

Diversité Variétale, Qualité Et Utilisation Du Maïs (*Zea Mays*) En Afrique De l'Ouest : Revue Critique

A. J. Semassa

Laboratoire de Biologie et de Typage Moléculaire en Microbiologie, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Biochimie et de Biologie Cellulaire, Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Cotonou, Bénin

S.W. Padonou

Laboratoire des Sciences des Aliments, Ecole de Nutrition et des Sciences et Technologies Alimentaires, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin
Programme Technologie Agricole et Alimentaire,
Centre de Recherches agricoles d'Agonkanmey,
Institut National des Recherches Agricoles du Benin, Porto-Novo, Bénin

V.B. Anihouvi

Laboratoire des Sciences des Aliments, Ecole de Nutrition et des Sciences et Technologies Alimentaires, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin

N.H. Akissoé, D. Aly

A. Adjanohoun

Centre de Recherches Agricoles Sud, Institut National des Recherches Agricoles du Bénin, Attogon, Bénin.

L. Baba-Moussa

Laboratoire de Biologie et de Typage Moléculaire en Microbiologie, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Biochimie et de Biologie Cellulaire, Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Cotonou, Bénin

doi: 10.19044/esj.2016.v12n18p197 [URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n18p197](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n18p197)

Abstract

Maize (*Zea mays*) is a cereal cultivated through all the region of the world. Its constitutes one of the cereals the most used for human consumption. The current review focused on the diversity, the nutritional quality and the forms of use of maize in West Africa region. The review allowed to notice that more than twenty varieties of maize were cultivated in Bénin and in the sub-region. With regard to nutritional aspect, those different varieties of maize contained variable amounts of starch (64-78%), fat (4-6%), protein (7-12%), crude fibers (2-2.5%), ash (1-1.5%) and sugar (1-3%). Potassium (324.8-344 mg /100g), magnesium (107.9-115 mg/100g) and

phosphorus (99,6-276 mg/100g) were the main mineral in maize. Likewise, leucine, isoleucine, tryptophane and valine all contained in the germ were the main amino acids in maize. These chemical components can be alone or in a possible synergy of action responsible for numerous technological advantages of maize. Through its chemical and technological characteristics the maize constitutes an important raw material for many culinary recipes in West Africa region. So it is important to make the inventory of the main varieties cultivated in the sub-region, to compare them at both nutritional and technological aspects for prospective actions to undertake in order to improve the yield of these varieties and to guarantee food security for the populations.

Keywords: Maize, Variety, Nutritional quality, processing

Résumé

Le maïs (*Zea mays*) est une céréale dont la culture se pratique dans toutes les régions agricoles du monde. Elle constitue l'une des céréales les plus importantes utilisées dans l'alimentation humaine. La présente revue fait le point sur la diversité variétale, la qualité nutritionnelle et les formes d'utilisations du maïs dans la région Ouest Africaine. Elle a permis de noter que plus qu'une vingtaine de variétés de maïs sont cultivées au Bénin et dans la sous-région. Sur le plan nutritionnel, ces différentes variétés de maïs contiennent des teneurs variables en amidon (64-78%), en matières grasses (4-6%), en protéines (7-12%), en fibres brutes (2-2,5%), en cendres (1-1,5%) et en sucres (1-3%). Le potassium (324,8-344 mg /100g), le magnésium (107,9-115 mg/100g) et le phosphore (99,6-276 mg/100g) sont les principaux sels minéraux du maïs. De même, les acides aminés tels que la leucine l'isoleucine, le tryptophane et la valine tous contenus dans le germe constituent les acides aminés majeurs du maïs. Ces constituants chimiques peuvent seuls ou dans une possible synergie d'action être responsables de nombreux avantages que présente le maïs sur le plan technologique. De par ses propriétés chimiques et technologiques, le maïs constitue une matière première importante à la base de plusieurs recettes alimentaires de la sous-région Ouest-Africaine. Il est donc important de faire le point des variétés cultivées dans la sous-région, de les comparer sur les plans nutritionnel et technologique en vue de déterminer les actions futures à entreprendre afin d'améliorer les rendements des variétés en question pour garantir la sécurité alimentaire des populations.

Mots-clés : Maïs, Variété, Qualité nutritionnelle, Transformation

Introduction

Les céréales constituent l'aliment de base de nombreuses populations depuis des milliers d'années. Selon la FAO, la production mondiale de céréales en 2014 est estimée à 2,480 milliards de tonnes (FAO, 2014). Dans l'alimentation humaine, les céréales les plus importantes restent le blé, le mil, le sorgho, le maïs et le riz dont les niveaux de consommation varient d'un pays à un autre. En Afrique de l'Ouest, elles occupent une place importante dans la consommation alimentaire (Adjilé, 2012).

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 (Planetoscope-Statistique, 2013). La position dominante du maïs en Afrique en générale et en Afrique de l'Ouest en particulier a été favorisée par ses capacités d'adaptation aux conditions agro-écologiques et par ses rôles stratégiques à la fois comme produit de rente et produit de forte consommation dans de nombreux pays (Nago, 1997). 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, porcins, bovins) et sert de matière première dans certaines industries (brasserie, savonnerie et huilerie) (Boone et al., 2008). Il est la principale céréale intervenant dans l'alimentation des populations (Adjanohoun et al., 2012). C'est la céréale la plus énergétique (Charcosset et Gallais, 2009), en raison à ses atouts nutritifs (richesse en amidon, présence de protéines, de minéraux) et la plus économique du point de vue de la production (culture simple à produire, à récolter et à stocker) (Nuss et Tanumihardjo, 2011).

Dans le Sud-Bénin, le maïs apporte aux populations 60% de l'énergie alimentaire totale (Cresta et al., 1994). La quasi-totalité du maïs est produite de façon traditionnelle dans de petites exploitations familiales. Les rendements obtenus de l'ordre de 600 à 700 kg/ha, sont non seulement extrêmement bas, mais pourraient encore baisser sous l'effet des perturbations climatiques de plus en plus fréquentes. La menace d'une crise alimentaire est donc persistante et les solutions préconisées par les décideurs tendent vers la promotion de l'intensification de l'agriculture sur le modèle des pays développés (Adjahossou et al., 2009). Cependant, les contraintes majeures que constituent une pluviométrie aléatoire, la fragilité des sols, la très forte pression parasitaire (Pujolle, 1994), et l'absence de ressources humaines et financières adéquates, réduisent les chances de succès d'un tel projet. Dans ces conditions, les alternatives les plus crédibles devront s'appuyer sur l'amélioration des savoir-faire traditionnels. Ainsi des variétés spécifiques pourraient être introduites dans les systèmes de cultures

associées (Muleba et *al.*, 1985) et l'utilisation des intrants d'appoint soutiendrait la fertilité des sols, tandis qu'une irrigation sélective réduirait les déficits hydriques très prononcés. Des expérimentations ont été réalisées dans ce sens, et les rendements ont été notablement améliorés (Adjahossou et *al.*, 2008). Mais la fonction de base de la production agricole étant d'assurer quantitativement et qualitativement l'alimentation, l'appréciation des rendements devra inclure l'évaluation de la capacité de production de rations alimentaires équilibrées en glucides, en protéines et en lipides par hectare. Cette démarche est d'autant plus justifiée que les variétés courantes de maïs ne peuvent assurer quantitativement les besoins en protéines et en lipides pour les populations qui les utilisent comme aliment de base (FAO/OMS, 1973). En effet, les variétés utilisées sont généralement pauvres en lysine et en tryptophane. Ces déficiences dans la composition chimique ont suscité de nombreux travaux visant à améliorer par diverses voies, leur qualité nutritionnelle. A partir de la découverte du gène opaque-2, la teneur en protéines du maïs a pu être portée de 6 à 26,6% par la sélection génétique (Dudley et *al.*, 1977). Diverses méthodes de transformation comme la cuisson alcaline et la fermentation améliorent également la valeur nutritive du grain de maïs (Sanni et *al.*, 2002 ; Wachter, 2003; Sefa-Dedeh et *al.*, 2004 ; Sanya et *al.*, 2007).

Pour contribuer à l'amélioration des rendements, il est donc nécessaire de substituer les variétés locales qui représentent l'essentiel du matériel végétal utilisé (Missihoun et *al.*, 2012) par la mise au point de variétés améliorées à haut potentiel de rendement (Deffan et *al.*, 2015). Aussi, il est important de faire le point des variétés qui présentent des caractéristiques nutritionnelles et technologiques intéressantes pour une meilleure valorisation. C'est donc dans cette optique que s'inscrit la présente revue qui se propose de répertorier les diverses variétés utilisées aux plans agricole et technologique dans le but de fournir un document référentiel aux chercheurs qui s'impliquent dans la recherche sur le maïs.

Variétés de maïs cultivées au Bénin et dans la sous-région Ouest Africaine

La production du maïs dans la sous-région Ouest Africaine a enregistré une croissance importante au cours des quarante dernières années. Au Bénin par exemple, elle est passée de 230 000 tonnes au début des années 70 à plus de 1 345820 tonnes en 2013 (DPP, 2013). Il en est de même du rendement qui a connu une augmentation passant de 600 kg/ha en moyenne en 1970 à 1,4 t/ha en 2009. Une quinzaine de variétés de maïs possédant différentes caractéristiques agronomiques sont cultivés au Bénin (Dato, 2010) (Tableau 1). Il ressort du tableau 1 que les variétés cultivées au Bénin sont souvent classées en se référant entre autres à la forme, la couleur des

grains (blanc et jaune) et à la durée de leur cycle végétatif. Parmi les différentes variétés figurant dans le tableau on distingue les variétés à cycle extra précoce (75 jours), les variétés à cycle précoce (90 jours), les variétés à cycle intermédiaire (110 jours), et les variétés à cycle tardif (120 jours et plus) avec des rendements potentiels en milieu paysan variant entre 2 et 6 tonnes par hectare. Le rendement en grains de maïs a montré que la variété la plus productive est TZPB SR-W qui produit 5 à 6 T/Ha, et les variétés les moins productives sont 2000 SYN EE et TZEE-W avec 2 à 3 T/Ha (Tableau 1). De même la variété TZPB SR-W présente le poids le plus élevé allant jusqu'à 1400g/1000 grains contre 770g/1000 grains pour le TZE COMP 3 DT qui est le plus faible en poids. Ainsi, la variété TZPB SR-W la plus productive présente le poids le plus élevé. Les variétés à grains blancs sont prédominantes et représentent environ 80% du total (Tableau 1) ; quelques variétés à grains jaunes (20%) sont également rencontrées. De point de vue de la forme et de la texture, on rencontre différents types de grains de maïs : des grains dentés et des grains farineux aux grains vitreux. La variété EVDT 97 STR d'un cycle de 90 jours et d'un potentiel productif de 2 à 3 T/ha en milieu paysan, permet de contrôler le *Striga hermonthica* dans les localités de Zakpota, et sur le plateau d'Abomey (Toukourou *et al.*, 2009).

Tableau 1 : Caractéristiques agronomiques des variétés composites de maïs cultivées au Bénin

Variétés	Nature Génétique	Cycle végétatif (jrs)	couleur des grains	Hauteur (cm)	Longueur de l'épi (cm)	Type de grain	Nombre de rangées par épi	Nombre de grains par rangée	Poids de 1000 grains	Rendement moyen en T/Ha
DMR ESR-W	Composite	90	Blanc	170	15	Denté	14	34	1100	3,5-4
EV DT 97 STR-W	Composite	90	Blanc	166	16	Vitreux	14	36	1150	3,5-4
DMR ESR-W/QPM	Composite	90	Blanc	167	15	Denté	14	36	1004	3,5-4
2000 SYN EE	Composite	75	Blanc	167	14	Denté	14	36	900	2 à 3
TZEE-W	Composite	75	Blanc	150	14	Denté	12	34	800	2 à 3
FAABA/QPM	Composite	105	Jaune	200	18	Farineux	16	38	1250	4 à 5
TZPB SR-W	Composite	120	Blanc	222	20	Vitreux	16	44	1400	5 à 6
TZL Composite-1 W	Composite	110	Blanc	197	17	Vitreux	16	42	930	3,5-4
TZL Composite-1 Y	Composite	110	Jaune	192	16	Denté	12	36	920	3,5-4
AK 94 DMR ESR-Y	Composite	90	Jaune	173	14	Denté	14	34		3,5-4
EV8766 ESR/QPM	Composite	90	Blanc	161	15	Denté	14	38	810	3,5-4
DTSR6W C0	Composite	90	Blanc	170	15	Denté	14	36	930	-
IW DC2 SYN F2	Composite	90	Blanc	161	16	Denté	14	38	910	-
TZE COMP 3 DT	Composite	90	Blanc	138	14	Denté	12	34	770	-
BAGTZCOMP.3x4	Composite	90	Blanc	158	15	Denté	14	34	980	-

Source : Dato (2010)

En Côte d'Ivoire 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'Anguédedou (Deffan *et al.*, 2015) (Tableau 2). La régénération faite dans un dispositif en blocs aléatoires complets et répétée trois fois, a permis une analyse descriptive au

cours de laquelle 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 compl-w), les variétés à cycle intermédiaire avec un retard de 4 et 5 jours [Obatanpa (variété composite riche en protéines) et MDJ], et les variétés à cycle long avec un retard de 7 jours (Acr97 TZLcomp 1-w synt). Le rendement 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 (environ 330 g /1000 grains) contre le plus faible (environ 250 g/1000 grains) pour le Violet de Katiola. Neuf variétés dont deux locales (IKENNE 9449SR, AB11) et sept améliorées (Pool 15 C7 QPM, Pool 17 C8 QPM, Pool 18 C8 QPM, Pob 61C1 QPM, Pool 15 QPM SR, Pool 18 QPM SR et Pop 61 QPM SR) sont en usage au Togo (Agbobli, 2003). Quant au Burkina-Faso, cinq variétés à savoir Wari, Espoir, SR 21, Komsaya et Bondofa sont surtout cultivées (Sanou, 2015).

Tableau 2: Caractéristiques agronomiques d'autres variétés de maïs cultivés en Afrique de l'Ouest

Variétés de maïs	Poids 1000 grains(g)	Type	Couleur	Type de grain	Rendement (T/ha)	Pays
Violet de Katiola	250,367±0,250	Locale	Violet	Corné	1,6	Côte d'Ivoire
AC176	280,593±0,280	Locale	Jaune	Denté	1	Côte d'Ivoire
Obatanpa	330,130±0,350	améliorée	Blanc	Denté	2,6	Côte d'Ivoire
MDJ	280,757±0,110	améliorée	jaune	corné	2,2	Côte d'Ivoire
ED8728	320,163±0,070	améliorée	jaune	Semi-denté	2,	Côte d'Ivoire
GMRP18	330,433±0,090	améliorée	jaune	Corné	1,4	Côte d'Ivoire
Acr97TZL compl-W	290,843±0,690	améliorée	blanc	Corné-denté	2,75	Côte d'Ivoire
Acr97TZL complW synt	270,803±0,200	améliorée	blanc	Corné	2,1	Côte d'Ivoire
Wari	-	Améliorée	-	-	6,4	Burkina-Faso
Espoir	-	Améliorée	-	-	6,5	Burkina-Faso
SR 21	-	Améliorée	-	-	5,1	Burkina-Faso
Komsaya	-	Améliorée	-	-	8	Burkina-Faso
Bondofa	-	Améliorée	-	-	9	Burkina-Faso
					6,7	

Barka	-	-	-	6,5	Burkina-Faso
Ikenne 9449SR	-	Locale	-	-	Togo
AB11	-	Locale	-	-	Togo
Pool15C7QPM	-	Améliorée	-	-	Togo
Pool17C8QPM	-	Améliorée	-	-	Togo
Pool18C8QPM	-	Améliorée	-	-	Togo
Pob61C1QPM	-	Améliorée	-	-	Togo
Pool15QPMSR	-	Améliorée	-	-	Togo
Pool18QPMSR	-	Améliorée	-	-	Togo
Pop61QPMSR	-	Améliorée	-	-	Togo

Sources : (Agbobli, 2003) ; Deffan *et al.* (2015) ; (Sanou, 2015)

Composition chimique des diverses parties des grains de maïs

Quelques composants chimiques des principales parties du grain de maïs et du grain entier sont résumés dans le tableau 3. Le grain entier est composé principalement d'amidon (64-78%, base sèche), de protéines (7-12%), de lipides (4-6%), de sucres (1,0-3,0%), de substances minérales (1,0-1,5%), de fibres (2,0-2,5%), et de vitamines (Waston, 1987). Les sucres du grain de maïs proviennent en grande partie du germe maïs ils sont également fournis par les cellules de l'albumen et du péricarpe maïs en faible quantité. La composition chimique des principales parties du grain de maïs montre des différences importantes. Le tégument séminal ou péricarpe se caractérise par une forte teneur en fibres brutes (environ 86,7%), constituées principalement d'hémicellulose (67%), de cellulose (23%) et de lignine (0,1%) (Burge et Duensing, 1989). D'autre part, l'albumen contient une teneur élevée en amidon (87,6%) et un niveau de protéines d'environ 8%. La teneur en matières grasses brutes de l'albumen est relativement faible (0,8%) tandis celle du maïs entier varie entre 4 et 6%. Enfin, le germe se caractérise par une forte teneur en matières grasses brutes avec une valeur moyenne de 33% ; les matières grasses du grain de maïs proviennent donc essentiellement du germe. Le germe a également une teneur relativement élevée en protéines (18,4%). La concentration des cendres (minéraux totaux) dans le grain de maïs varie entre 1 et 1,5%. Il est bien connu que les céréales sont généralement composées d'eau, de glucides, de protéines, de matières grasses et de minéraux. Le tableau 4 montre les teneurs des composés chimiques précités de quatre variétés de maïs (locaux et améliorés) du Bénin et de la Côte d'Ivoire. Il ressort de l'analyse comparative des données du tableau 4 que les teneurs en eau des variétés de maïs du Bénin sont comprises entre 13,4 et 14,1% tandis celles de la Côte d'Ivoire sont comprises entre 11,1 et 11,5 %. Ces valeurs obtenues montrent que les variétés de maïs du Bénin sont plus humides que celles de la Côte d'Ivoire, et ceci pourrait être dû aux conditions de séchage après la récolte. Toutefois, ces valeurs sont en conformité avec la norme de la FAO (1989) qui fixe le

taux maximal à 15,5%. Les teneurs en lipides des variétés de maïs sont similaires et sont comprises entre 3,2 et 4,6% BS pour celles de la Côte d'Ivoire et entre 4,4 et 5,7% BS pour celles du Bénin. A l'exception de la variété AC176 de la Côte –d'Ivoire, les teneurs en lipides sont aussi similaires à celles rapportées par Watson (1987a) et qui varie entre de 4 et 6%. Par rapport aux protéines, des teneurs moyennes de 10,1% ont été déterminées sur les variétés du Bénin contre 12,6% pour celles de la Côte-d'Ivoire. Aussi, ces valeurs se trouvent dans l'intervalle de 7-12% rapporté par Watson (1987). Les teneurs en glucides totaux des variétés du Bénin sont comprises entre 71-73% contre 60,2-65,6% pour celles de la côte d'Ivoire. Les données obtenues sur les variétés de la Côte d'Ivoire sont en dehors de celles rapportées par Watson (1987) qui varient entre 69,5-81%. Les différences observées au niveau des données obtenues pour certaines variétés étudiées pourraient s'expliquer par l'influence des facteurs environnementaux et agro-climatiques.

Tableau 3: Composition en éléments majeurs des principales parties des grains de maïs et des grains entiers

Composant chimique (%) BS	Péricarpe	Albumen	Germe	Grains entiers de maïs
Protéines	3,7	8,0	18,4	7-12
Matières grasses	1,0	0,8	33,2	4-6
Fibres brutes	86,7	2,7	8,8	2-2,5
Cendres	0,8	0,3	10,5	1-1,5
Amidon	7,3	87,6	8,3	64-78
Sucres	0,34	0,62	10,8	1-3

Sources: Waston (1987); Burge et Duensing (1989)

BS : base sèche

Tableau 4 : Composition chimique de quelques variétés de maïs en usage au Bénin et en Côte d'Ivoire

Variétés de maïs	Teneur en eau (%MS)	Protéines brutes (%MS)	Glucides totaux (%MS)	Lipides (%MS)	Cendres (%MS)
Bénin					
DMR-ESR-W	13,4	10,6	73	4,6	1,0
TZSR-W	13,9	9,7	72	4,6	1,2
TZB-SE-SR	13,8	9,1	71	5,7	1,0
TZPB-SR	14,1	11	72	4,4	1,2
Côte d'Ivoire					
Acr97comp	11,2	12,5	65,6	4,5	1,6
AC176	11,1	12,4	60,2	3,2	1,5
MDJ	11,5	12,8	64,3	4,4	1,3
EV8728	11,4	12,7	64,6	4,6	1,7

Source : Nago (1997) ; Deffan *et al.* (2015)

Différents types de sels minéraux du maïs

Le tableau 5 présente les teneurs en sels minéraux de maïs entier. Le germe est relativement riche en sels minéraux, avec une valeur moyenne de 11% contre moins de 1% dans l'albumen et le péricarpe. Le germe contient environ 80% des sels minéraux du grain entier probablement parce qu'ils sont essentiels pour la croissance rapide de l'embryon (Waston, 1987). Les valeurs moyennes des teneurs en minéraux des grains du maïs obtenues par Nago et *al* (1997) sur huit variétés en usage au Bénin et dans la sous-région Ouest-Africaine sont similaires à celles rapportées par Scherz et Senser (1994) (Tableau 6). Cependant, dans le cas du sodium (Na), la teneur obtenue est très faible par rapport à celle indiquées par la FAO (1993) sur des variétés de Guatemala (0,70 mg/100 contre 59,2 mg/100g) (Tableaux 5 et 6). Ces résultats montrent que les facteurs agro-climatiques influencent la teneur en sels minéraux de grains de maïs. En général, les teneurs en macro-minéraux des variétés de maïs sont basses, tout comme pour d'autres céréales. Les plus importants en termes de teneur dans les échantillons analysés jusque-là sont le potassium, le phosphore et le magnésium dont les teneurs moyennes sont respectivement de 344, 276, et 115mg/100g (Nago et *al.*, 1997) contre 324,8; 299,6 et 107,9 mg/100g rapportées par la FAO (1993) sur des variétés de Guatemala. Le potassium, le plus abondant des macro-minéraux est principalement présent sous forme d'hexaphosphate d'inositol ou phytate de potassium (FAO, 1993). Les phytates présents dans le maïs peuvent complexer des cations bivalents comme le calcium et le fer et diminuer ainsi leur disponibilité (Oberleas, 1983). Comme dans la plupart des céréales, les variétés de maïs en usage dans la sous-région Ouest-Africaine ont une faible teneur en calcium (10,8 mg/100 g BS contre 48,3 mg/100 g BS pour les variétés de Guatemala) et en oligo-éléments (FAO, 1993 ; Nago et *al.*, 1997). En ce qui concerne les oligo-éléments, le zinc et le fer sont quantitativement les plus importants dans les échantillons analysés par Nago et *al.* (1997) avec des teneurs moyennes respectives de 2,5 et 1,8 mg/100g BS contre 4,6 et 4,8 mg/100 g BS rapportées par FAO (1993) sur des variétés de Guatemala. Selon divers auteurs, les minéraux jouent un rôle essentiel dans de nombreuses réactions biochimiques dans l'organisme et interviennent dans la minéralisation du squelette (Dupin et *al.*, 1992; Alinnor et Oze, 2011). Ils interviennent aussi dans les réactions métaboliques, dans le stockage et le transport de l'oxygène ainsi que dans le développement du système immunitaire (Andzouana et Monbouli, 2012). Leur carence peut provoquer des troubles graves chez les humains, particulièrement les jeunes enfants, dont l'alimentation est basée principalement sur les produits de maïs, comme c'est le cas du Sud-Bénin (Conri, 1991 ; Scrimshaw, 1991 ; Dupin et *al.*, 1992).

Tableau 5 : Teneur en matières minérales du maïs.

Sels minéraux	Concentration (mg/100 g BS) (n=5)
Phosphore (P)	299,6± 57,8
Potassium (K)	324,8 ± 33,9
Calcium (Ca)	48,3 ± 12,3
Magnésium (Mg)	107,9 ± 9,4
Sodium (Na)	59,2 ± 4,1
Fer (Fe)	4,8 ± 1,9
Cuivre (Cu)	1,3 ± 0,2
Manganèse (Mn)	1,0 ± 0,2
Zinc (Zn)	4,6 ± 1,2

Source: FAO (1993)

n : Nombre d'échantillons analysés.

Tableau 6 : Composition minérale des principales variétés de maïs en usage au Bénin.

Variétés de maïs	Teneur en minéraux (mg/100g BS) (n=8)								
	K	P	Mg	Ca	Cu	Zn	Fe	Mn	Na
Ecotypes locaux									
GBAEVE	329	290	137	15,5	3,2	1,8	0,78	0,60	0,15
GBOGBOUE	413	349	139	15,9	3,5	1,7	0,75	0,75	0,12
GNONLI	377	269	110	9,9	2,7	1,7	0,73	0,55	0,14
GOUGBA	307	251	114	14,0	2,8	1,7	0,77	0,50	0,13
Variétés améliorées									
DMR-ESR-W	298	236	102	7,8	2,1	1,8	0,62	0,55	0,14
POZA RICA	319	246	99	10,5	1,9	1,9	0,66	0,75	0,17
7843-SR									
PIRSABACK	304	265	98	8,1	1,7	1,6	1,24	0,90	0,14
7930-SR									
SEKOU 85	405	300	124	4,9	1,9	1,9	0,80	0,60	0,14
Moyenne	344	276	115	10,8	2,5	1,8	0,80	0,70	0,14
CVR(%) ^a	3	5	6	7	3	8	3	17	14
CVV(%) ^b	13	12	13	34	24	6	20	20	10

Source : Nago et al (1997)

BS- Base sèche ; n : Nombre d'échantillons analysés ; a= coefficient de variation résiduelle

b= coefficient de variation entre variétés

Vitamines

Le maïs renferme aussi bien des vitamines liposolubles (Vitamines A et E) que la plupart des vitamines hydrosolubles (niacine, thiamine, pyridoxine, riboflavine, acide pantothénique...) (Yen et al., 1976).

Vitamines liposolubles

Le grain de maïs contient deux vitamines liposolubles: la provitamine A ou caroténoïdes et la vitamine E. Les caroténoïdes se trouvent principalement dans le maïs jaune (6,4 à 11,3 µg/ g) à des teneurs pouvant être génétiquement contrôlées, tandis que le maïs blanc ne contient que peu ou pas de caroténoïdes (FAO, 1993). Le bêta-carotène est une source importante de vitamine A, mais malheureusement le maïs jaune est beaucoup moins utilisé pour l'alimentation humaine que le maïs blanc. Selon FAO (1993), le bêta-carotène représente environ 22% du total des caroténoïdes du maïs jaune tandis que la teneur en cryptoxanthine représente 51% du total des caroténoïdes, et l'activité de la vitamine A varie entre 1,5 et 2,6 µg/g. La teneur des caroténoïdes du maïs jaune peut diminuer au cours du stockage. Watson (1987b) a fait état d'une valeur de 4,8 mg/kg dans le maïs au moment de la récolte, valeur qui tombait à 1,0 mg/kg après 36 mois de stockage. La même déperdition a été constatée dans le cas des xanthophylles par Watson (1962) cité par FAO (1993).

Vitamines hydrosolubles

Les vitamines hydrosolubles se trouvent principalement dans la couche à aleurone du grain de maïs, suivie du germe et de l'albumen. Cette distribution a son importance pour la transformation qui entraîne des pertes non négligeables de vitamines (Christianson et *al.*, 1968) cité par FAO (1993). La teneur en vitamines hydrosolubles (thiamine, riboflavine) est davantage sensible à l'environnement et aux pratiques culturales qu'à la structure génétique. Toutefois, on a noté des écarts entre les variétés de maïs pour les deux vitamines ci-dessus citées. La vitamine hydrosoluble qui a fait l'objet de plus d'investigations est l'acide nicotinique, du fait de son association avec la carence en niacine ou pellagre, maladie fréquente chez les populations consommant de grandes quantités de maïs (Christianson et *al.*, 1968) cité par FAO (1993). Comme pour les autres vitamines, la teneur en niacine varie selon les variétés de maïs avec une valeur moyenne s'établissant autour de 20 µg/g. Une caractéristique propre à la niacine du maïs est le fait qu'elle se trouve à l'état combiné sous une forme non accessible aux enzymes digestives. L'association de la consommation du maïs à la pellagre s'explique par la faible teneur du grain en niacine biodisponible, encore que les travaux expérimentaux aient montré que des déséquilibres des acides aminés tels que le rapport leucine/isoleucine, et la disponibilité du tryptophane jouent également un rôle important (Gopalan et Rao, 1975 ; Patterson et *al.*, 1980). Le maïs ne contient pas de vitamine B12, et le grain mûr ne contient au mieux que de faibles quantités d'acide ascorbique. Yen et *al.* (1976) ont observé une teneur d'environ 2,69 mg/kg de pyridoxine disponible. Les autres vitamines qu'il s'agisse de la choline, de

l'acide folique ou de l'acide pantothénique ne se trouvent qu'à de très faibles concentrations (Yen et *al.*, 1976).

Composition en acides aminés du maïs

La qualité nutritionnelle du maïs est déterminée par la constitution de ses protéines en acides aminés. Les protéines du maïs ne sont pas de très bonne qualité car elles sont déficientes en acides aminés essentiels, la lysine et le tryptophane notamment (Nuss et Tanumihardjo, 2011). Les acides aminés essentiels des protéines du maïs sont contenus surtout dans le germe (791 mg/100g) pour lysine et (144 mg/100g) pour le tryptophane ; par contre l'albumen est pauvre en lysine (228 mg/100 g) et en tryptophane (48 mg/100g) (Tableau 7) (Parades-Lopez et *al.*, 2000). Le tableau 8 ci-dessous résume les valeurs représentatives des acides aminés du maïs commun et des variétés à protéines de qualité. La comparaison du maïs commun avec les variétés à protéines de qualité fait apparaître les carences en lysine et en tryptophane, c'est-à-dire la faible teneur en lysine et en tryptophane du maïs commun. Une autre caractéristique importante est la plus forte teneur en leucine du maïs commun par rapport aux variétés à protéines de qualité.

Tableau 7: Teneur en acides aminés essentiels des protéines du germe et de l'albumen.

Acides aimés	Albumen		Germe	
	mg %	mg/g N	mg %	mg/g N
Tryptophane	48	38	144	62
Thréonine	315	249	622	268
Isoleucine	365	289	578	249
Leucine	1 024	810	1 030	444
Lysine	228	180	791	341
Total des acides aminés soufrés	249	197	362	156
Phénylalanine	359	284	483	208
Tyrosine	483	382	343	148
Valine	403	319	789	340

Source : FAO (1993)

Tableau 8 : Teneur (%) en acides aminés du maïs

Acides aminés	Maïs guatémaltèque				Maïs des Etats-Unis				Téosinte	QPM à albumen corné	QPM à albumen amylicé
	Cayata (Blanc)	SSD (Blanc)	TGY (Jaune)	142-48 (Jaune)	4251 (Hybride)	HO (Blanc à forte teneur en huile)	H5 (Jaune à haute valeur protéique)	HP (Blanc à haute valeur protéique)			
(Azote)	1,28	1,37	1,57	1,83	1,33	1,99	2,24	2,91	3,8 ^b	1,74 ^c	1,71 ^d
Alanine	7,5 ^a	12,5	10,3	8,6	8,9	6,4	10,8	9,9	8,5	-	-
Arginine	3,5	3,6	4,1	2,9	3,9	4,6	3,6	3,9	2,9	6,3	6,7
Acide aspartique	6,5	5,8	6,1	6	6,2	6,0	6,8	6,1	5,3	8,7	8,9
Cystine	1,4	1,4	1,4	1,6	1,5	1,5	1,2	1,4	1,1	2,2	1,9
Acide glutamique	15,4	14	13,5	15	14,6	13,9	12,4	12,8	19,9	19,8	19,2
Glycine	3,1	2,8	2,9	2,6	3,3	3,4	2,6	2,8	2,2	4,6	4,6
Histidine	2,1	2	2,2	2,1	2,8	2,3	2	2,2	1,9	3,7	3,6
Isoleucine	2,6	2,7	3,4	3	3,3	3,5	3,7	4	4,7	3,5	3,5
Leucine	10,5	12,0	12,2	13,4	12,2	7,8	13,6	15,2	16	9,1	8,7
Lysine	2,8	2,1	2,6	2,3	2,9	3,1	2,1	2,0	1,3	4,5	4,4
Méthionine	1,3	1,2	1,0	1,0	1,6	1,2	1,7	1,1	1,2	1,7	1,8
Phénylalanine	4,4	4,6	4,4	5,4	4,5	2,9	5,3	5,7	5,7	5,2	4,1
Proline	8,1	7,4	6,6	9,6	10,3	9,3	8,3	6,8	9,6	8,4	8,1
Sérine	4,5	4,2	4,6	4,5	4,6	4,8	5,0	5,5	5,2	4,3	4,5
Thréonine	3,1	2,9	3,1	3	3,3	3,2	3,1	3,3	3,0	3,6	3,7
Tryptophane	0,63	0,47	0,51	0,44	0,49	0,56	0,43	0,44	0,38	0,9	1,0
Tyrosine	2,9	3	3,0	3,3	3,4	3,5	3,6	4,1	4,4	3,7	3,7
Valine	4,1	4,1	4,3	4,0	4,6	2,1	4,3	4,6	4,8	5,4	5,3

Sources : Mertz et al. (1975)

^aPourcentage de protéines brutes, ^bDécortiqué ; ^cTotal des acides aminés soufrés ; ^dTotal des acides aminés aromatiques

QPM : Maïs à haute qualité protéique

Valeur nutritionnelle du maïs

Le tableau 9 présente la qualité protéique du maïs et de neuf autres céréales, exprimée en pourcentage de caséine. Il ressort de la comparaison des données que la qualité protéique du maïs commun est semblable à celle des autres céréales à l'exception du riz. Le maïs opaque-2 aussi bien que le QPM à albumen corné (Nutricia) ont une qualité protéique non seulement supérieure à celle du maïs commun, mais aussi sensiblement supérieure à celle des autres céréales.

Tableau 9 : Qualité protéique du maïs et autres céréales

Céréales	Qualité protéique (%caséine)
maïs commun	32,1
maïs opaque-2	96,8
QPM	82,1
Riz	79,3
Froment	38,7

Avoine	59,0
Sorgho	32,5
Orge	58,0
Mil chandelles	46,4
Eleusine cultivée	35,7
Teff	56,2
Seigle	64,8

Source : FAO (1993)

De nombreux travaux ont été consacrés aux raisons de la faible qualité des protéines du maïs. Parmi les premières études, on peut citer celles de Mitchell et Smuts (1932) qui ont montré une amélioration sensible de la croissance humaine lorsque des régimes alimentaires contenant 8% de protéines du maïs étaient supplémentés par 0,25% de lysine. Ces résultats ont été confirmés par la suite par plusieurs auteurs (Howe et *al.*, 1965), tandis que d'autres (Bressani et *al.*, 1968) montraient que l'addition de lysine au maïs n'entraîne qu'une légère amélioration de la qualité protéique. Ces écarts dans les résultats pourraient s'expliquer par des variations de la teneur en lysine des différentes variétés de maïs. Des travaux consacrés à cette question ont débouché sur la mise au point de maïs à haute teneur en lysine appelé opaque-2 (Mertz et *al.*, 1964). Pour certains auteurs (Hogan et *al.*, 1955) cité par FAO (1993), c'est le tryptophane, et non la lysine, qui est le premier acide aminé limitant du maïs, ce qui peut être vrai pour certaines variétés à forte concentration de lysine ou de produits dérivés du maïs obtenus par tel ou tel mode de transformation. Tous les chercheurs s'accordent d'ailleurs à considérer que l'addition simultanée de lysine et de tryptophane améliore sensiblement la qualité protéique du maïs (Benton et *al.*, 1955) cité par FAO (1993). L'amélioration de la qualité obtenue après addition de lysine et de tryptophane a été faible dans le cas de certaines études et plus importante dans d'autres, lorsqu'il y avait addition d'autres acides aminés (Benton et *al.*, 1955) cité par FAO (1993). Après la lysine et le tryptophane, l'acide aminé limitant est l'isoleucine, ainsi qu'en témoignent des études sur l'alimentation animale (Benton et *al.*, 1955) cité par FAO (1993). La plupart des auteurs qui ont rapporté ces observations ont indiqué que l'effet de l'addition d'isoleucine s'expliquait par un excès de leucine interférant avec l'absorption et l'assimilation de l'isoleucine (Harper et *al.*, 1955; Benton et *al.*, 1955 cités par FAO, 1993). Toutefois, certaines variétés de maïs peuvent contenir des quantités plus importantes de leucine, de méthionine et de valine, et requérir l'addition d'isoleucine et de thréonine, en plus de la lysine et du tryptophane, pour améliorer leur qualité protéique. Ainsi, l'addition de 0,30% de L-lysine et de 0,10% de L-tryptophane améliore facilement la qualité protéique du maïs de 150% (Bressani et *al.*, 1968). Toutefois, à poids égal, le maïs à haute teneur en protéines est

légèrement supérieur en qualité au maïs à faible teneur en protéines. Les niveaux des protéines alimentaires influent alors sur la réponse observée après supplémentation par des acides aminés, la lysine et le tryptophane pour l'essentiel, mais également par d'autres acides aminés tels que l'isoleucine et la thréonine.

Transformation alimentaire du maïs

Le maïs est consommé sous diverses formes dans les différentes parties du monde, depuis le gruau de maïs servant à préparer la polenta et le pain de maïs, jusqu'au maïs éclaté (popcorn) et aux produits tels que les flocons de maïs (Ronney et Serna-Saldivar, 1987). En Afrique de l'Ouest, la transformation du maïs se fait généralement de façon artisanale. Les technologies de transformation du maïs proviennent du patrimoine culturel local et représentent un réservoir considérable de savoir-faire endogène (Nago, 1997). Elles sont transmises à travers l'éducation familiale de mère en fille (Adegbola et Aloukoutou, 2011). La transformation du maïs est un domaine occupé essentiellement par les femmes (95%) notamment dans les régions du Sud et du Centre du Bénin, où le maïs représente la principale céréale de base de l'alimentation (Adegbola et *al.*, 2011). Les principaux produits traditionnels dérivés du maïs en Afrique au Sud du Sahara nécessitent la transformation du grain par broyage humide et la préparation de produits intermédiaires fermentés de première transformation tels que l'ogi et le mawè (Bénin, Togo), la pâte non cuite de kenkey (Ghana) ou par broyage à sec pour obtenir une farine ordinaire appelée le lifin au Bénin (Hounhouigan, 1994 ; Yallou, 1994). Le lifin ou farine sèche est également utilisée dans d'autres pays de la sous-région Ouest-Africaine (Togo, Nigéria, Mali, Ghana, Côte-d'Ivoire) (Somda, 1988 ; Fusillier, 1991). La farine sèche est généralement utilisée pour préparer divers produits finis tels que l'owo (pâte cuite non fermenté) au Bénin, au Togo et au Nigéria, le tô au Mali et au Sénégal (Goita, 1991). Autre produit intermédiaire rencontré dans la sous-région est la semoule de maïs obtenue par simple concassage des grains décortiqués. Tout comme la farine sèche, la semoule est utilisée pour la préparation de produits roulés tel que le yéké-yéké au Togo et au Bénin). Les produits intermédiaires (ogi et mawè) sont par contre utilisés pour la préparation de divers produits finis tels que le koko (bouillie fermentée), l'aklui, le lio, le ablô et l'akassa (pâtes cuites fermentées) au Bénin, au Togo et au Nigéria mais avec des appellations diverses (Odunfa, 1985 ; Oké, 1987 ; Brauman et *al.*, 1993 ; Nago, 1997). Autres produits fermentés obtenus à partir du maïs inclus le kenkey (Ghana), l'arraw (Sénégal), le moni (Mali) (Sefa-Deheh, 1989). Ces produits finis dérivés du maïs sont généralement utilisés comme aliments de sevrage ou aliments de petit déjeuner (cas du koko), et les pâtes cuites fermentées (akassa, ablô, lio,

kenkey, arrow) ou non fermentées (owo) sont surtout consommées aux principaux repas, accompagnées de différents types de sauces. De plus, ces produits finis sont préparés à la fois pour la consommation directe au niveau des ménages et pour l'alimentation de rue. La figure 1 présente les principaux produits dérivés de la première et de la deuxième transformation du maïs au Bénin et dans la sous-région Ouest Africaine.

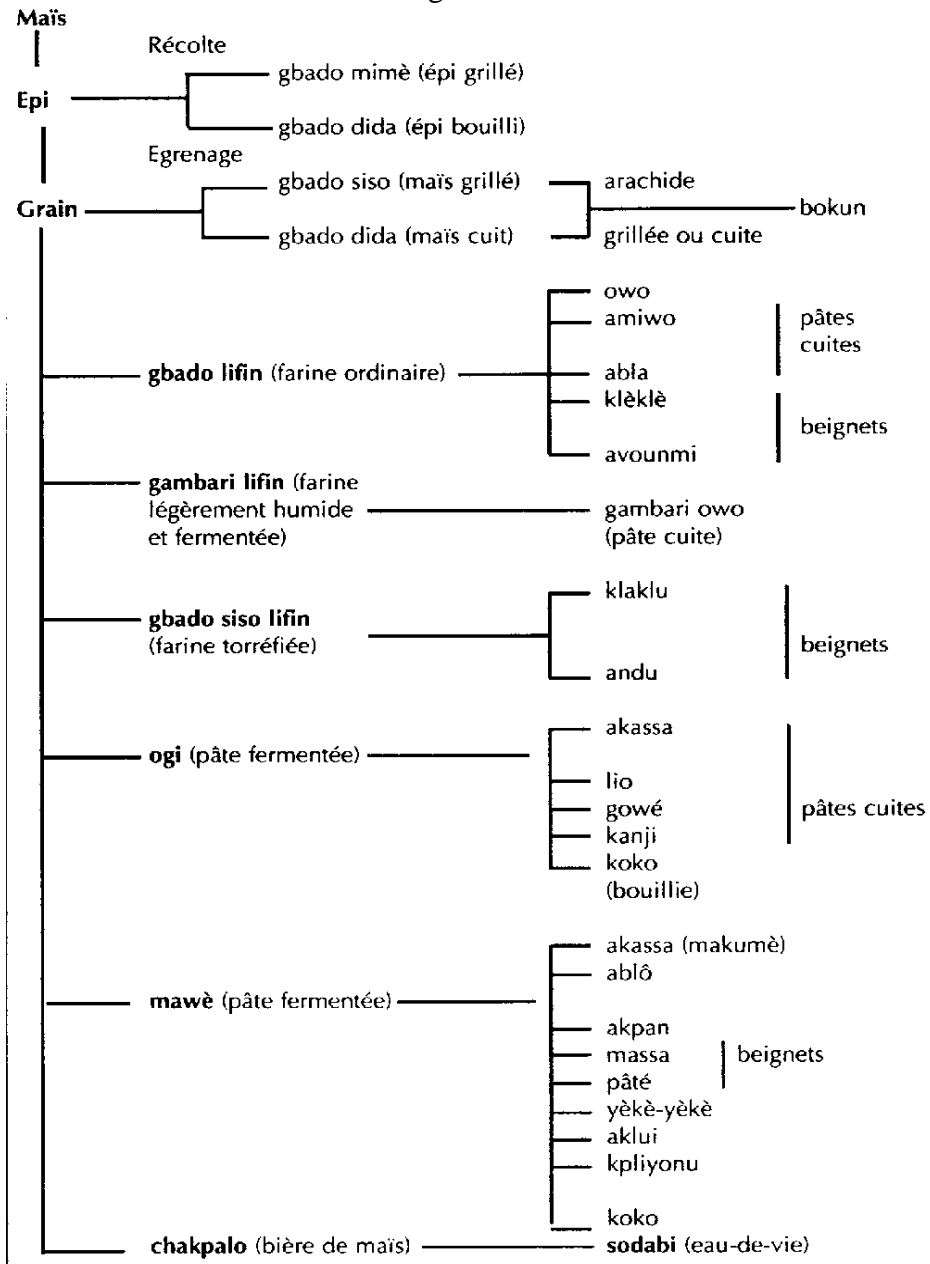


Figure 1 : Transformation alimentaire du maïs en Afrique de l'Ouest
 Source : Nago (1989)

En Afrique, la substitution partielle du blé pour la fabrication de pain et de pâtes alimentaires a été la principale voie de recherche pour la valorisation des céréales locales. Ainsi, pour la panification, le taux de substitution à la farine de blé peut atteindre 15 à 20%, (Sautier et O'deye, 1989). Le maïs est aussi largement utilisé pour la fabrication de bières traditionnelles (tchoukoutou, tchapalo, sodabi) (Bénin, Togo, Burkina-Faso) (Kayodé et *al.*, 2006) et autres boissons non alcoolisées (akpan et uji) respectivement au Bénin et au Nigéria.

Par rapport à la transformation semi-industrielle et industrielle du maïs, on assiste à la mécanisation des techniques de transformation, donnant divers produits alimentaires et non alimentaires. Les résultats de l'étude réalisée par Sohinto et Aïna (2011) sur la chaîne de valeur ajoutée de la filière maïs montrent que les unités de transformation industrielle du maïs sont constituées des provenderies, des brasseries, des minoteries, des petites unités de broyeurs-mélangeurs, les unités de production de gritz et de farines infantiles (Adjilé, 2012).

Conclusion

Il ressort de cette revue, que le maïs (*Zea mays*) est une céréale beaucoup plus utilisée pour l'alimentation humaine et de ce fait contribue fortement à la sécurité alimentaire. Les différents produits issus de la transformation du maïs cités dans cette revue confirment le bien-fondé de cette assertion. Le maïs possède de nombreux potentiels avantageux pour la transformation alimentaire. Il contient des groupes chimiques qui peuvent seuls ou dans une possible synergie d'action lui conférer sa valeur nutritionnelle et ses aptitudes technologiques. Mis à part l'albumen, le germe et le péricarpe sur lesquelles plusieurs études ont été réalisées, il paraît clairement que la coiffe a été très peu considérée. Ainsi, malgré une bibliographie assez abondante sur cette céréale, de nombreux points demeurent peu ou mal décrits, ce qui offre des perspectives intéressantes pour la recherche.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier le CNS-Maïs pour le soutien matériel et financier à travers le projet de Productivité Agricole en Afrique de l'Ouest (PPAAO) du Bénin.

References:

Alinnor I.J., Oze R., 2011. Chemical evaluation of the nutritive value of *Pentaclethra macrophyllabenth* (African Oil Bean) Seeds. *Pakistan Journal of Nutrition*, 10(4): 355-359.

- Andzouana M., Mombouli J.B., 2012. Assessment of the Chemical and Phytochemical Constituents of the Leaves of a Wild Vegetable *Ochthocharis dicellandroides* (Gilg). *Pakistan Journal of Nutrition*, 11(1): 94-99.
- Boone P. S., Charles J. D., Wanzie L. R., 2008. Évaluation sousrégionale de la chaîne de valeur du maïs, rapport technique, ATP n°1. Bethesda, MD: projet ATP, Abt Associates Inc.
- Brauman A. Thystere L. et Tchicaya F., 1993. Un exemple de biotechnologie à l'échelle artisanale: la fermentation de la pâte de maïs. *ORSTOM Congo Actualités*, 6: 10-11.
- Bressani R., 1971. Amino acid supplementation of cereal grain flours tested in children. In N.S. Schrimshaw & A.M. Altschul. (eds). *Amino acid fortification of protein foods*, Cambridge, Mass., EtatsUnis, MIT Press, pp. 184-204.
- Burge R.M. et Duensing W.J., 1989. Processing and dietary fiber ingredient applications of corn bran. *Cereu/ FOODS World*. 34: 535-538.
- Charcosset A., Gallais A., 2009. Emergence et développement du concept de variétés hybrides chez le maïs. '*Le Sélectionneur Français*'. UMR Génétique Végétale. INRA–Université de Paris-Sud-CNRS-AgroParisTechFerm du moulin 91190GIF/YVETTE, 60 : 21-30.
- Christianson D.D., Wall J.S., Dimler, R.J., Booth, A.N., 1968. Nutritionally available niacin in corn. Isolation and biological activity. *Agric Food Chem.*, 16: 100- 104.
- Conri C. ,1991. Le zinc et son rôle en pathologie. *Le concours médical*, pp113-114.
- Dato K.L. 2010. Formation des multiplicateurs sur les techniques de productions de semences certifiées de maïs. Rapport CeRPA Mono/Couffo, 23p.
- Deffan K.P, Akanvou L, Akanvou R, Nemlin G.J, et Kouame P.L., 2015. Evaluation morphologique et nutritionnelle de variétés locales et améliorés de maïs (*Zea mays* L.) produites en côte d'Ivoire. ISSN 1813-548X, 11(3) 181-196
- Dupin H., Cuq J.L., Malewiak M.I., Leynaud-Rouaud C., Berthier A.M., 1992. *Alimentation et nutrition humaine*. ESF éditeur, Paris, France. 153p.
- Dudley, J.W., Lambert, R.J. & de la Roche, I.A. 1977. Genetic analysis of crosses among corn strains divergently selected for percent oil and protein. *Crop. Sci.*, 17: 111 - 117.
- FAO, 1993. *Le maïs dans la nutrition humaine* (Collection FAO : Alimentation et nutrition n° 25) ISBN 92-5-203013-1. <http://www.fao.org/> Consulté le 28/09/2015 à 21h29mn.
- FAO, 2014. *Bulletin de la FAO sur l'offre et la demande de céréales*. http://www.fao.org/world_food_situation/csdb/fr/ Consulté le 20/08/2015 à 20h30mn.

- FAO, 1989. Guide pratique - Stockage et conservation des grains à la ferme. Consulté à l'adresse : <http://www.fao.org/wairdocs/x5163f/X5163f02.htm> le 30/4/2013.
- FAO/OMS, 1973. Besoins énergétiques et besoins en protéines. Rapport d'un comité spécial mixte FAO/OMS d'experts. Collection FAO : Alimentation et nutrition n°7 Rome. p123.
- Gopalan C., Rao K.S.I., 1975. Pellagra and amino acid imbalance. *Vitum. Horm.* 33: 505-528.
- Harper A.E., Benton D.A., Elvehjem C.A., 1955. L-leucine, an isoleucine antagonist in the rat. *Arch. Biochemu Biophys.* 57: 1 - 12.
- Hogan A.G., Gillespie C.T., Kocturk O., O'Dell B.L. and Flynn L.M., 1955. The percentage of protein in corn and its nutritional properties. *J. Nutr.*, 57: 225-239.
- Hounhouigan D.J., 1994. Fermentation of maize (*Zea mays* L.) meal for mawè production in Bénin: physical, chemical and microbiological aspects. PhD thesis, Agricultural University, Wageningen , the Netherlands, 83p.
- Howe E.E., Janson G.R., Gilfillan E.W., 1965. Amino acid supplementation of cereal grains as related to the world food supply. *Am. J. Clin. Nuh.*, 16: 315-320.
- Kayodé A.P.P., Adegbidi A., Hounhouigan J.D., Linnemann A.R., Nout M.J. R., 2006. Quality of farmers' varieties of srghum and derived foods as perceived bu consumers in Benin. *Ecology of food and Nutrition*, 44: 271-294.
- Mertz, E.T., Jambunathan, R., Villegas, E., Bauer, R. Kies, C., McGinnis, J., Shenk, J.S., 1975. Use of small animals for evaluation of protein quality in cereals. In Highquality protein maize, CIMMYTPurdue International Symposium on Protein Quality in Maize, 1972, El Batan, Mexique, Stroudsburg, Pa., Etats-Unis.Dowden Hutchinson & Ross, pp. 306-329.
- Missihoun A. A., C. Agbangla H., Adoukonou-Sagbadja C., Ahanhanzo, Vodouche R., 2012. 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 :1003-1018.
- Mitchell H.H., Smuts D.B., 1932. The amino acid deficiencies of beef, wheat, corn, oats and soybeans for growth in the white rat. *J. Biol. Chem.* 95: 263-281.
- Muleba N, zBrockman F, Kagne D., 1985. Développement variétal pour les associations de cultures. In Technologies appropriées pour les paysans des zones semi-arides de l'Afrique de l'Ouest, Ohm HW, Nagy JG (eds). West Lafayette: Indiana, USA.
- Nago C.M., 1989. Technologies traditionnelles et alimentation au Bénin: aspects techniques, biochimiques et nutritionnels. 1- Identification et caractérisation des principales filières et technologies du secteur traditionnel

de transformation alimentaire. Document FSA/UBN, Abomey-Calavi, Bénin, 97p.

Nago C.M., 1997. La transformation alimentaire traditionnelle du maïs au Bénin: détermination des caractéristiques physico-chimiques des variétés en usage; relations avec l'obtention et la qualité des principaux produits dérivés. Thèse de doctorat d'Etat ES-Sciences, Université Paris7-Denis Diderot-UFR de Biochimie, 199p.

Nuss T. E. et Tanumihardjo S. A., 2011. Quality Protein e for Maize Africa: Closing the protein inadequacy gap in vulnerable populations. *Adv. Nutr.*, 2:217–224.

Oberleas D., 1983. Phytate content in cereals and legumes and methods of determination. *Cereal Foods World*, 28: 352.

Odunfa S.A., 1985. Africa fermented food. In Microbiology of fermented food. Ed. Wood B.J.B., (2): 155-166.

Oke O.L., 1987. Chemical studies on the Nigerian foodstuff “ogi”. *Food Technol.*, 21: 202-204.

Patterson J.I., Brown R.R., Linkswiler H., Harper, A.E., 1980. Excretion of tryptophanniacin metabolites by young men: effects of tryptophan, leucine and vitamin B intakes. *Am. J. Clin. Nutr.*, 33: 2157-2167.

Planetoscope-Statistique, 2013. Statistiques mondiales en temps réel sur les céréales www.planetoscope.com/cereales/193-production-mondiale-de-mais. Consulté le 17/08/2015 à 21h01mn.

Ronney L.W. et Serna-Saldivar, S.O., 1987. Food use of whole corn and dry milled fractions. In S.A. Watson &P.E. Ramsted, (eds). Corn chemistry and technology. St Paul., Minn., EtatsUnis, *Am. Assoc. Cereal Chem.*

Scrimshaw N., 1991. La carence en fer. *Pour la science*, 170 : 90-97.

Sanni AI, Sefa-Dedeh S, Sakyi-Dawson E, Asiedu M., 2002. Microbiological evaluation of ghanaiian maize dough co-fermented with cowpea. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 53(5): 367-373.

Sanya EA, Chaffa G, Bouvier JM., 2007. Effets des variables opératoires sur la qualité texturale des extrudés de semoule de maïs durant la cuisson extrusion. *Journal des Sciences pour l'Ingénieur*, 8: 20-31.

Sefa-Dedeh S., 1989. Effects of particle size on some physic-chemical characteristics of “Agbelima” (cassava dough) and corn dough. *Tropical Sci.*, 29: 21-32.

Sefa-Dedeh S, Cornelius B, Amoa-Awua W, Sakyi-Dawson E et Afoakwa EO., 2004. The microflora of fermented nixtamalized corn. *International Journal of Food Microbiology*, 96(1): 97-102.

Sohinto D. et Aïna M., 2011. Analyse de la rentabilité économique de 5 chaînes de valeur ajoutée maïs. DPP/MAEP. Rapport de consultation ProCGRN/GTZ, 12 p.

- Toukourou A.M, Adegbola P.Y, Yallou C.G, and Gbehounou G., 2004. Evaluation des variétés améliorées de maïs EVDT 97 STRC₁ et TZEE-WSR (variété extra précoce) dans les zones infestées par *Striga hermonthica* au Sud-Bénin. Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin, 45 : 36-46.
- Wacher C., 2003. La nixtamalisation : un procédé mésoaméricain de transformation du maïs à petite échelle présentant un grand potentiel pour l'amélioration de la qualité nutritionnelle d'aliments à base de maïs. In Voies Alimentaires d'Amélioration des Situations Nutritionnelles, Université de Ouagadougou (ed). Université de Ouagadougou, Burkina Faso, pp 735-744.
- Waston, S.A., 1987. Structure and composition. In: Corn Chemistry and technology, Watson S.A. and Ramstad P.E. Ed., American Association of cereal Chemists, St Paul, MN, USA, pp55-82.
- Yallou Chabi-Gourou, 1994. Le maïs au Bénin : atouts et perspectives. In CIRAD Production et valorisation du maïs à l'échelon villageois en Afrique de l'Ouest. Actes du séminaire « Maïs prospère». 25-28 Janvier. Direction agronomique, Niaouli, Cotonou, Bénin.