

Réponse de deux variétés locales de maïs (*Zea mays L.*) à deux types de fertilisation en conditions de déficit hydrique post-floral en zone soudanienne en Côte d'Ivoire

[Response of two local varieties of maize (*Zea mays L.*) to two types of fertilization in post-floral water deficit conditions in sudanian zone of Côte d'Ivoire]

Laopé Ambroise Casimir Siene¹, Mariame Conde¹, Roger Bayala², Tah Valentin Felix N'guettia¹, and Ange Fabrice Bera Kouadio¹

¹UFR des Sciences Biologiques, Département de Biologie Végétale, Université Peleforo GON COULIBALY, BP 1328, Korhogo, Côte d'Ivoire

²UFR Agroforesterie, Université Jean Lorougnon GUEDE, BP 150, Daloa, Côte d'Ivoire

Copyright © 2020 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Faced with climatic hazards that lead to the abandonment of some traditional local varieties of maize (*Zea mays L.*), a study was undertaken in northern Côte d'Ivoire. Its objective was to determine the effectiveness of different manure on the productivity of these local maize varieties under water deficit conditions during the reproductive phase. The experimental device was a split-plot, the first factor of which was fertilizers and the second, variety. A water deficit was observed during the reproductive phase of the maize varieties studied with a higher ETo accumulation than the water available for the plants. The application of chicken droppings and cattle droppings has reduced the development cycle of black seed maize. The depressive effect of water deficit on yield was more pronounced on the control, unlike chicken dropping and cattle dropping manure, which yielded six times more than the control in the black seed variety. As a result, these manures have reduced the depressive effect of water deficit on the yield of this variety. The use of these manures in maize cultivation could be an alternative to the consequences of the water deficit recorded during the reproductive phase in maize.

KEYWORDS: Water deficit, reference evapotranspiration (ETo), crop transpiration (ETc), manures, Maize (*Zea mays L.*), Yield.

RESUME: Face aux aléas climatiques qui occasionnent l'abandon de certaines variétés traditionnelles locales de maïs (*Zea mays L.*), une étude a été entreprise au Nord de la Côte d'Ivoire. Elle avait pour objectif de déterminer l'efficacité de différentes fumures sur la productivité de ces variétés locales de maïs en conditions de déficit hydrique au cours de la phase reproductive. Le dispositif expérimental a été un split-plot, dont le premier facteur a été les fertilisants et le second, la variété. Un déficit hydrique a été observé au cours de la phase reproductive des variétés de maïs étudiées avec un cumul de ETo supérieur à l'eau disponible pour les plants. L'application des fientes de poulet et déjections de bovins a réduit le cycle de développement du maïs à grains noirs. L'effet dépressif du déficit hydrique sur le rendement a été plus marqué sur le témoin contrairement aux fumures de fiente de poulet et de déjection de bovins qui ont présenté un rendement six fois plus élevé que le témoin chez la variété à grains noirs. Ces fumures ont donc permis de réduire l'effet dépressif du déficit hydrique sur le rendement de cette variété. L'utilisation de ces fumures en culture du maïs, pourrait constituer une alternative aux conséquences du déficit hydrique enregistré au cours de la phase reproductive chez le maïs.

MOTS-CLEFS: Déficit hydrique, évapotranspiration de référence (ETo), évapotranspiration de la culture (ETc), fumure, maïs (*Zea mays L.*), rendement.

1 INTRODUCTION

Le maïs est l'une des graminées les plus cultivées au monde [1]. La production mondiale de maïs était d'environ 875 millions de tonnes en 2012 [2]. La demande ne cesse d'augmenter et ne peut être satisfaite sans fortes interventions technologiques [3]. En Côte d'Ivoire la culture céréalière est dominée par le riz, le maïs, le mil et le sorgho. Comme le riz, plusieurs variétés introduites ou traditionnelles locales de maïs y sont cultivées. C'est la deuxième céréale produite et consommée après le riz [4]. Il est utilisé pour l'alimentation humaine et animale (volailles, porcs, bovins) et sert de matière première dans certaines industries (brasserie, savonnerie et huilerie) [5]. 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 devenue de plus en plus importants.

Sa production nationale estimée à 1 025 000 tonnes en 2017, pour une superficie totale emblavée de 523 538 ha [6] reste encore faible pour satisfaire les besoins des populations. Près de 50 % de cette production est localisée dans la région des Savanes située au Nord du pays.

Par ailleurs, les variétés traditionnelles des espèces céréalières cultivées sont en voie de disparition dans plusieurs régions du monde tropical. En effet, l'introduction des cultures de rente et de variétés améliorées à haut rendement a contribué à restreindre l'aire de culture des variétés traditionnelles qu'on peut retrouver dans les campagnes les plus reculées [7]. La sauvegarde de ces variétés traditionnelles contribue au maintien de leur richesse génétique [8] et permet de conserver le potentiel nécessaire pour faire face à de nouveaux impératifs [9]. C'est le cas du maïs au Nord de la Côte d'Ivoire, où de plus en plus, l'on assiste à l'abandon voire à la disparition des variétés traditionnelles locales au profit des variétés améliorées en raison du rétrécissement des saisons culturales depuis les années 1970 [10]. En effet, certaines de ces variétés traditionnelles locales ont une importance socio-culturelle [11]. C'est par exemple le cas du maïs violet de Katiola qui fait l'objet de notre étude. Il est cultivé pour sa bonne qualité organoleptique, sa bonne valeur marchande, ses vertus thérapeutiques et surtout à cause de sa précocité [12]. Faire la promotion de cette variété traditionnelle locale dans d'autres régions de la Côte d'Ivoire, notamment dans la région de Korhogo pourrait aider à relever le niveau de production de la maïsiculture. Malheureusement, sa culture est confrontée selon [12] à des contraintes que sont la baisse de la fertilité des sols ainsi que sa grande sensibilité à la sécheresse. De façon général, le faible rendement grains en maïs de 0,8 t/ha enregistré en milieu paysan [13] au Nord de la Côte d'Ivoire est dû à la baisse de la fertilité des sols et à la variabilité des pluies [14].

En effet, des études ont montrés que la gestion inadéquate de la nutrition des plantes et la faible fertilité du sol sont les principaux facteurs responsables de la baisse des rendements [15]. Or, dans les régions à forte densité humaine comme Korhogo, les jachères sont de courtes durées (2 à 3 ans), ce qui a pour conséquence une baisse de la fertilité du sol [16]. Par conséquent, ces sols sont de plus en plus improductifs et, dans les cas extrêmes, l'activité agricole n'y est réalisable qu'avec des apports d'éléments nutritifs considérables [15]. La restauration et l'amélioration de la fertilité des sols s'imposent donc à travers l'utilisation rationnelle des ressources locales comme le fumier de ferme, les composts, les résidus de récolte et les engrais verts. Aussi, dans les zones savanicoles de la Côte d'Ivoire, bassins traditionnels de production du maïs, le risque de mauvaises récoltes reste également assez élevé du fait du changement climatique [17]. Mais, la variabilité climatique n'est pas simplement caractérisée par l'unique variation des totaux pluviométriques même si celle-ci constitue souvent la manifestation la plus sensible [18]. Ce phénomène concerne aussi bien le changement dans la fréquence pluviométrique, l'arrêt des pluies pendant les saisons humides, que la sévérité des saisons sèches. Ces irrégularités pluviométriques ont pour corollaire la variabilité des dates de démarrage, de fin et de durée des saisons pluvieuses, associées à une plus grande occurrence des déficits hydriques [19].

Ces anomalies pluviométriques qui se traduisent par une réduction des productions agricoles des principales cultures céréalières, influencent le calendrier cultural et le choix des variétés [20] cité par [21]. Cette variabilité entraîne une grande incertitude sur la date de semis des cultures. Cela se traduit par des stress hydriques survenant à différents stades de développement des plantes et dommageables pour leur productivité [22], [23]. En effet, la récurrence des pauses pluviométriques surtout observées pendant les phases de croissance et de maturation des graines de nombreuses céréales comme le maïs entraîne une baisse de la productivité [24]. Certains travaux ont même montré que les semis tardifs des céréales en conditions de déficit hydrique et de fortes températures en phase de remplissage des grains provoquent une augmentation de la proportion des grains de petite taille et immatures [25], [26].

Face donc à un appauvrissement des sols et une irrégularité des pluies du fait du changement climatique, l'idéal serait d'introduire en milieu paysan des techniques de culture simples capables de réduire les effets dépressifs combinés de la fertilité des sols et de la sécheresse sur le rendement du maïs. D'où l'intérêt de cette étude qui a été axé sur l'amélioration du niveau de production du maïs à travers l'identification du type de fertilisant capable de donner un bon rendement en cas de déficit hydrique au cours de la phase reproductive dans la zone agro-climatique Nord de la Côte d'Ivoire. L'objectif a été d'étudier la réponse de deux génotypes traditionnels de maïs (*Zea mays L.*) à différents types de fumures organique et minérale en cas

d'un déficit hydrique au cours de la phase reproductive. Il s'est agi dans cette étude de déterminer l'efficacité des fumures utilisées sur la productivité de ces géotypes de maïs. De façon spécifique de : (i) caractériser les longueurs des stades de développement des variétés étudiées, (ii) caractériser l'évapotranspiration de référence (ET_o) et les besoins en eau des plantes (ET_c) et (iii) déterminer l'effet des fumures utilisées sur la productivité des variétés de maïs étudiées.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 SITE EXPÉRIMENTAL ET CONDUITE DE LA CULTURE

L'essai a été conduit sur le site expérimental de l'Université Péléforo Gon Coulibaly située dans le Département de Korhogo (9°34' de latitude nord, -5°37' de longitude ouest et 360 m d'altitude). Le climat est de type tropical sub-humide. Il se caractérise par une saison sèche qui s'étend de novembre à mai. Le mois de janvier est en général le plus sec. Une saison des pluies qui dure de juin à octobre. Les mois les plus pluvieux sont juillet, août et septembre. La pluviométrie moyenne annuelle varie entre 1000 et 1600 mm [27]. La température moyenne annuelle varie entre 24°C et 36°C. Le sol de cette région se caractérise par la très large prédominance des sols ferralols [28].

Le travail du sol avant le semis a consisté en un labour suivi du nivellement et du piquetage. Le semis a été effectué la première quinzaine du mois d'août en 2018 après une pluie de 31 mm sur des billons cloisonnés. Cette date de semis correspond à un semis tardif parce que dans la zone d'étude, les semis ont généralement lieu dans la deuxième quinzaine du mois de juillet [13]. Le démariage à un plant a été effectué 15 jours après le semis de façon à obtenir une densité de 51 282 plants/hectare. Un traitement insecticide contre les ravageurs (les chenilles légionnaires) a été effectué durant la phase végétative (au 39^e jour après semis). Le produit utilisé a été l'insecticide de synthèse "viper " dilué dans 15 litres d'eau. Le désherbage a été fait manuellement au besoin.

2.2 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Le matériel végétal a été constitué de deux variétés locales de maïs à cycle de 90 à 100 jours. Il s'est agi d'une variété de maïs à grains de couleur noire (violet foncé) et d'une variété de maïs à grains de couleur violette (violet clair). Ces variétés proviennent de Katiola appelées respectivement en Tagouana "*Nandéwô* et *Nandé n'kon*" [12]. Elles ont un rendement moyen de 3 à 5 t ha⁻¹ et un rendement potentiel pouvant atteindre 7 t ha⁻¹ dans les conditions optimales de production [4].

2.3 FACTEURS ET DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

2.3.1 FACTEURS

Deux facteurs ont été étudiés au cours de cette étude. Le premier facteur, les fertilisants a été constitué de cinq niveaux, à savoir F0 qui correspond au témoin sans apport de fumure (Témoin), F1 qui correspond à l'engrais minéral YaraMila™ Actyva™ (YaraMila™ Actyva™), F2 qui correspond à la fiente de poulet (Poulet), F3 qui correspond à la déjection de lapin (Lapin) et F4 qui correspond à la déjection de bovins (Bœuf). Le deuxième facteur, la variété a été constituée de deux niveaux à savoir V1 qui correspond à la variété à grains noirs (N) et V2 qui correspond à la variété à grains violets (V).

2.3.2 DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Le dispositif expérimental a été du type split-plot à quatre répétitions et deux facteurs : les fertilisants (facteur en sous-bloc) et la variété (facteur en parcelles élémentaires). Au total dix traitements ont été étudiés au cours de cette expérimentation. Ce sont : F0V1 (N-Témoin), F0V2 (V-Témoin), F1V1 (N- YaraMila™ Actyva™), F1V2 (V- YaraMila™ Actyva™), F2V1 (N-Poulet), F2V2 (V-Poulet), F3V1 (N-Lapin), F3V2 (V-Lapin), F4V1 (N-Bœuf) et F4V2 (V-Bœuf). Les blocs ont été espacés de 1m. Chaque parcelle élémentaire a été constituée de 4 lignes comportant chacune 4 poquets avec des écartements de 0,80 m entre les lignes et de 0,30 m entre les poquets sur la ligne. Les dimensions d'une parcelle élémentaire ont été de 2,5 m x 1,25 m ; soit une surface de 3,12 m². La surface totale de l'expérimentation a été de 14,5 m x 13 m ; soit 188,50 m².

2.4 FERTILISATION

Les quantités des différents engrais apportés aux plants sont présentées dans le Tableau 1. Une quantité de 12 500 g de fumure organique (déjections de bœuf, lapin et poulet) a été appliquée sur chaque grande parcelle avant le semis des grains de maïs, soit 6 250 g par sous parcelle. Quant à la fumure minérale, une quantité de 11,97 g de l'engrais minéral YaraMila™ Actyva™ (NPK 23-105+3S+2MgO+0,3 Zn) a été apporté au poquet, à environ 5 cm de profondeur et à une distance de 5 cm du poquet. Une quantité de 383,04 g a donc été apportée en grande parcelle soit 191,52 g par sous parcelle au 15^e

jour après semis. Le double de cette quantité a été apporté au 30^e jour après semis. Les fumures utilisées au cours de cette expérimentation ont été analysées afin de déterminer leur teneur (%) en carbone, en matière organique et en azote total, ainsi que leur rapport C/N.

Tableau 1. Récapitulatif des doses et des périodes d'application des différents types de fumures

Traitements	Dose en grande parcelle (g)	Dose en petite parcelle (g)	Période d'application (JAS)
F0	Pas d'apport	Pas d'apport	-
F1	383,04	191,52	15
	766,08	383,04	30
F2, F3 et F4	12 500	6 250	Avant le semis

2.5 ÉCHANTILLONNAGE DE SOL

Les échantillons de sol de la parcelle expérimentale ont été prélevés dans l'horizon 0-10 cm avant l'application des fertilisants. Trois prélèvements de sol ont constitué un échantillon moyen pour la détermination des caractéristiques physico-chimiques du sol. Les analyses ont porté sur le pH Eau, le pHKCl, la teneur en carbone organique, la teneur en matière organique, la teneur en azote total, le rapport C/N, la teneur en potassium disponible ainsi que les teneurs en sable, argile et limon.

2.6 OBSERVATIONS PHÉNOLOGIQUES

Les observations phénologiques ont concerné les dates de levée, de l'initiation paniculaire, de la floraison mâle et de la maturité des grains. Les dates de semis et de levée ont permis de déterminer le temps d'émergence (délai d'émergence). Les dates de levée, de floraison mâle et de maturité ont permis d'établir les durées des phases végétative et reproductive pour chaque traitement. La longueur du cycle qui correspond à la date de maturité a également été déterminée. Pour chaque parcelle, les différents stades ont été considérés comme effectif lorsque 50 % des plants l'avaient atteint. Ces différents stades de développement ont servi à déterminer la longueur de quatre stades de développement du maïs pour le calcul des besoins en eau de la culture par le logiciel CROPWAT version 8.0. Ce sont : le stade initial, le stade de croissance, le stade de mi-saison et le stade d'arrière-saison. Ces stades correspondent respectivement à l'installation de la culture, à la montaison donc à la phase végétative des plants de maïs étudiés, à la floraison et à la maturation des grains de maïs.

2.7 ANALYSE DU RENDEMENT ET SES COMPOSANTES

Le rendement et ses composantes ont été déterminés à la récolte sur six poquets situés au centre de la parcelle. Le rendement (RDT) a été calculé à partir des poids secs des grains par poquet et de la surface occupée par le poquet au sol (0,8 m x 0,3 m = 0,24 m²). Les composantes du rendement tels que, le nombre d'épis par plant, le nombre de rangées de grains par épis, le nombre de grains par épi, le poids des grains par épi, le poids de 1000 grains (P1000G) ont été déterminés.

L'effet dépressif du déficit hydrique (P) sur le rendement (RDT) par rapport au rendement moyen (RDT moyen) et rendement potentiel (RDT potentiel) a été calculé à partir de la formule suivante :

$$P(\%) = \frac{\text{RDT} - \text{RDT moyen (ou RDT potentiel)}}{\text{RDT moyen (ou RDT potentiel)}} \times 100$$

Le rendement moyen de 3 à 5 t/ha, soit 4 t/ha ainsi que le rendement potentiel de 7t/ha utilisé sont ceux défini par la référence [4] pour les deux variétés de maïs étudiées.

L'efficacité (E) des fumures utilisées sur le rendement par rapport au rendement témoin a été déterminée à partir de la relation suivante :

$$E = \frac{\text{RDT Fumure}}{\text{RDT Témoin}}$$

2.8 MÉTHODE DE CALCUL DES BESOINS EN EAU DES PLANTES (ETc)

2.8.1 DONNÉES CLIMATIQUES DE LA ZONE D'EXPÉRIMENTATION

La pluie a été le seul facteur climatique recueilli sur le terrain. Les données pluviométriques ont été collectées à partir d'un pluviomètre manuel à lecture direct installé au milieu de la parcelle sur un mât de 2 m de hauteur.

Les autres données climatiques que sont l'humidité relative, la température, la vitesse du vent et l'insolation ont été obtenues à partir de la base de données de la Société World-Weather-Online.

2.8.2 CALCUL DES BESOINS EN EAU

Les besoins en eau de la culture ont été calculés à l'aide du logiciel CROPWAT version 8.0 [29] développé par la FAO à partir du modèle de Penman-Monteith et a été utilisé pour l'estimation des besoins en eau des cultures [30].

Les besoins en eau des plantes ont été calculés comme suit :

$$ETc = ETo \times Kc$$

Avec :

ETc : évapotranspiration réelle de la culture,

ETo : évapotranspiration de référence

et Kc : coefficient cultural.

Le logiciel CROPWAT version 8.0 développé par la FAO avec le modèle de Penman-Monteith [29] a été utilisé pour le calcul de l'évapotranspiration de référence (ETo) journalière à partir des températures maximum et minimum (°C), l'humidité relative (%), la vitesse du vent ($m.s^{-1}$), l'insolation (heures). Les besoins en eau réels (ETC) du maïs sous différents traitements ont été également déterminés en fonction des phases phénologiques du maïs observée sur les différents traitements. Les coefficients culturaux (Kc) sont prédéfinis par le logiciel. Il a également permis de calculer la pluie efficace à partir des pluies enregistrées sur le site expérimental.

En plus des besoins en eaux, le logiciel a permis de calculer les quantités d'eau à apporter sous forme d'irrigation aux plantes en cas de déficit hydrique. Le type de sol de la parcelle d'expérimentation proposé par le logiciel, est du type rouge sablo-limoneux de réserve utile de 140 mm/m et de vitesse d'infiltration de 30 mm/jour.

2.9 TRAITEMENT ET ANALYSE STATISTIQUE DES DONNÉES

Le traitement des données des phases phénologiques, l'effet dépressif du déficit hydrique sur le rendement par rapport aux rendements moyen et rendements potentiel, l'efficacité des fumures utilisées sur le rendement par rapport au témoin, ont été effectués à l'aide du tableur Excel. Le logiciel Statistix version 8.1 a permis de faire l'analyse de la Variance et la comparaison des moyennes. Pour la comparaison des moyennes, le test de Fisher Least Significant Différence (LSD) a été considéré au seuil de 5 %.

3 RÉSULTATS

3.1 CARACTÉRISTIQUES DES ÉCHANTILLONS DE SOL ET DE FUMURES

Les résultats de l'analyse des échantillons de sol du site expérimental sont consignés dans le Tableau 2. Le sol du site d'expérimentation est de type sablo-limoneux. Avec une teneur moyenne en sable (87,58 %) plus élevée que celle de l'argile (2,61 %) et du limon (9,80 %). Les résultats ont également montré un faible rapport C/N (11), ainsi qu'un potentiel hydrogène de l'eau (ph eau) inférieur à 7. Quant aux résultats de l'analyse des échantillons de fumure, ils sont présentés dans le Tableau 3. L'analyse des échantillons de fumure a montré un faible rapport C/N pour la fumure fiente de poulet (13) par rapport aux fumures déjection de bœuf et de lapin. En effet, sa teneur, en matière organique (M-organique), en carbone (C) et en azote (N) sont respectivement de 65,83 % ; 38,19 % et 3,01 %.

Tableau 2. Résultats analytiques de 3 échantillons de sol du site expérimental

N° Ech	Ph Eau	Ph KCl	C-organique (%)	M-organique (%)	N total (%)	C/N	P Brayl (mg/kg)	K disponible (mg/kg)	% Sable	% argile	% limon
1	4,34	3,91	0,33	0,56	0,030	11	9,44	15,64	88,24	1,96	9,80
2	4,61	4,00	0,48	0,82	0,043	11	10,54	34,49	86,27	3,92	9,81
3	4,68	4,10	0,51	0,88	0,046	11	13,84	32,51	88,24	1,96	9,80
Moyenne	4,54	4,00	0,44	0,75	0,039	11	11,27	27,54	87,58	2,61	9,80

N° Ech : numéro échantillon ; C : carbone ; M : matière ; N : azote ; P : phosphore ; K : potassium ; % : pourcentage ; ph Eau : potentiel hydrogène de l'eau ; ph KCl : potentiel hydrogène du chlorure de potassium ; C-organique : carbone organique ; M-organique : matière organique ; C/N : carbone/azote, N total : azote total ; K disponible : potassium disponible

Tableau 3. Résultats de l'analyse des fumures utilisées au cours de l'expérimentation

Nature échantillon	Carbone (%)	Matière organique (%)	Azote total (%)	C/N
Déjection bœuf	42,98	74,11	2,20	20
Déjection lapin	36,43	62,81	1,48	24,5
Déjection fiente poulet	38,19	65,83	3,01	13

C/N : rapport carbone sur azote

3.2 CARACTÉRISATION DES STADES DE DÉVELOPPEMENT DES VARIÉTÉS ÉTUDIÉES

Le Tableau 4 présente la durée en nombre de jours des stades de développement du maïs déterminés par le logiciel CROPWAT à partir des observations phénologiques du maïs en fonction des traitements. L'analyse a montré que la phase initiale qui correspond à l'installation de la culture a duré 17 jours pour tous les traitements, identique à la moyenne. La phase de croissance a été plus longue de 2 jours que la moyenne chez la variété à grains violets, sauf chez le traitement V-poulet qui a eu une durée identique à la moyenne. A la mi-saison, les traitements V-YaraMila Actyva™, N- Témoin et N-YaraMila Actyva™ ont été plus longue de 8 et 4 jours que la moyenne (33 jours). Hormis ces trois traitements, cette phase a présenté une durée qui a varié entre 2 et 3 jours inférieurs à la moyenne. N-Lapin et V-Poulet ont été les traitements qui ont présenté une mi saison de plus courte durée contrairement au traitement V-Témoin qui n'a pas atteint cette phase.

Tableau 4. Longueurs (jours) des stades de développement du maïs en fonction des traitements conformément au logiciel CROPWAT

Traitements	Initiale	Croissance	Mi-saison	Arrière-Saison
N-Bœuf	17	36	32	10
N-Lapin	17	38	30	10
N-Poulet	17	36	32	10
N- Témoin	17	38	37	3
N-YaraMila™ Actyva™	17	38	37	3
V-Bœuf	17	40	31	14
V-Lapin	17	40	31	14
V-Poulet	17	38	30	17
V-Témoin	17	40	-	-
V-YaraMila™ Actyva™	17	40	41	4
Moyenne	17	38	33	9

3.3 CARACTÉRISATION DE L'ÉVAPOTRANSPIRATION DE RÉFÉRENCE (ETO) ET DE LA PLUVIOMÉTRIE

La Figure 1 présente l'évolution de l'évapotranspiration de référence journalière (ET_o (mm/j)) et des pluies (mm) durant le cycle de la culture des variétés de maïs étudiées. L'ET_o a varié entre 4,89 mm/j et 5,76 mm/j au cours de l'expérimentation. La quantité totale de pluie enregistrée au cours de l'expérimentation a été de 344 mm. Du semis à la floraison, les résultats ont montré un excédent pluviométrique. En effet, il a été enregistré 338 mm de pluie pour une valeur de ET_o totale de 312,78 mm. Entre la phase de floraison (57 JAS) et la fin de la phase de remplissage des graines, soit trois semaines après la floraison (78

JAS) de tous les traitements, 6 mm de pluie ont été enregistrés pour une ETo de 231,46 mm ; soit un déficit d'environ 37 fois inférieur à la demande évaporative. Une contrainte hydrique a donc été notée durant cette période. En effet, l'analyse décadaire montre que de la date de semis au 20 août, le cumul pluviométrique a été largement supérieur au cumul de la demande atmosphérique (Eto). Cependant du 31 août au 30 Septembre, le cumul de pluies tombées a été faible par rapport à l'ETo. En effet, la demande atmosphérique a présenté des valeurs de Eto 2 à 8 fois plus élevées que les pluies. La période allant du 10 octobre jusqu'à la fin de l'expérimentation a été moins pluvieuse avec une demande évaporative moyenne de 5,4 mm/j.

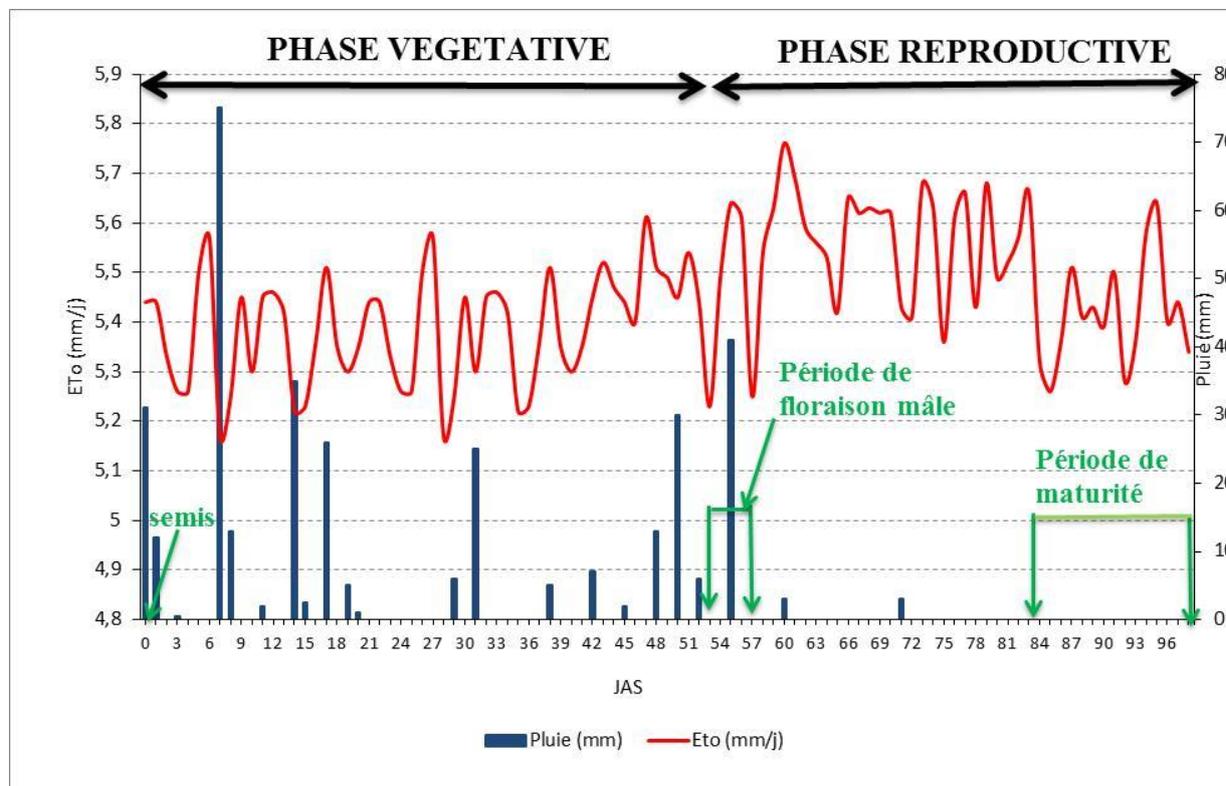


Fig. 1. Évolution journalière de ETo (mm/j) et des précipitations (mm) au cours de l'expérimentation

3.4 DÉTERMINATION DES BESOINS EN EAU DES VARIÉTÉS DE MAÏS ÉTUDIÉES EN FONCTION DES TRAITEMENTS

Le Tableau 5 présente les consommations en eau des variétés de maïs, la pluie efficace et les besoins complémentaires en eau. D'une manière générale, il ressort de ce résultat que les variétés à grains violets ont une consommation hydrique plus élevée que les variétés à grains noirs quel que soit le type de fumure. En effet, avec l'application de la fumure fiente de poulet les besoins en eau de la variété à grains violets ont été de 5 % supérieurs à ceux de la variété à grains noirs. Egalement avec l'épandage de la fumure déjection de bœuf et de lapin, les besoins en eau de la variété à grains violets ont augmenté respectivement, de 6 et 7 %. Globalement, les besoins en eau des différents types de fumure sur la variété à grains noirs ont été relativement plus faibles par rapport au témoin. Cette diminution des besoins en eau a varié entre 2,4 et 3,3 %. Par ailleurs, les traitements N-YaraMila™Actyva™ et N-témoin ont présenté les mêmes quantités de besoins en eau. La quantité de pluie tombée n'a pas permis au témoin de la variété à grains violets d'atteindre la phase reproductive (absence de formation d'épis) si bien que la comparaison avec les types de fumure n'a pas été possible. Avec cette pluviométrie, les besoins en eau des plants ont été satisfaits à environ 70 %. Elle a permis à la plupart des traitements de produire sauf le traitement V-témoin. Pour ce traitement un besoin d'irrigation complémentaire aurait été nécessaire pour produire.

Tableau 5. Besoins en eau (mm) du maïs en fonction des traitements calculés par le logiciel CROPWAT

Traitements	Evapotranspiration réelle (mm)	Pluie efficace (mm)	Besoin Irrigation (mm)
N-poulet	381,5	275,3	233,8
V-Poulet	402,3	275,3	254,6
N-Bœuf	381,5	275,3	233,8
V-Bœuf	403,4	275,3	255,8
N-Lapin	377,9	275,3	230,3
V-Lapin	403,4	275,3	255,8
N-Témoin	390,7	275,3	243,1
V-Témoin	-	-	-
N- YaraMila™ Actyva™	390,7	275,3	243,1
V- YaraMila™ Actyva™	421,6	275,3	274

Les besoins en irrigation ont varié en fonction des traitements bien que la quantité d'eau efficace ait été constante. Pour obtenir les conditions optimales de croissance et de production, le traitement N-lapin aurait eu besoin d'un apport minimal d'irrigation de 230,3 mm, soit de 84 % de la pluie efficace. A contrario, le traitement V-YaraMila™Actyva™ aurait eu besoin d'une irrigation complémentaire d'environ 100 % par rapport à la pluie efficace.

3.5 RENDEMENT ET SES COMPOSANTES

Les résultats de l'analyse statistique ont montré des différences entre les traitements pour chaque composante du rendement (Tableau 6). Les plants fertilisés avec les déjections de bœuf et de lapin ont obtenus les meilleures valeurs moyennes de nombre d'épis par plant. Le plus grand nombre de rangées de grains a été obtenu avec la fiente de poulet chez la variété à grains violets. Concernant le nombre moyen de grain par épi et le poids moyen de grains par épi, les plus faibles valeurs moyennes ont été obtenues au niveau des traitements témoins N-témoin (96,25 grains ; 18,72 g) et V-témoin (0,0 grains ; 0,0 g). Concernant le rendement, le test statistique a montré une différence significative entre les différents traitements. La variété à grains noirs a obtenu de meilleurs rendements par rapport à la variété à grains violets quelle que soit la fumure. Néanmoins, les fumures organiques et l'engrais minéral ont permis d'obtenir un meilleur rendement quelle que soit la variété. Les faibles valeurs ont été obtenues avec les témoins. Le traitement V-témoin a donné la valeur la plus faible (0,0 t/ha).

Tableau 6. Rendement et ses composantes

Traitements	Nombre d'épis/plant	Nombre de rangées/épis	Nombre de grains/ épis	Poids sec de grain/ épis (g)	Poids 1000G (g)	Rendement (t/ha)
V-poulet	1,08ab	12,73a	273,30a	74,15a	303,25a	1,7ab
V-bœuf	1,25 a	11,45ab	217,31a	57,51a	219,37f	1,6ab
N-poulet	1,08 ab	11,50ab	266,21a	65,56a	276,99b	2,7a
N-bœuf	1,25 a	11,50ab	259,62a	60,92a	224,65e	2,54a
V-YaraMila™ Actyva™	1,33 a	8,79b	182,44ab	45,31ab	270,26c	1,1ab
V- lapin	1,25 a	10,95ab	191,38a	48,32a	224,36 e	1,4ab
N-lapin	1,33 a	11,15ab	218,24a	52,22a	231,89d	2,20a
N-YaraMila™ Actyva™	0,91 ab	10,44ab	240,79a	53,71a	207,26g	2,1a
N-témoin	1,08 ab	9,33b	96,25b	18,72bc	180,27h	0,5bc
V-témoin	0,75 b	0,00c	0,00c	0,00c	0,00c	0,0c

Pour une variable et un effet donné, les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %, test de fisher least significant difference (LSD).

3.6 EFFET DÉPRESSIF DU DÉFICIT HYDRIQUE ET EFFICACITÉ DES FUMURES UTILISÉES SUR LE RENDEMENT

Le Tableau 7 présente les résultats de l'effet dépressif du déficit hydrique sur les rendements par rapport aux rendements moyen et potentiel. La contrainte hydrique a réduit les rendements obtenus au cours de l'expérimentation de 31,7 % à 100 % par rapport au rendement moyen et de 61,0 % à 100 % pour le rendement potentiel. Les traitements N-poulet (31,7 % et 61 %) et N-bœuf (36,5% et 63,7 %) ont moins subi l'effet du déficit hydrique sur leurs rendements par rapport aux rendements moyen et rendements potentiel. Quant aux témoins, ils ont subi les effets combinés des contraintes hydrique et minérale. Leurs rendements ont donc été plus marqués par ces deux contraintes. Le traitement N-témoin a présenté des taux de 88,5 % et de 93,4 %, respectivement, pour rendements moyen et rendements potentiel. Quant au traitement V-témoin, il a été de 100 % par rapport aux rendements moyen et rendements potentiel.

Concernant, les résultats de l'efficacité des fumures utilisées (Tableau 7), les fumures fiente de poulet et déjection de bœuf ont permis d'obtenir des rendements six fois supérieurs à celui du témoin chez la variété à grains noirs.

Tableau 7. Effet dépressif du déficit hydrique sur le rendement par rapport aux rendements moyen et potentiel et efficacité des fumures sur le rendement

Variétés	Grains Noirs					Grains Violets				
	Témoin	YaraMila™ Actyva™	Poulet	Lapin	Bœuf	Témoin	YaraMila™ Actyva™	Poulet	Lapin	Bœuf
Rendements (t/ha)	0,5	2,1	2,7	2,20	2,54	0,0	1,1	1,7	1,4	1,6
Effet dépressif rendement moyen (%)	-88,5	-47,2	-31,7	-45,00	-36,5	-100,0	-71,5	-56,7	-65,0	-61,0
Effet dépressif rendement Potentiel (%)	-93,4	-69,9	-61,0	-68,6	-63,7	-100,0	-83,7	-75,3	-80,0	-77,7
Efficacité des fumures sur rendement/témoin	-	5	6	5	6	-	1	2	1	2

4 DISCUSSION

Les résultats obtenus concernant les stades de développement des variétés de maïs étudiées n'ont montré aucune différence entre les traitements pour la phase d'installation de la culture. C'est à ce stade que les organes reproducteurs sont initiés, ainsi que la taille des grains, le nombre de rangées de grains par épis. C'est un stade qui est sensible à un déficit hydrique ainsi qu'au déficit en éléments nutritifs. Le déroulement de ce stade de développement a eu lieu pendant une pause pluviométrique au cours de notre étude. D'après la référence [31] les phases au cours desquelles les conséquences d'un stress hydrique sont les plus graves sont d'une part le semis et les deux semaines qui le suivent et d'autre part les deux semaines qui précèdent et les deux semaines qui suivent la floraison [32], [33], [34].

Les durées des phases de croissance ont été influencées par les fumures quelle que soit la variété. La fiente de poulet a raccourci la durée de cette phase quelle que soit la variété, en plus de la déjection de bœuf chez la variété à grains noirs. Cela pourrait s'expliquer par la disponibilité des éléments minéraux contenus dans ces fumures. En effet, La fiente de poulet libère plus rapidement les éléments minéraux qu'elle met à la disposition des plantes accélérant ainsi leur croissance et leur développement [35]. Cela est confirmé par les résultats analytiques des fumures organiques utilisées dans notre étude. En effet le rapport C/N d'une matière renseigne sur sa vitesse de minéralisation et la faible valeur de ce rapport pourrait traduire la relative rapide minéralisation de l'azote et par conséquent sa disponibilité [36]. Selon la référence [37], la minéralisation de la fiente de poulet favoriserait une disponibilité en azote totale et en phosphore assimilable dans le sol. Ce phosphore pourrait expliquer le raccourcissement de la phase végétative chez la variété à grains noirs, car, il serait un facteur de précocité comme signalé par la référence [38]. Un apport donc d'élément fertilisant pourrait réduire la durée de la phase végétative des plants de maïs. Quant à la phase de mi- saison, elle n'a pas été identique au niveau de tous les traitements. Cela découle de la différence observée au niveau des dates de maturités qui ont été influencées par le déficit hydrique enregistré au cours de cette phase. En effet chez les céréales, la durée de la phase reproductive reste constante quel que soit la variété. Elle dure pratiquement une trentaine de jours et c'est la période pendant laquelle la plante a les besoins les plus élevés en éléments nutritifs et en eau [39]. Les différences de durées du cycle observées entre différentes variétés proviennent de la durée variable de la phase végétative : les variétés tardives ont un appareil végétatif plus important, et elles mettent plus de temps à le fabriquer [40], [41].

Concernant les quantités de pluie reçue elles ont varié au cours du cycle de la culture. En effet du semis à la période de floraison (du 53 JAS au 57 JAS) la quantité de pluie reçue a été de 338 mm. Un déficit hydrique a été observé à partir de cette période de floraison jusqu'à la fin de la phase de remplissage des grains, soit 3 semaines après la période de floraison.

Notamment, c'est au cours de cette période que la plante a besoin de suffisamment d'eau et d'éléments nutritifs pour assurer un bon développement des grains. De plus au cours de cette phase, la demande évaporative (ETo) a été importante de l'ordre de 5,44 mm/jour. D'après la référence [42], le maïs est très sensible au stress (contrainte) d'humidité à ce stade, étant donné ses besoins plus importants en eau, jusqu'à 10 mm par jour dans des conditions très chaudes et sèches. Ces conditions auraient influencé la productivité des variétés de maïs étudiées. En effet le nombre d'épis par plant a été plus élevé au niveau des plants ayant reçu l'engrais minéral YaraMila™ Actyva™ et la fumure déjection de lapin par rapport aux plants ayant reçu les autres types de fumures. Les plants témoins de la variété à grains violets n'ont pas produit d'épis. Selon les références [40] et [42], chaque plant peut porter potentiellement 4 ou 5 épis à l'aisselle des feuilles, cependant un seul arrive à terme dans les conditions normales de culture, les autres dégénèrent. Cela serait dû au fait que ce stade correspond à la période d'élongation rapide de la tige, où les besoins, en produits assimilables de la plante deviennent très importants [43].

Nos résultats ont montré que les plants ayant reçu les fumures organiques et l'engrais minéral YaraMila™ Actyva™ ont obtenu des valeurs de nombre de rangées de grains, de nombre de grains/épis, de poids sec grains/épis et de poids de 1000G, supérieures à celles des témoins des deux variétés de maïs. En effet, selon les références [40] et [44], l'épi se forme environ un mois avant la floraison et en même temps se détermine le nombre maximum de rangées de grains qu'il va porter, donc le nombre de grains. Le nombre de grains observés à la récolte n'est déterminé quant à lui qu'après la fécondation. Il sera réduit par tous les phénomènes pouvant affecté la croissance de la plante en particulier le déficit hydrique et la carence en éléments minéraux. En effet, la phase post-florale est beaucoup plus exposée au stress hydrique car les températures s'élèvent, augmentant les besoins instantanés en transpiration, alors que parallèlement les réserves en eau du sol sont amoindries par les prélèvements des semaines précédentes. De la floraison au stade grain laiteux, les cellules composant les grains se multiplient et s'allongent. Cette phase est donc particulièrement sensible au stress hydrique car les processus d'élongation cellulaire requièrent de bons statuts hydriques pour maximiser la taille des futurs grains. De plus, les excès de température peuvent fortement compromettre la multiplication cellulaire. La phase grain laiteux, le remplissage en amidon des grains se fait grâce au maintien de la photosynthèse, puis à la migration des réserves contenues dans les parties aériennes de la plante. Ainsi, plus la phase de photosynthèse active se prolonge, plus le Poids de 1000G peut s'élever [40].

Dans nos conditions de culture, un déficit hydrique a été observé de la floraison jusqu'à la fin de la phase de remplissage des grains. Ce résultat pourrait donc expliquer l'efficacité des fumures organiques et minérales sur la production du nombre de grains et partant du poids de 1000 grains malgré ce déficit hydrique. Les résultats concernant le nombre de rangées de grains/épis ainsi que le nombre de grains/ épis ont été faible par rapport à ceux obtenu par la référence [42] qui sont respectivement de l'ordre de 14 à 20 rangées et 500 à 600 grains. Nos résultats pourraient s'expliquer par le déficit hydrique enregistré au cours de l'initiation paniculaire. En effet c'est à ce stade que sont déterminés le nombre de rangées de grains et le nombre de grains par épis. Pour ce qui concerne le rendement, la variété à grains noirs a présenté les meilleures valeurs par rapport à la variété à grains violets quelle que soit la fumure utilisée. Quant aux témoins, elles ont obtenu les plus faibles valeurs, notamment avec la variété à grains violets qui n'a pas produit d'épis. Les rendements obtenus avec la variété à grains noirs se rapprochent du rendement moyen qui est de 3 à 5 t/ha pour cette variété. Tandis que ceux obtenu avec la variété à grains violets ont été plus faible quelle que soit la fumure utilisée. Ces résultats pourraient s'expliquer par les forts besoins en eau des plants qui ont été enregistrés à partir de la floraison. En effet, nos résultats ont montré que la variété à grains violets, a une consommation en eau plus élevée que la variété à grains noirs quel que soit le type de fumure. Ce qui pourrait expliquer les meilleurs rendements obtenus avec la variété à grains noirs. Globalement, les besoins en eau des plants de la variété à grains noirs ayant reçu les deux types de fumures ont été relativement plus faibles par rapport aux plants témoins de cette variété. La quantité de pluie tombée n'a pas permis au témoin de la variété à grains violets de produire des épis. Contrairement au témoin de la variété à grains noirs, celui de la variété à grains violets a subi plus de contrainte hydrique et minérale, ce qui ne lui a pas permis de produire d'épis. En effet, d'après la référence [45] le déficit hydrique aurait des conséquences immédiates sur les épis se trouvant encore en phase précoce d'évolution (épiaison, floraison et fécondation), ou sur les grains en début de remplissage. Ceci aurait pour conséquence qu'à maturité, un certain nombre de grains ne soit pas formés ou que leur poids reste équivalent à celui des enveloppes. Ce résultat est accord avec ceux des références [25] et [26], qui ont montré qu'en conditions de déficit hydrique et de fortes températures en phase de remplissage des grains une augmentation de la proportion des grains de petite taille et immatures est observée. Il convient de noter qu'un semis tardif a également des conséquences sur le rendement du maïs. Selon la référence [46], une séquence de 15 jours de retard diminuerait le rendement de 8 à 10 %.

Pour l'efficacité des fumures utilisées sur le rendement par rapport au témoin, le meilleur résultat a été obtenu avec la fumure fiente de poulet ainsi que la fumure déjection de bœuf pour la variété à grains noirs. Ces fumures ont permis aux plants de la variété à grains noirs de moins subir l'effet dépressif du déficit hydrique. En effet, avec un cycle plus court, ces plants ont leur besoin en eau qui a diminué et ont donc profité de la pluie tombée au cours de la phase végétative pour assurer au mieux un bon développement des épis ainsi qu'un bon remplissage des grains. Ainsi, le rendement obtenu avec ces fumures chez la variété à grains noirs a été 6 fois égale à celui obtenu avec le témoin de cette variété. En effet, ce résultat montre l'importance

des fumures organiques sur les propriétés physiques, chimiques et biologique du sol. Selon DELVILLE cité par la référence [47], la matière organique accroît la capacité d'échange cationique et donc la quantité et la disponibilité des éléments minéraux dans le sol. Elle améliore également la structure du sol et la rétention de l'eau permettant de réduire l'impact des périodes sèches en cours de culture.

5 CONCLUSION

Cette étude a permis de mettre en évidence l'efficacité des fumures utilisées sur la productivité des variétés de maïs étudiées en cas de déficit hydrique au cours de la phase reproductive. La variété à grains violets a été plus affectée par le déficit hydrique au cours de la phase reproductive par rapport à la variété à grains noirs. Concernant les phases de développement des variétés étudiées, les plants ayant reçu les fumures fientes de poulet ont eu une phase de croissance plus courte en plus de ceux de la variété à grains noirs qui ont reçu la déjection de bœuf. L'action des fumures organiques et l'engrais minéral a été positive sur les composantes du rendement. Aucune différence n'a été observée entre les différents types de fumures (organique et minérale) concernant le rendement quelle que soit la variété. Les plants ayant reçu les fumures organiques et minérales ont obtenu les meilleurs rendements par rapport au témoin. Les rendements obtenus avec la variété à grains noirs ont été supérieurs à ceux obtenus avec la variété à grains violets quelles que soient les types de fumures. De plus nos résultats ont montré que les fumures fientes de poulet et déjections de bœuf ont été plus efficace quelle que soit la variété dans nos conditions de culture. Elles ont permis d'obtenir un rendement qui est 6 fois égale à celui obtenu avec le témoin de la variété à grains noirs malgré la contrainte hydrique post-floral. Les résultats font donc apparaitre que les fumures fiente de poulet et déjection de bœuf en raccourcissant la durée de la phase de croissance des plants à grains noirs, leur a permis d'échapper à l'effet dépressif du déficit hydrique post-floral. Au terme de cette étude, il apparait que l'utilisation de ces fumures en culture du maïs, pourrait constituer une alternative aux conséquences du déficit hydrique enregistré au cours de la phase reproductive chez le maïs.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements vont à l'endroit de Dr OUATTARA Owélé enseignant chercheur à l'Université Peleforo Gon Coulibaly qui a mis à notre disposition les semences des variétés de maïs étudiées. Nos gratitude vont également à l'endroit de monsieur TUO Yalamoussa, Docteur en entomologie agricole à l'Université Peleforo Gon Coulibaly pour l'aide qu'il nous a apporté lors des traitements phytosanitaires des parcelles.

REFERENCES

- [1] K. Nyembo, Exploitation de l'effet hétérosis des hybrides produits au Katanga, République Démocratique du Congo. Thèse de doctorat, Faculté des sciences agronomiques, Université de Lubumbashi, 2010.
- [2] FAO, FAO Statistical Yearbook 2013, FAO: Rome, Italy, 2013.
- [3] B. Shiferaw, B. Prasanna, J. Hellin and M. Banzigen, "Crops that feed the world 6. Past successes and future challenges to the role played by maize in global food security", *Food Security*, 3, pp. 307-327, 2011.
- [4] M. Yapi, Agence national d'appui au développement rural. Fiche technicoéconomique du maïs, 2017.
- [5] K. Doffangui, Fiche technique du maïs. Institut Agricole de Bouaké (IAB), Côte d'Ivoire, 1997.
- [6] Anonyme, FAOSTAT (2017). <http://www.fao.org/faostat/fr/data/QC>. Consulté le 20 octobre 2019.
- [7] S. B. Brush, "In situ conservation of landraces in centers of diversity", *Crop Sci*, pp. 35, 1995.
- [8] O. Frankel, A. H. D. Brown and J. J. Burdon, *The Conservation of Plant Biodiversity*. Cambridge University Press: New York, USA, 1995.
- [9] K. Cherifi, M. Boussaïd et M. Marrakchi, "Diversité génétiques de quelques populations naturelles de *Medicago ciliaris* (L) Krock et de *Medicago intertexta* (L) Mill. Analyse de la variabilité morphologique". *Agronomie*, 13, pp. 895-908, 1993.
- [10] D. Noufé, *Changement climatique et agriculture : cas de l'Est ivoirien*. Saarbrücken (Paf), <http://www.presses.academiques.com> ISBN-13 : 978-3-8381-8929-1, 2012.
- [11] C. K. Kouakou, L. Akanvou, Y. A. Konan et A. Mahyao, "Stratégies paysannes de maintien et de gestion de la biodiversité du maïs (*Zea mays* L.) dans le département de Katiola, Côte d'Ivoire", *J. Appl. Biosci.*, 33, pp. 2100-2109, 2010.
- [12] H. A. N'da, L. Akanvou et C. K. Kouakou, "Gestion locale de la diversité variétale du maïs (*Zea Mays* L.) violet Tagouana au Centre-Nord de la Côte d'Ivoire", *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 7(5), pp. 2058-2068. DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v7i5.23>, 2013.
- [13] L. Akanvou, R. Akanvou, A. Kouamé et L. Diarrassouba, *Bien cultiver le maïs en Côte d'Ivoire*. Fiche technique-CNRA. Direction des programmes de recherche et de l'appui au développement, 2006.

- [14] A. Sangaré, E. Koffi, F. Akamou et M. C. A. Fall, Rapport national sur l'état des ressources phylogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture. Etat des ressources phylogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture , second rapport national, 2009.
- [15] S. Y. Useni, K. M. Chukiyabo, K. J. Tshomba, M. E. Muyambo, K. P. Kapalanga, N. F. Ntumba, K. P. Kasangij, K. A. Kyungu, L. L. Baboy, K. L. Nyembo et M. M. Mpundu, "Utilisation des déchets humains recyclés pour l'augmentation de la production du maïs (*Zea mays L.*) sur un ferralsol du Sud-Est de la RD Congo", *Journal of Applied Biosciences*, 66, pp. 5070-5081, 2013.
- [16] M. B. Béninga, "Diagnostic des systèmes de culture à base de mil en Côte d'Ivoire et perspectives d'amélioration", *J. Appl. Biosci.*, 79, pp. 6878 - 6886. <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v79i1.3>, 2014.
- [17] D. Noufé, Z. A. Kouadio, G. E. Soro, T. P. Wayou, B. T. A. Goula et I. Savané, "Impact de la variabilité climatique sur la production du maïs et de l'igname en Zones Centre et Nord de la Côte d'Ivoire", *Agronomie Africaine*, 27 (3), pp. 241 - 255, 2015.
- [18] E. Servat, J. E. Paturel, H. Lubès-Niel, B. Kouamé and M. Ouédraogo, J. M. Masson, "Climatic variability in humid Africa along the Gulf of Guinea. Part I : detailed analysis of the phenomenon in Côte d'Ivoire", *Hydrology. Sci. J.*, 191, pp. 1 – 15, 1997.
- [19] D. Noufé, G. Mahé, B. Kamagaté, E. Servat, A. Goula Bi-Tié and I. Savané, "Climate change impact on agricultural production : the case of Comoé river basin in Côte d'Ivoire", *Hydrology. Sci. J.*, 60 (11), pp. 1972-1983, 2015.
- [20] M. V. K. Sivakumar, Durée et fréquence des saisons sèches en Afrique de l'Ouest, Bulletin de recherche n0 13, ICRISAT, Patancheru, Inde, IBlp, 1991.
- [21] A. Samba, B. Sarr, C. Baron, E. Goze, F. Maraux, B. Clerget et M. Dingkhun, La prévision agricole à l'échelle du Sahel, In : E. Malezieux, G. Trebreil and M. Jaeger (Eds), Modélisation des agroécosystèmes et aide à la décision, pp. 243-261, 2001.
- [22] M. V. K. Sivakumar, "Predicting rainy season potential from the onset of rains in southern sahelian and soudanian climatic zones of West Africa", *Agricultural and Forest Meteorology*, 42, pp. 295–305, 1988.
- [23] S. Traoré, F. Reyniers, M. Vaksman, B. Koné, A. Sidibé, A. Yoroté, K. Yattara et M. Kouressy, "Adaptation à la sécheresse des écotypes locaux de sorghos du Mali", *Sécheresse*, 11, pp. 227–237, 2000.
- [24] B. Bamba, M. Guèye, A. Badiane, D. N'Gom et L. K. A. Samba, "Effet de la date et de la densité de semis sur la croissance et le rendement en grain du mil tardif [*Pennisetum glaucum (L.) R. Br*] dans les zones sud est et sud du Sénégal", *J. Appl. Biosci.*, 138, pp. 14106 – 14122. <https://dx.doi.org/10.4314/jab.v138i1.9>, 2019.
- [25] J. Yang and J. Zhang, "Grain filling of cereals under soil drying", *New Phytologist*, 169, pp. 223-236. DOI:10.1111/j.1469-8137.2005.01597.x, 2006.
- [26] F. Aslani and M. R. Mehrvar, "Responses of wheat genotypes as affected by different sowing date", *Asian Journal of Agricultural Sciences*, 4(1), pp. 72-74. DOI : <https://maxwellsci.com/jp/abstract.php/jid/AJAS&no/17012>, 2012.
- [27] I. Diomandé, Les pesticides utilisés dans la production des mangues. Mémoire de Diplôme Universitaire de Technologie (DUT), option: Gestion agro-pastorale, Université de Bouaké/ URES de Korhogo, Côte d'Ivoire, 2002.
- [28] A. Perraud, Les sols, In: J. M. Avenard, E. Eldin, G. Girard, J. Sircoulon, P. Touchebeuf, J. L. Guillaumet, E. Adjanohoun et A. Perraud (Eds.), *Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire*. Éditions O.R.S.T.O.M., Paris, France, 50, pp. 269-391, 1971.
- [29] M. Smith, CROPWAT: A computer program for irrigation planning and management, *Food & Agriculture Org. (No. 46)*, 1992.
- [30] R. G. Allen, L. S. Perieria, M. Smith, D. Raes and J.L. Wright, "Dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions", *Journal of irrigation and drainage engineering*, FAO-56, 131 (1), pp : 2-13, 2005.
- [31] N. TINE, Caractérisation de la variabilité des rendements en maïs (*Zea Mays L.*) et leurs conditions d'élaboration dans la zone sud du département de TAMBACOUNDA. Diplôme d'études approfondies en biologie végétale, 2008.
- [32] Anonyme, memento de l'agronome, 5ème édition, 2002.
- [33] H. R. Lafitte, Stress abiotique affectant le maïs, In : *Le maïs en zones tropicales : amélioration et production*, Collection FAO : Production végétale et protection des plantes, pp : 97-108, 2002.
- [34] D. Hema, "Analyse de la stabilité du rendement de variétés de maïs pour les zones sèches du Burkina Faso", *Sécheresse*, 11 (3), pp. 189-193, 2000.
- [35] Anonyme, Fertilisation organique, EPLEFPA des landes, 2016.
- [36] H. T. B. Aké, T. Bi-Tra et O. D. Dogbo, "Caractéristiques physico-chimiques des composts à base de sous-produits de ferme de Songon en Côte d'Ivoire", *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 12(1), pp. 596-609. DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v12i1.45>, 2018.
- [37] D. S. Dean, C. S. Earl and E. K. Raymond, "Irrigation management for corn in the Northern Great Plains, USA", *Irrig. Sci.*, 19, pp. 107-114. DOI: <https://link.springer.com/article/10.1007/PL00006709>, 2000.
- [38] Y. Kati, Contribution à la maîtrise de la fertilisation phosphatée des sols de montagne : cas des sols de vergers de pommiers d'Ichemoul (Aures-Algérie). Mémoire pour l'obtention du Diplôme de Magister en Sciences Agronomiques, Université El-Hadj Lakhdar-Batna, Institut des Sciences Vétérinaires et des Sciences Agronomiques, option : pédologie, 2012.
- [39] M. M. Kocou, Effet du système sawah sur la production du riz et de la productivité de l'eau dans les bas-fonds de Bamé au Bénin. Mémoire de fin d'étude, Université de Parakou. Benin, 2012.

- [40] J. P. Gay, Maïs : l'épi se forme un mois avant la floraison. In perspectives agricoles n°33, pp. 36-41, 1980.
- [41] W. N'diaye, Etude des interactions géotypes-milieu sur la tolérance au stress hydrique du maïs (*Zea mays* L). Mémoire d'ingénieur agronome, ENSA, Thiès (Sénégal), 1994.
- [42] M. E. P. Hoopen et A. Maïga, Production et transformation du maïs. Collection Pro-Agro, 2012.
- [43] J. P. Gay, Le cycle du maïs, colloque « Physiologie du maïs » INRA-CNRS-AGPM, mars 1993, pp. 1 – 10, 1984.
- [44] M. N'diaye, Itinéraires techniques relatifs à la culture du maïs dans le périmètre de Djandioly-Garly. Critères de choix, conséquences sur les temps de travaux et les rendements. Mémoire de confirmation, CNRA de Bambey, 1984.
- [45] T. WINKEL et F. DO, Mécanismes morpho-physiologiques de résistance du mil à la sécheresse. Intérêt d'une approche agrophysiologique et résultats expérimentaux, In : Le mil en Afrique : Diversité génétique et agro-physiologique. Potentialités et Contraintes pour l'amélioration génétique et l'agriculture, vol. 283, pp. 187-204, 1993.
- [46] G. J. Tremblay, "Effet du semis Tardif chez le soja", Périodique grandes cultures, N° 97.01: pp : 29-30, 1997.
- [47] D. J-P. Lompo, Gestion de la fertilité des sols dans les systèmes de culture de l'ouest du Burkina Faso : évaluation des effets agronomiques et de la rentabilité économique de trois formules de fumure. Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural/ Option Agronomie, IDR/UPB, Burkina Faso, 2005.