). La hauteur maximale est atteinte à la floraison après une période de croissance intense (montaison). Dans l'ensemble les rendements sont faibles. Notons que la variété locale Violet de Katiola a eu un rendement beaucoup plus élevé que la variété améliorée GMPR-18. Ceci pourrait s'expliquer par les dégâts effectués sur les épis par les oiseaux. Le nombre d'épis par parcelle est le nombre d'épis existants à la récolte pour chaque parcelle élémentaire.

Il est bien connu que les céréales sont généralement composées d'eau, de glucides, de protéines, de matières grasses et de minéraux [26]. Les paramètres physicochimiques des huit variétés de maïs (locales et améliorées) ont été déterminés afin de connaître leur composition chimique à la récolte. Le poids du grain est fonction de sa taille, de sa forme et de sa composition biochimique. Les poids de 1000 grains des variétés de maïs étudiées sont compris entre 270,80g et 330,43g et se rapprochent de ceux de [27] compris entre 280 et 330 g. Selon [28]. Le poids des grains dépend entre autre des facteurs génétiques liés à chaque variété, mais aussi des facteurs environnementaux et des pratiques agronomiques (fertilisation, date et densité de semis, protection antifongique, etc.). La mesure du poids de 1000 grains sert à déterminer le rendement d'une céréale avant la récolte. On en déduit donc que les variétés GMRP18 et Obatanpa donneraient un bon rendement à la récolte. Le taux d'humidité obtenu par élimination de l'eau contenue dans la matière première a pour but d'apprécier la qualité de séchage et de prédire la durée de conservation des variétés de maïs. La teneur en eau des variétés étudiées comprise entre 11,07 % et 11,53% est inférieure aux taux d'humidité enregistrés par [29] (12 à 13%) qui ont trouvé que ces taux permettent une bonne conservation du maïs.

En effet une bonne conservation du maïs nécessite une humidité du grain inférieure à 14% [30], car une faible teneur en eau réduit les risques de détérioration et de croissance microbienne [31]. Lorsque le taux d'humidité du grain se rapproche du seuil de stabilisation (12%), ce dernier ne contient plus d'eau libre ; son activité respiratoire est très faible et il se comporte presque comme une matière inerte. À ce niveau, une augmentation de l'humidité de 1,5% multiplie par deux l'intensité respiratoire du grain et la quantité de chaleur dégagée. Aux normes commerciales (14,5%), fixées entre 1 à 2 points au-dessus du seuil de stabilisation, le risque d'une mauvaise conservation est élevé [27]. Par ailleurs, il faut noter que l'eau a un rôle physique et un rôle chimique. Le rôle physique permet le maintien des structures cellulaires, le transport du gaz et de sels minéraux et la bonne conductibilité thermique du grain. Le rôle chimique intervient lors des hydrolyses et surtout au cours des réactions du métabolisme du grain [32]. Il en ressort que les variétés de maïs étudiées, particulièrement la variété Obatanpa, se prêteraient mieux à une bonne conservation en raison de sa faible teneur en eau. Les glucides représentent la fraction la plus importante de la matière sèche du maïs. Ils sont dosés dans le but d'apprécier la valeur énergétique des variétés de maïs étudiées. Les résultats obtenus ont montré que le Violet de Katiola (variété locale) a le taux le plus élevé de glucides totaux alors que la variété Obatanpa (variété riche en protéine) le taux le plus bas.

Cette différence observée serait liée au type de variété. Par ailleurs, notons que dans l'ensemble, ces teneurs en glucides totaux (59,40 à 77,68 % MS) se rapprochent de celles (66 à 70,4 % MS) des variétés de maïs riches en protéines produites au Guatemala [33] et de celle de la variété vulgarisée par l'IITA au Nigéria qui est de 74,43 % [34] mais inférieure à celle obtenue par [35] pour des variétés de maïs cultivées en Inde (environ 85 % MS). Il faut noter que les glucides totaux encore appelés hydrates de carbone sont stockés sous forme d'amidon dans les céréales. Ils agissent également comme des laxatifs naturels, facilitant ainsi la digestion et constituent la source d'énergie utilisée de façon primordiale par l'organisme [36, 37]. Ce taux élevé en glucides est en rapport avec la teneur en amidon qui représente près de 68 % MS. Cette teneur relativement élevée en glucides totaux est un atout pour l'utilisation de ces farines dans la fabrication de produits commerciaux tels que l'amidon, le glucose et l'alcool. La digestibilité de cet amidon, qui dépend de l'hydrolyse par les enzymes pancréatiques, détermine la valeur de l'énergie métabolisable des grains de céréales [38, 39]. Les résultats sur les protéines montrent que les variétés EV8728, MDJ, Acr97comp1w et Acr97comp1synt, ont des taux faibles et significativement identiques contrairement aux variétés Obatanpa et GMRP18 qui sont significativement identiques avec de fortes teneurs en protéines. Toutes ces variétés ont des taux en protéines différents de celui de la variété AC 176 (témoin) qui a quant à elle un taux intermédiaire.

Les teneurs en protéines des huit variétés de maïs se situent entre 10,51 % et 12,12 % MS ; elles corroborent les résultats (10 et 12 % du poids des grains pour la variété Opaque-2) obtenus par [40, 41]. Ces teneurs se rapprochent aussi des valeurs relevées par [42] dans le Sorgho (10,4 %MS), le Blé (11,6 % MS) et le Mil commun (12,5 % MS). La teneur en protéine des céréales est influencée à la fois par les facteurs génétiques et environnementaux [43, 44]. La fonction essentielle d'une protéine alimentaire est de satisfaire les besoins du corps en azote et en acides aminés essentiels, car la qualité d'une protéine est essentiellement fonction de sa composition en acides aminés essentiels [42]. Les composés phénoliques sont présents spécifiquement chez les végétaux et jouent un rôle d'antioxydants. Ils ne sont pas directement impliqués dans un processus métabolique quelconque et sont donc considérés comme des métabolites secondaires [45]. Les composés phénoliques sont constitués de trois grandes catégories : les acides phénoliques, les flavonoïdes et les tanins [46, 47]. Les teneurs en composés phénoliques totaux varient de 5,77 à 9,89 mg pour 100g de matière sèche ; les variétés AC176 et Acr97complw étant les plus riches et la variété Obatanpa la plus pauvre.

Les variétés AC176 et Acr97complw se prêteraient mieux à une conservation de longue durée car la présence de composés phénoliques dans les grains empêche les pertes dues à une germination prématurée et aux dégâts dus à la moisissure [48, 49]. [50] ont observé que les composés phénoliques avaient la propriété de protéger les végétaux contre les insectes. Les analyses ont révélé une très faible teneur en tanins dans les variétés de maïs étudiées contrairement aux taux de tanins relevés dans le sorgho blanc et rougeâtre (0,09 et 0,27 mg/100g de MS) [42]. [51] ont trouvé qu'il n'y avait pas de traces de tanins dans le maïs. Cela expliquerait l'absence de pigment noir dans nos variétés de maïs. Selon [49, 52], les tanins sont les composés phénoliques les plus abondants que l'on rencontre dans le sorgho brun, lui permettant de résister aux oiseaux. Mais la faible teneur en tanins confère aux variétés de maïs une bonne digestibilité des protéines et constitue un effet positif sur la qualité nutritionnelle du grain [53]. Le taux de cendre et des minéraux des variétés améliorées et locales ont été évalué. Le taux de cendre de la variété MDJ est le plus faible et significativement différent de ceux des variétés GMRP18 et EV8728 qui sont les plus élevés, mais proches des taux de cendre des autres variétés.

Dans l'ensemble, les taux de cendre obtenus (1,3 à 1,74 % MS) sont comparables à ceux de [54, 55] qui ont trouvé respectivement des valeurs comprises entre 1,1 à 1,6 % MS dans des millets d'oiseaux et une teneur de 1,67% dans le Sorgho. Nos résultats sont aussi comparables à ceux de [56] qui ont montré que la teneur en cendre dans le maïs est d'environ 1,3 % MS, une teneur acceptable. La différence observée au niveau des variétés étudiées pourrait s'expliquer par le fait que ce sont les facteurs environnementaux qui influent la teneur en cendre. Les minéraux trouvés dans les semences de maïs proviendraient de l'utilisation de la matière inorganique du sol, aux applications des engrais et/ou au type de variété [57, 58]. La détermination du taux de lipides permet d'évaluer la réserve énergétique des variétés de maïs. Pour ce qui est des témoins, le violet de Katiola est plus riche en lipides que la variété AC176. La variété GMRP18 est moins riche en matière grasse que les variétés Obatanpa et ACr 97 compl-w synt. Le taux de lipides dépendrait du type de variété et donc des facteurs génétiques. Les teneurs en lipides relevées au cours de cette étude comprises entre 3,39 % et 6 % MS corroborent celles obtenues dans les variétés de maïs riches en protéines cultivées au Guatemala telles que « Blanco tropical » et « Santa Apolonia » qui présentent des teneurs variant entre 3 et 18 % MS [59]. Ces teneurs sont aussi comparables à celle trouvée dans le sorgho (3,6 % MS) [42]. En général, les grains de céréales sont une source importante d'acides gras essentiels qui sont concentrés dans le germe [60]. Ces acides gras essentiels sont indispensables au maintien des cellules de l'organisme, protègent le système nerveux et permettent aussi de lutter contre le mauvais cholestérol [61].

5. Conclusion

Les résultats sur les caractéristiques morphologiques du maïs cultivé en Côte d'Ivoire montrent clairement que les variétés présentent une différence pour l'ensemble des caractères utilisés. Cette différence s'observe au niveau des caractéristiques des épis et grains, la précocité, la hauteur des plantes et le rendement. Chaque caractéristique constitue une source potentielle de caractères intéressants pour l'amélioration de la production du maïs en Côte d'Ivoire. Les variétés étudiées sont constituées en majorité d'écotypes précoces, et d'individus de petite taille et de taille moyenne. Les individus de petite taille tels que les variétés locales AC 176 et le Violet de Katiola et les variétés améliorées GMPR-18, EV8728, ACR 97TZL comp1-w, présentent les meilleurs caractéristiques végétatifs. Ils peuvent servir de source de géniteur dans un programme visant l'amélioration de la hauteur de la taille. En revanche les variétés dotées des meilleures caractéristiques d'épis et de grains telles que Obatanpa, EV8728, ACR97 TZLcomp1-w, ACR97TZL comp1-W synt, GMRP18 et une variété locale (AC176), peuvent servir de source de géniteur pour améliorer le rendement.

Cette étude a aussi été menée pour évaluer les caractéristiques physico-chimiques de 8 variétés améliorées de maïs (Obatanpa, MDJ, EV8728, GMRP18, ACr 97 comp et ACr 97 comp synth) et 2 variétés locales (Violet de Katiola et AC176) à la récolte. Il en ressort que les variétés locales de maïs étudiées ont des poids faibles comparées aux variétés améliorées, par contre elles ont presque toutes les mêmes taux d'humidité compris entre 11 et 12%. Parmi les variétés locales, le taux de matière grasse est plus élevé dans le Violet de Katiola que dans la variété AC176 et au niveau des variétés améliorées, ACr 97 comp synth est plus riche en matière grasse que la variété GMRP18. Le Violet de Katiola est la variété la plus riche en glucides totaux mais la moins riche en protéines. Les variétés améliorées sont moins riches en composés phénoliques comparées aux variétés locales. La variété AC176 en contient 9,89 %MS, quand l'inverse est observé chez la variété Obatanpa (5,77 %MS). Dans l'ensemble, toutes les variétés présentent une bonne aptitude à la conservation en raison de leur faible teneur en eau. Cependant il faut aussi noter que, compte tenu du taux de matière grasse et de glucides totaux élevé dans certaines variétés, des dispositions particulières doivent être prises au cours de la conservation pour limiter l'action néfaste des germes pathogènes et d'altération.

Références

- [1] - PLANETOSCOPE-STATISTIQUE. Statistiques mondiales en temps réel sur les céréales www.planetoscope.com/cereales/193-production-mondiale-de-mais (2013).
- [2] - 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).
- [3] - COUNTRYSTAT. www.countrystat.org/civ/cont/pxwebquery/ma/107spd080/fr (2013).
- [4] - R. BLASSONNY, *Ivoire grain*, <http://www.ivoiregion.net/index.php/lanouvelle/726-germination-le-mais-veut-damer-le-pion-au-coton> (2013).
- [5] - A. CHARCOSSET et A. GALLAIS, Emergence et développement du concept de variétés hybrides chez le maïs. *Le Sélectionneur Français*, 60 (2009) 21-30.
- [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.
- [7] - A. A. MISSIHOUN, C. AGBANGLA, H. ADOUKONOU-SAGBADJA, C. AHANHANZO et R. VODOUHE Gestion traditionnelle et statut des ressources génétiques du sorgho (*Sorghum bicolor* L. Moench) au Nord-Ouest du Bénin. *International Journal of Biological Chemical Sciences* 6 (2012) 1003-1018.

- [8] - BIPEA, Recueil des Méthodes d'Analyse des communautés Européennes. 160p. (1976).
- [9] - M. DUBOIS, K. GILLES, J.K. HAMILTON, P.A. REBERS and F. SMITH, Colorimetric methods for determination of sugar and related substances. *Analytical chemical*. 28 (1956) 350-356.
- [10] - AOAC, Association of Official Analytical Chemical, Official methods of analysis. Washington D.C. USA. (1984) 14 p.
- [11] - V. L. SINGLETON, R. ORTHOFER and R.M. LAMUELA-RAVENTOS, Analysis of total phenols and other oxidant substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods Enzymol.*, 299 (1999) 152-178.
- [12] - M. L. PRICE, S. VAN SCOYOC and L.G. BUTLER, A critical evaluation of the vanillin reaction as an assay for tannin in sorghum grain. *J. Agric. Food Chem.*, 26 (1978) 1214-1218.
- [13] - L. RADHOUANE Etude de la variabilité morpho-phénologique chez *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br., Plant Genetic Resources Newsletter, 138 (2004) 18-22.
- [14] - S. E. SMITH, A. A. DOSS and M. WARBURTON, Morphological and agronomic variation in North African and Arabian alfalfas, *Crop Science*, 31 (1991) 1159- 1163.
- [15] - B. FRALEIGH, Importance des banques de ressources phytogénétiques, In: Amélioration et protection des plantes vivrières tropicales, (Eds) Saint Pierre C-A., Demaly Y., AUPELF-UREF, Québec, Canada, (1987) 13-18.
- [16] - D. MCKEY, L. EMPERAIE, M. ELIAS, F. PINTON, T. ROBERT, S. DESMOULIÈRE et L. RIVAL, Gestion locales et dynamiques régionales de la diversité variétale du manioc en Amazonie, *Genetic Selection Evolution*, 33 (2001) 465-490.
- [17] - A. BARNAUD, H. JOLY, D.B. MCKEY, M. DEU, C. KHASAH, S. MONNE et E. GARINE, Gestion des ressources génétiques du sorgho (*Sorghum bicolor*) chez les Dupa (Nord Cameroun), *Cahiers Agricultures*, 17 (2) (2008) 178-182.
- [18] - S. DELAUNAY, R-P. TESCAR, A. OUALBEGO, K. VOM-BROCKE, J. LANÇON, La culture du coton ne bouleverse pas les échanges traditionnels de semences de sorgho. *Cahiers Agricultures*, 17 (2008) 189– 194.
- [19] - A. FLEURY, Les problèmes techniques du semis. Association française pour l'étude du sol-
www.afes.fr (2010).
- [20] - J. BIGNON, Agrométéorologie et physiologie du maïs grain dans la communauté européenne, (1990) pp 27-29.
- [21] - P. HUBERT, Recueil de fiche technique d'Agriculture spéciale à l'usage des lycées agricole à Madagascar (1978).
- [22] - R. BONHOMME, - Action des facteurs climatiques sur le développement du maïs. Cycle Supérieur d'Agronomie, INA-PG. (1981).
- [23] - D. B. EGLI and D. M. TEKRONY, - Relation between soybean seed vigor and yield. *Agronomy Journal*, 71, (1979) 755-758.
- [24] - J. SANOU, Analyse de la variabilité génétique des cultivars locaux de maïs de la zone de savane ouest africaine en vue de sa gestion et de son utilisation. Thèse de doctorat de l'École Nationale Supérieure Agronomique Montpellier (France); (1996) 98p.
- [25] - D. LOUETTE, Gestion traditionnelle de variétés de maïs dans la réserve de la biosphère Sierra Manantán (RBSM, états de Jalisco et Colima, Mexique) et conservation in situ des ressources génétiques de plantes cultivées. Thèse de doctorat de l'École Nationale Supérieure Agronomique Montpellier (France); (1994) 245 p.
- [26] - E. O. CUEVAS-RODRIGUEZ, N.M. VERDUGO-MONTOYA, P.I. ANGULO-BEJARANO, J. MILAN-CARRILLO, R. L. MORA-ESCOBEDO, A. BELLO-PÉREZ, J.A. GARZON-TIZNADO and C. REYES-MORENO, Nutritional properties of tempeh flour from quality protein maize (*Zea mays* L.). *LWT*, 39 (2006) 1072-1079.

- [27] - ITCF, Institut Technique des Céréales et des Fourrages : Guide Pratique - Stockage et conservation des grains à la ferme (1989).
- [28] - FAO, Le maïs dans la nutrition humaine. *Alimentation et nutrition*. Collection n°25. FAO Ed, Genève, (1993) 119 p.
- [29] - P. MARTY, P. HUBERT et H. GRIMAUD, Fiches techniques d'agriculture spéciale à l'usage de l'enseignement agricole d'Afrique Subsaharienne : Le Maïs, série 1 (1992) 23 p.
- [30] - F. R. DEL VALLE, Industrial production, distribution and marketing of maize, flour tortilla in Mexico. In R. Bressani, J.E. Braham and M. Béhar. *Nutritional improvement of maize*, (1972) 57-83.
- [31] - F. L. HERUM, Harvesting and postharvest management. In Watson S.A. and Ramstad P.E. Eds. *Corn. Chemistry and technology*, (1987) 83-123.
- [32] - D. S. B. N'DIAYE, Manuel de Stockage et de Conservation des céréales et des Oléagineux (1999) p61.
- [33] - C. D BOYER and J.C SHANNON, Carbohydrates of the kernel in S.A. Watson et P.E. Ramstad. Eds. *Corn: chemistry and technology*, (1987) 253-272.
- [34] - M. O. DEMA, L. O. SANNI and A. I. SANNI, Evaluation of maize-soybean flour blends for sour maize bread production in Nigeria. *Afr. J. Biotechnol.*, 4 (2005) 911-918.
- [35] - P. GUIRA, Physico-chemical properties, nutritional quality and value addition to quality protein maize (*Zea mays L.*). Master of home science departement of food science and nutrition-college of rural home science, University of agricultural sciences, Dharwad, (2006).70 p.
- [36] - P. M. GAMAN and K.B. SHERRINGTON, The Sciences of food. 4th Edn., Real educational and Professional Publishers Ltd., Oxford, (1996)125 – 136.
- [37] - M. N. GORDON, Comtemporay nutrition; issues and insghts. Mc-Graw Hill, New York, 4th Edition, (2000) 102 – 256.
- [38] - J. W. MCNEILL, G. D. POTTER, J. K. RIGGS and L. W. ROONEY, Chemical and physical properties sorghum grain carbohydrates. *J. Anim. Sci.*, 40 (1975) 335-3341.
- [39] - L. H. HARBERS, Starch granule structural changes and amyolytic patterns in processed sorghum grain. *J. Amin. Sci.*, 41 (1975) 1496-1501.
- [40] - J. LANDRY et T. MOUREAUX, Hétérogénéité des gluténines du grain de maïs : extraction sélective et comparaison en acides aminés des trois fractions isolées. *Chem Biol.* 52 (1970) 1021-1037.
- [41] - . LANDRY and T. MOUREAUX, Distribution and amino acid composition of protein group located in different histological parts of maize grain. *J. Agric. and Food Chem.* 28 (1980) 1186-1191.
- [42] - FAO, LE SORGHO ET LE MIL dans la nutrition humaine. 27 (1995) 38- 40.
- [43] - C. A. BURLESON, W.R. COWLEY and G. OTEY, Effect of nitrogen fertilization on yield and protein content of grain sorghum in the lower Rio Grande valley of Texas. *Agron. J.*, 48 (1956) 524-525.
- [44] - D. H. WAGGLE, C. W. DEYOE and F. W. SMITH, Effect of nitrogen fertilization on the amino acid composition and distribution in sorghum grain. *Crop Sci.*, 7 (1967) 367-368.
- [45] - C. L. LEGER, Co-produits de l'huilerie d'olive : les composés phénoliques et leurs propriétés biologiques- *OCL*, 6 (1) (1999) 60-63.
- [46] - T. BETA, Anti-nutrients or anti-oxidants in cereal grains: an evaluation of the composition and functionality of phenolic compounds with special reference to sorghum and barley. In: Belton P.S. & Taylor J.R.N., eds. *Conference proceedings of the AFRIPRO Workshop on the proteins of sorghum and millets: enhancing nutritional and functional properties for Africa, 2-4 April, Pretoria, South Africa*, paper 11 (2003) 1-9, <http://www.afripro.org.uk/papers/Paper11Beta>. (11/05/2007).
- [47] - M.H. Dicko, H. Gruppen, A.G.J. Voragen and W.J.H. Van Berkel, Biochemical characterization of major sorghum grain peroxidase. *FEBS J.*, 273 (2006) 2293-2307.
- [48] - H. B. HARRIS and R.E. BURNS, Influence of tannin content on preharvest germination in sorghum. *Agron. J.*, 62 (1970).835-836.
- [49] - R. E. BURNS, Methode for estimation of tannin in grain sorghum. *Agron. J.*, 63 (1971) 511-512.

- [50] - D. L. DREYER, J. C. REESE and K. C. JONES, Aphid feeding deterrents in sorghum: bioassay, isolation and characterization. *J. Chem. Ecol.*, 7 (1981) 273-284.
- [51] - J. FEKETE et J. CASTAING, Utilisation de sorghos à différents teneurs en tanins par le porcelet sevré. *Journée Rech. Porcine en France*, 19 (1987) 327-332.
- [52] - K. W. TIPTON, E. M. FLOYD, J. G. MARSHALL and J. B. MCDEVITT, Resistance of certain grain sorghum hybrids to bird damage in Louisiana. *Agron. J.*, 62 (1970) 211-213.
- [53] - D. K. SALUNKHE, S. J. JADHAV, S. S. KADAM and J. K. CHAVAN, Chemical, biochemical and biological significance of polyphenols in cereals and legumes. *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 17 (1982) 277-305.
- [54] - P. V. MONTEIRO, D. N. GOPAL, T. K. VIRUPAKSHA and G. RAMACHANDRA, Chemical composition and in vitro protein digestibility of Italian millet (*Setaria italica*). *Food Chem.*, 29 (1988) 19-26
- [55] - J. E. HUBBARD and H. H. HALL, *Cereal Chem.*; 27 (1950) 415.
- [56] - R. L. SQUIBB and N. S. SCRIMSHAW, Nutritive value of Central American corns. V. Carotene content and vitamin A activity of tree Guatemalan yellow corns. *Food Res.* 22 (1957) 303-307.
- [57] - Y. G. DEOSTHALE and V. S. MOHAN, Locational differences in protein, lysine and leucine content of sorghum varieties. *Indian J. Agric. Sci.*, 40 (1970) 935-941.
- [58] - Y. G. DEOSTHALE, V. NAGARAJAN, R. K. VISWESWAR, Some factors influencing the nutrient composition of sorghum grain. *Indian J. Agric. Sci.*, 40 (1972) 100-108.
- [59] - R. M. SANDSTEAD, B. H. HITES and H. SCHROEDER, Genetic variations in maize. Effect on the properties of the starches. *Cereal Sc.* 13, (1968) 82-94.
- [60] - E. J. WEBER, Lipids of the kernel. In S. A. Watson and Ramsted P. E. Eds. *Corn: chemistry and technology*, (1987) 311-349.
- [61] - R. BRESSANI, V. BENAVIDES, E. ACEVEDO and M.A. ORTIZ, Changes in selected nutrient content and in protein quality of common and quality maize during tortilla preparation. *Cereal Chemistry*. 6 (67) (1990) 515-518