



DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE VEGETALES
DEPARTMENT OF PLANT BIOLOGY

Criblage des variétés de maïs (*Zea mays* L.) pour leur tolérance au stress hydrique et aux maladies dans l'Arrondissement d'Awae

**Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master 2 professionnel en
Industrie de Semences**

Option : Technologie des semences

Par :

NANFACK TSABOU Gotier

Matricule : 22W2597

Licencié ès professionnel en Agriculture tropicale



Sous :

L'encadrement de :

Dr NDOGHO PEGALEPO Angèle

Chargée de Cours

Université de Buea

La supervision de :

AMBANG Zachée

Professeur

Université de Yaoundé I

DEDICACE

A ma fille AVOUKENG NANFACK Joyce Nawelle venue au monde le 20 janvier 2023.

REMERCIEMENTS

La sagesse africaine nous apprend qu'il est plus aisé à un homme de grimper sur un arbre avec ses deux bras qu'avec un seul. Ceci revient à dire que dans le cadre d'un travail intellectuel, une seule tête fit-elle celle d'un érudit ne peut le mener à terme toute seule.

Ces travaux de recherche et la rédaction du mémoire ont été rendus possibles grâce au soutien, à l'implication et la mobilisation de plusieurs personnes. C'est l'occasion pour moi de les remercier :

- le grand Dieu tout Puissant pour la force qu'il m'a donnée tout au long de la rédaction de ce document ;
- Pr. AMBANG Zachée, Chef de Département de Biologie et Physiologie Végétales, Faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé 1, dont l'encadrement scientifique doublé d'une attention particulière à toutes mes questions nonobstant ses multiples occupations ont été essentiel à l'aboutissement de ce document ;
- Pr. BELL Joseph, Coordonnateur de la Filière Industrie des semences (ISE), pour tous ses conseils et orientations respectifs ;
- Dr. NDOGHO PEGALEPO Angèle, qui a été toujours disponible, par ses conseils, ses orientations et même ses encouragements répétitifs ;
- Dr. DIDA LONTSI Landry Sylvere, Assistant de Cours au Département de Biologie et Physiologie Végétales, pour son entière disponibilité lors des travaux au laboratoire et l'analyse des données ;
- Dr. NGATSI ZEMKO Patrice, pour le traitement et l'analyse statistique des données ;
- Dr. Godswill NTSOMBOH NTSEFONG, pour tous ses conseils et encouragements ;
- tous les enseignants de la filière (Pr. NGALLE Hermine, Dr. LIKENG Benoit, Dr. KAMTAT) pour m'avoir donné les bases solides pour que j'aborde avec sérénité mes travaux de recherche ;
- ma tendre épouse, EKOUM VOUKENG Vanessa, pour tout son soutien moral ;
- monsieur NJILA NANA Narcisse, pour sa disponibilité dans les orientations des solutions aux différentes questions posées ;
- messieurs CHOUMELE Lucry, KENFACK Ronie pour leurs contributions dans la cartographie et la mise sur pieds du dispositif expérimental ;
- mon frère jumeau, KAFACK TSABOU Jaurès, pour tous les sacrifices consentis sur le terrain ;

- papa TCHUENKAM Pierre Marie, pour tous les efforts fournis dans la prise des paramètres sur le terrain ;
- tous mes amis du laboratoire de phytopathologie, en particulier, Lucrèce, Sandra, Jordan, Alex d'avoir créé un environnement favorable pour que nos objectifs soient atteints ;
- toute la famille TSABOU, qui a toujours cru en moi, et en mes potentialités ;
- toute la famille ohh Megoudjio : JIOFACK Olivier, DJUIKO Marie Christelle, etc... pour toutes vos prières, vos soutiens et encouragements ;
- tous mes promotionnaires de la filière Industrie des Semences : INBO Innocent, NGON Cédric, LIOBA Theresa, avec qui nous avons formé un lien familial et un esprit entrepreneurial incroyable pour notre promotion ,
- tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à l'élaboration de ce travail.

SOMMAIRE

DEDICACE	i
REMERCIEMENTS.....	ii
SOMMAIRE	iv
LISTE DES FIGURES	viii
LISTE DES TABLEAUX	ix
LISTE DES ANNEXES	x
LISTE DES ABREVIATIONS	xi
RESUME	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I. REVUE DE LA LITTERATURE	4
I.1. Généralités sur le maïs.....	5
I.1.1. Description botanique et écologie du maïs	5
I.1.2. Physiologie du maïs.....	6
I .1.2.1. Capture et utilisation du carbone	6
I.1.2.2. Répartition des matières assimilées	7
I.1.3. I.1.2.3. Avortement à la floraison.....	7
I.1.2.4. Dessiccation du grain.....	8
I.1.3. Production du maïs	8
I.1.3.1. Culture et fertilisation	9
I.1.3.1.1. Culture du maïs	9
I.1.3.1.2. Fertilisation du maïs.....	10
I.1.3.1.3. Besoins en eau.....	11
I.1.4. Stress abiotiques affectant la culture du maïs.....	12
I.1.4.1. Stress hydrique et symptômes	12
I.1.4.1.1. Avant floraison.....	12

I.1.4.1.2. A la floraison.....	12
I.1.4.1.3. Après la floraison	13
I.1.4.1.4. Situation à risque	13
I.1.4.2. Stress azoté et phosphoré	14
I.1.4.3. Stress thermique	15
I.1.4.4. Stress salin.....	15
I.1.4.5. Similitude entre les stress abiotiques	16
I.1.4.6. Mécanismes d'adaptation des plantes aux stress abiotiques.....	16
I.1.4.6.1. Esquive ou échappement.....	17
I.1.4.6.2. Evitement de la déshydratation des tissus	17
I.1.5.3. Résistance à la déshydratation des tissus	18
I.1.5. Importance du maïs dans l'alimentation	18
I.1.6. Contraintes de la culture du maïs.....	20
I.1.7. Place du maïs au Cameroun.....	21
1.1.6.2.1. Maladies du maïs et modes de traitement.....	21
1.1.6.2.1. Ravageurs du maïs et moyens de luttés	22
CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES	24
II.1. Matériel.....	25
II.1.1. Zone d'étude	25
II. 1.2. Matériel végétal	26
II .1.3. Matériel technique	27
II.1.4. Produits phytosanitaires.....	28
II.1.5. Matériel de laboratoire	28
II.2. Méthodes	28
II.2.1. Enquêtes sur l'état phytosanitaire de la culture de maïs et de sa production ...	28
II.2.1.1. Collecte des données.....	28
II.2.1.2. Taille de l'échantillon	29

II.2.2. Evaluation des paramètres agro morphologiques de quelques variétés de maïs en champ en condition de culture en périodes sèche et humide	29
II.2.2.1. Processus du criblage.....	29
II.2.2.2. Dispositif expérimental.....	29
II.2.2.3. Conduite et entretien de l'essai	30
II.2.2.3.2. Variables mesurées	31
II.2.2.3.2.1. Mesure des variables agro morphologique	31
II.2.2.3.2.2. Mesure des variables de rendement	31
II.2.3.2.1. Préparation des milieux de cultures	33
II.2.5. Analyse statistique.....	35
CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSIONS.....	36
III.1. RESULTATS.....	37
III.1.1. Enquêtes sur l'état phytosanitaire de la culture de maïs et de sa production..	37
III.1.2. Evaluation des paramètres agro morphologiques de quelques variétés de maïs en champ en condition de culture en période sèche et humide	38
III.1.2.1. Paramètres de croissance	38
III.1.2.1.1. Hauteur des Plantes (HP).....	38
III.1.2.1.2 Diamètre au Collet (DC)	39
III.1.2.1.3. Nombre des Feuilles (NFV)	39
III.1.2.2. Paramètres de rendement	40
III.1.2.2.1. Nombre moyen d'épis par variété	40
III.1.2.2.2. Poids de 100 grains et rendement grain des variétés	41
III.1.3. Evaluer l'incidence et la sévérité des principales maladies identifiées en champ	43
III.1.3.1. Incidence de l'helminthosporiose.....	43
III.1.3.2. Incidence de la striure	44
III.1.3.3. Sévérité de l'helminthosporiose.....	44
III.1.3.4. Sévérité de la striure.....	45

III. 2. DISCUSSION	47
IV .1. Conclusion	50
IV.2. Recommandations.....	51
IV.3. Perspectives.....	52
BIBLIOGRAPHIE	53
ANNEXES.....	60

LISTE DES FIGURES

Fig. 1 : Description d'un plant de maïs adulte (Eugen Koler, 1897).....	5
Fig. 2 : Remplissage des grains sur épi en fonction du niveau de stress.	13
Fig. 3 : Conséquence du déficit hydrique au moment de floraison	13
Fig. 4 : Pourcentage de perte de rendement par jour de stress hydrique à différentes époques de la saison	14
Fig. 5 : Evolution du rendement en matière sèche et absorption des éléments fertilisant N-P-K.	15
Fig. 6 : Symptômes des maladies rencontrées en champs et au laboratoire	22
Fig. 7 : Quelques ravageurs de maïs en champ	23
Fig. 8 : Cartes de la zone d'étude.....	26
Fig. 9 : Dispositif expérimental de notre étude.....	30
Fig. 10 : Activités réalisées en champ	32
Fig. 11 : Quelques résultats des enquêtes sur le terrain	37
Fig. 12 : Variation de la hauteur en fonction des variétés de maïs	38
Fig. 13 : Variation des diamètres au collet en fonction des variations de maïs.....	39
Fig. 14 : Variation des feuilles en fonction des variétés de maïs.....	40
Fig. 15 : Taux d'incidence de l'helminthosporiose pour différentes variétés	43
Fig. 16 : Taux d'incidence de la striure pour différentes variétés	44
Fig. 17 : Sévérité l'helminthosporiose pour différentes variétés	45
Fig. 18 : Sévérité la striure pour différentes variétés	46
Fig. 19 : Conséquences du stress hydrique sur la culture du maïs.....	47

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I. Quelques facteurs environnementaux affectant l'EC chez le maïs tropical de basses altitudes.....	6
Tableau II. Les besoins en minéraux du maïs pour boucler le cycle	10
Tableau III. Absorption des éléments majeurs au cours d'une saison.....	11
Tableau IV. Grands producteurs de maïs en Afrique entre 2000 et 2014.....	19
Tableau V. Production des céréales au Cameroun en fonction des années	21
Tableau VI. Caractéristiques des variétés de maïs utilisées	27
Tableau VII. Nombre de producteurs de maïs enquêtés par village	29
Tableau VIII. Variation du nombre d'épis.....	41
Tableau IX. Poids moyen de 100 grains et rendement-grain pour chaque variété en kg .	41
Tableau X. Quelques observations de la tolérance hydrique.....	46

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1. Fiche d'enquête	60
Annexe 2. Fiche de prise des paramètres.....	65
Annexe 3. Quelques images du terrain	73
Annexe 4. pluviométrie et température de l'Arrondissement d'Awae	74
Annexe 5 : Compte d'exploitation pour la production de 1ha de semences de maïs CMS 8704	75

LISTE DES ABREVIATIONS

AO: Ajustement Osmotique

ASS: Afrique subsaharienne

DC : Diamètre au collet

EC : Efficacité et Conversion

FAO : Food and Agriculture Organisation

HP : Hauteur de la plante

ISF : Indice de Surface Foliaire

IITA : Internationale Institute of Tropicale Agriculture

IRAD : Institut de Recherche Agricole pour le Développement

IR : Indice de récolte

ISS : Indice de Sensibilité au Stress

MINADER : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural

MP : Moyenne de Production

NCRE: National Cereals Research and Extension

NFV : Nombre de Feuilles Vertes

ONACC : Observatoire Nationale des Changements Climatiques au Cameroun

VMC : Variété Massale Blanc

VMR : Variété Massale Rouge

VC : Variété Composite

VH : Variété Hybride

VL : Variété Locale

RESUME

Cultivé dans toutes les régions du pays, le maïs demeure sans conteste une denrée de très grande importance dans l'alimentation des Camerounais. Cette culture, d'une très grande valeur, connaît beaucoup de problèmes liés surtout aux variations climatiques, aux semences de mauvaise qualité aux attaques parasitaires, et au manque de formation des agriculteurs sur les techniques de production de maïs. La présente étude a pour objectif général d'étudier l'adaptabilité de quelques variétés de maïs face au stress hydrique et aux différentes maladies en condition naturelle dans l'Arrondissement d'Awae. Pour ce faire, 118 maïsiculteurs ont été enquêtés dans 10 villages à l'aide d'un questionnaire établi. Neuf variétés de maïs (04 hybrides, 03 composites et 02 locales ont été expérimentées suivant un dispositif en bloc complètement randomisé de Fischer. Les paramètres agro morphologiques ont été mesurés, l'incidence et la sévérité de la striure et de l'helminthosporiose ont été calculées. Les résultats ont montré que les cultivateurs de maïs sont impactés à 86 % par le stress hydrique qui influence sur la productivité. En ce qui concerne les paramètres agro morphologiques, il ressort que parmi, les variétés hybrides, la LG 336 est la plus performante avec un rendement de 4,52 t/ha. En ce qui concerne les variétés composites, la CMS 8704 est la plus performante avec un rendement de 3,96 t/ha. La variété hybride (Biosem) avec un rendement de 0,85 t/ha, est la moins performante et les hauteurs des différentes variétés varient entre 1,83m et 1,95 m. Le diamètre au collet varie entre 1,83 cm et 2,14 cm. Le nombre de feuilles varie entre 13, 33 et 13,40. En ce qui concerne l'incidence et la sévérité des principales maladies, toutes les variétés ont été sensibles aux attaques des maladies . Les variétés hybrides LG 336, Biosem,5560 et CHH 101 étaient plus sensibles aux maladies que les autres variétés composites et locales. La variété hybride (Biosem) présente un niveau de sévérité de la striure et de l'helminthosporiose respectivement de 66% et 63,83%. La CMS 8704 est la variété la plus tolérante au stress hydrique. Compte tenu du niveau des rendements obtenus pour plusieurs des variétés testées face au stress hydrique, certaines variétés ont eu un bon rendement. Toutefois, il est recommandé aux agriculteurs de cultiver la variété composite CMS 8704 ; car le rendement est de 3,96 t/ha qui est supérieure aux autres variétés composites.

Mots clés : Maïs, stress hydrique, changement climatique, semences, variété, criblage, maladie, tolérance.

ABSTRACT

Cultivated in all regions of the country, corn undoubtedly remains a very important commodity in the diet of Cameroonians. This crop, of very high value, experiences many problems linked mainly to climatic variations, poor quality seeds, parasitic attacks, and lack of training for farmers on corn production techniques. The general objective of this study is to study the adaptability of some maize varieties to water stress and different diseases in natural conditions in the Awae District. To do this, 118 corn farmers were surveyed in 10 villages using an established questionnaire. Nine varieties of maize (04 hybrids, 03 composites and 02 locals) were tested using a completely randomized Fischer block design. The agro-morphological parameters were measured, the incidence and severity of the main diseases were calculated. The results showed that corn farmers are 86% impacted by water stress which influences productivity. Regarding agro morphological parameters, it appears that among hybrid varieties, LG. 336 is the most efficient with a yield of 4.52 t/ha. Regarding composite varieties, CMS 8704 is the most efficient with a yield of 3.96 t/ha. The hybrid variety (Biosem) with a yield of 0.85 t/ha is the least efficient and the heights of the different varieties vary between 1.83m and 1.95m. The diameter at the collar varies between 1.83 cm and 2.14 cm. The number of leaves varies between 13.33 and 13.40. Regarding the incidence and severity of major diseases, all varieties were susceptible to disease attacks. Hybrid varieties were more susceptible to diseases than other composite and landraces. The hybrid variety (Biosem) presents a severity level of streak and helminthosporiosis of 66% and 63.83% respectively. CMS 8704 is the variety most tolerant to water stress. Given the level of yields obtained for several of the varieties tested in the face of water stress, certain varieties had a good yield. However, farmers are recommended to grow the composite variety CMS 8704; because the yield is 3.96 t/ha which is higher than other composite varieties.

Key words: Maize, water stress, climate change, seeds, variety, screening, disease, tolerance.

INTRODUCTION

Après le blé et le riz, le maïs (*Zea mays* L.) est la céréale la plus répandue dans le monde, en jouant un rôle prépondérant dans la sécurité alimentaire des populations. Le projet du National Cereals Research and Extension (NCRE) en a introduit et diffusé de nouvelles variétés améliorées afin d'accroître son rendement. Environ 50 % de la population camerounaise vit en milieu rural avec l'agriculture comme principale activité. Les produits tirés de cette activité servent aussi bien à l'autoconsommation qu'à l'obtention de revenus monétaires. La sécheresse est l'un des facteurs abiotiques les plus préjudiciables à travers le monde. Elle peut gravement entraver la productivité des cultures agricoles. Même dans les zones tropicales, où les pluies fournissent en moyenne 2600 mm d'eau annuellement, la réserve en eau du sol peut diminuer fortement durant la saison sèche et limiter la croissance de la végétation (Cornic et Massacci, 1996).

Le maïs est parmi les cultures céréalières de premier plan dans le monde, mais il est sensible à la sécheresse. Il est affecté par cette dernière à différents stades de croissance dans différentes régions du globe. Le pouvoir germinatif, la levée, l'établissement des peuplements des plantules, la croissance et les développements globaux, le développement pollinique, le développement de la soie, l'intervalle anthèse-soies, la pollinisation, le développement embryonnaire, le développement de l'endosperme et le développement du noyau sont les événements de la vie du maïs qui sont sérieusement entravés par le stress hydrique dû à la sécheresse. Le rendement en grains de maïs est aussi une des variables la plus sévèrement contrainte par la sécheresse qui se produit pendant ou peu avant la floraison ; la période la plus vulnérable pour le maïs et les pertes varient entre 21 et 50 % (Edmeades *et al.*, 1995 ; Ashley, 1999 ; Magorokosho *et al.*, 2003).

Le déficit hydrique est une combinaison d'une absorption d'eau limitée et d'une forte demande d'évaporation. C'est le problème majeur qui affecte la production et la qualité des céréales en conditions de savane. Cependant, une étude réalisée en 2018 par l'Observatoire National des Changements Climatiques au Cameroun (ONACC) montre que dans la région du Centre, à l'échelle annuelle, les quantités de précipitations sont en baisse permanente sur la période 1950-2015, tandis que les températures minimales, moyennes et maximales sont en augmentation permanente entraînant ainsi aux stress des plantes. Le secteur agricole est fortement touché par la variabilité et le changement climatique et de la sécheresse. De même, une augmentation des températures de 2,5 °C pourrait entraîner une baisse des revenus nets de la production agricole de 0,79 milliard de dollars US. Cette augmentation de la température aurait un impact négatif important sur les terres sèches et les exploitations irriguées de la Zone d'Activité Economique (ZAE) soudano-sahélienne, entraînant ainsi des pertes économiques. Les rendements de nombreuses cultures diminueront considérablement

dans le cadre du scénario de projection climatique à fort réchauffement. Les cultures les plus touchées sont le maïs, le riz, l'arachide et le soja, dont les rendements pourraient diminuer de 17 à 29 % d'ici à 2040. Les fluctuations de ces paramètres climatiques influencent les calendriers agricoles et impactent la productivité des cultures (Anonyme, 2019). L'agriculture est le secteur dans lequel le risque relatif lié au changement climatique est le plus élevé, compte tenu de la résilience limitée des ménages, mais aussi parce qu'il est principalement pluvial, et donc très vulnérable aux perturbations climatiques.

Au regard des données de la littérature (Anonyme, 2002), peu d'étude détaillée et de données à l'échelle nationale ont été réalisées sur les impacts de la tolérance hydrique des variétés de maïs dans l'Arrondissement d'Awae et qui est pourtant un arrondissement qui fait face à un afflux de réfugiés (plus d'une centaine) en provenant du Nord-Ouest, Sud-Ouest et centre Africains qui sont de manière quotidienne dans le besoin des ressources alimentaires dont le maïs est la ressource alimentaire la plus prisée par ces populations.

Bien plus, Awae est un Arrondissement situé dans les périphériques de Yaoundé et dont à cause du boom démographique causé par le manque d'espace dans la ville de Yaoundé, les populations ont tendances à migrer vers les zones périphériques. Celles-ci développent des activités génératrices des revenus notamment l'élevage et dont les besoins en maïs se fond de plus en plus ressenties. La pertinence d'une telle étude réside dans le fait que l'accompagnement des populations de l'Arrondissement d'Awae permettra d'identifier les variétés de maïs tolérantes au stress hydrique et aux maladies ce qui impactera sur leurs revenus. Au vu de qui précède, les différentes questions de recherches suivantes ont été posées :

- comment les producteurs de maïs dans l'Arrondissement d'Awae perçoivent t'ils le stress hydrique causé par le changement climatique ?
- comment les producteurs de maïs de l'Arrondissement d'Awae perçoivent le stress hydrique causé par le changement climatique ?
- quels sont les impacts du stress hydrique sur les producteurs de maïs de l'Arrondissement d'Awae?
- quelles sont les différentes maladies rencontrées dans les champs de maïs ?

L'objectif global de travail est d'étudier l'adaptabilité de quelques variétés de maïs face aux stress hydrique et aux différentes maladies en condition de culture.

Quatre hypothèses de recherche ont ainsi été posées à savoir que : (i) les cultivateurs de maïs sont influencés par le stress hydrique causé par le changement climatique ;(ii) au moins une des variétés produites par les cultivateurs présente une bonne performance face au stress

hydrique ;(iii) les maladies sont constatées dans les champs de maïs ;(iv) certaines variétés sont plus tolérantes au stress hydrique.

Le présent travail a pour objectif général d'étudier l'adaptabilité de quelques variétés de maïs face au stress hydrique et aux maladies en condition de culture.

De manière spécifique, cette étude vise à :

- faire une enquête sur l'état phytosanitaire de la culture de maïs et sa production ;
- évaluer les paramètres agro morphologiques de quelques variétés de maïs en condition de culture en période sèche et humide ;
- évaluer l'incidence et la sévérité des principales maladies en champ ;
- déterminer les variétés tolérantes au stress hydrique .

CHAPITRE I. REVUE DE LA LITTERATURE

I.1. Généralités sur le maïs

Description botanique et écologie du maïs

Le maïs (*Zea mays* L.) est une céréale herbacée annuelle, à tallage faible à nul, du genre *Zea*, appartenant à la famille des Poacées (Graminées) tribu des Maydes. C'est la seule espèce cultivée de ce genre et la seule de grande importance économique de la tribu (Reeves et Mangelsdorf, 1942). Comme la plupart des Poacées tropicales, le maïs présente un métabolisme photosynthétique de type C4 (le premier glucide formé comportant quatre atomes de carbone), qui confère à la plante une efficacité supérieure à celle des Poacées tempérées dans la conversion de l'énergie lumineuse (Gallais, 1984 ; Gay, 1984).

C'est une plante de jours courts, qui aime les climats chauds. Il est cultivé jusqu'à 800 m d'altitude environ. Le maïs a des besoins hydriques importants. Il consomme la moitié de l'eau nécessaire à sa croissance entre trois semaines avant et trois semaines après la floraison. Donc les variétés tropicales sont souvent photopériodiques. Ce caractère Oligo génique a pu être éliminé lors de l'adaptation de l'espèce aux latitudes tempérées.

Le maïs est une plante monoïque. Il porte deux types d'inflorescence : les fleurs mâles, groupées sur une panicule terminale ramifiée, et les fleurs femelles, associées sur un ou quelques épis insérés aux aisselles des feuilles (Fig.1). Bien que le maïs soit auto fertile, l'allogamie est prépondérante et atteint 95 %. Elle résulte de la monoécie et de la protandrie de la plante. La forte allogamie du maïs entraîne la présence d'un lourd fardeau génétique dans les populations non sélectionnées, à l'origine d'une importante dépression de consanguinité et d'une forte vigueur hybride corrélative. Les hybrides issus des lignées homozygotes sont de 200 à 300 % supérieurs à leurs parents (Hallauer et Miranda, 1981)

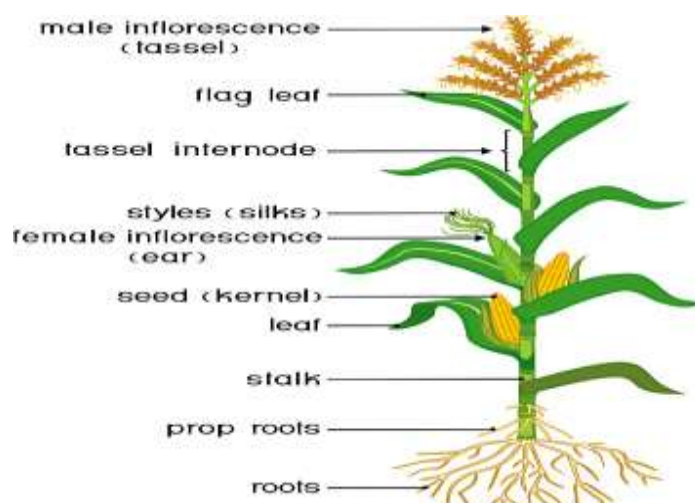


Fig. 1 : Description d'un plant de maïs adulte (Eugen Koler, 1897)

I.1.2. Physiologie du maïs

La physiologie des cultures en général et du maïs en particulier a été décrite dans de nombreuses études détaillées (Fischer *et al.*, 1987 ; Pearson et Hall, 1984 ; Hay et Walker, 1989 ; Squire, 1990 ; Evans, 1993). Les aspects de la physiologie du maïs qui peuvent être manipulés pour l'amélioration de sa production et pour la sélection des variétés comprennent plusieurs points dont les plus importants sont: la capture et l'utilisation du carbone, la répartition des matières assimilées, l'avortement à la floraison et la dessiccation du grain.

I .1.2.1.Capture et utilisation du carbone

Le maïs présente un processus de photosynthèse en C4 qui permet une réponse continue à l'augmentation des radiations jusqu'au plein soleil et ce, à de faibles niveaux de photorespiration. Ces caractéristiques correspondent à une bonne adaptation aux fortes températures et aux fortes intensités d'éclairement rencontrées dans beaucoup de régions tropicales. D'autres facteurs ayant une grande influence sur l'EC sont l'eau et la disponibilité en élément nutritifs tels que illustrés dans le

. Le taux maximal de photosynthèse chez le maïs tropical se situe entre 30 °C et 40 °C (Norman *et al.*, 1995). L'effet de la température sur l'EC (Tableau I) est relativement faible dans une plage de 20 °C à 40 °C. Toutefois, les températures en dehors de la plage d'adaptation du cultivar (en deçà de 15 °C et au-delà de 44 °C pour les maïs tropicaux de basses altitudes) peuvent réduire l'EC.

Tableau I. Quelques facteurs environnementaux affectant l'EC chez le maïs tropical de basses altitudes

Facteur	Plage de croissance linéaire d'EC Seuil pour plateau ou déclin	Bibliographie
Température	20° - 40 °C 40° - 44 °C	Hay et Walker, 1989
Irradiation	0 à la lumière solaire totale Vu à des températures < 15 °C	Hay et Walker, 1989
Contenu spécifique en N de la feuille	0,5 - 1,5 gm -2 > 1,5 gm -2	Muchow et Sinclair, 1994
Disponibilité en eau	Les niveaux critiques dépendent des conditions préexistantes. Certaines études montrent que le déclin commence -0,35 MPa.	

Source : (Lafitte, 2000)

Les radiations d'ondes couvertes journalières varient d'environ $10 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$ (radiation solaire incidente totale en mégajoule, dans une plage de longueur d'onde de 0,4 à 3 micromètres par mètre carré par jour) en région nuageuse à $25 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$ en région semi-aride et la saison sèche. Comme indiqué précédemment, en l'absence de stress, le maïs semé à forte densité peut intercepter environ 55 % des radiations totales reçues pendant la saison. Muchow (1994) a montré que pour des maïs non stressés, les efficacités de conversion varient dans une plage de 1,2 à 1,6 g de biomasse au-dessus du sol par MJ de radiation solaire interceptée. Dans des bonnes conditions d'environnement sans stress, le maïs tempéré peut avoir un taux de croissance supérieure à 500 kg/ha/j pendant des périodes de plusieurs semaines, entraînant une productivité élevée. En régions tropicales, avec des températures plus élevées et des jours plus courts, le taux de croissance maximum rencontré varie de 250 à 350 kg/ha/j (Agus *et al.*, 1983).

I.1.2.2. Répartition des matières assimilées

Le maïs, comme les autres plantes, tend à maintenir un équilibre fonctionnel entre la masse des racines et des parties aériennes de la plante. Si un des éléments tirés du sol comme l'eau ou un des éléments nutritifs vient à manquer, plus d'éléments nutritifs migreront vers la racine et la croissance racinaire sera favorisée par rapport à la partie aérienne de la plante. Dans le cas où les radiations limitent la croissance (ombre ou conditions nuageuses), plus d'éléments nutritifs seront consacrés à la croissance de la partie aérienne et le rapport racine/partie aérienne décroît. Le rendement du maïs dépend de la quantité de biomasse qui est affecté au grain. Ceci se reflète dans l'indice de récolte (IR) (IR = la masse grain par rapport à la biomasse de la partie aérienne de la plante). L'IR d'un maïs cultivé dans les conditions favorables varie de 0,2 % des variétés locales non améliorées à 0,3 - 0,4 % des variétés améliorées et plus de 0,5 % des variétés tempérées précoces. L'IR du matériel tempéré était déjà élevé dans les années 30 (environ 0,45), aussi les améliorations ont-elles plus résulté d'une augmentation de la biomasse que d'une amélioration de l'IR.

I.1.3. I.1.2.3. Avortement à la floraison

La température est le premier facteur qui agit sur le développement du maïs. Les cultivars sont classés soit précoces ou tardifs selon la somme de température nécessaire à l'accomplissement de certaines étapes de leur développement. Les besoins en température sont mesurés en somme de température cumulée au-dessus d'un minimum et au-dessous d'un optimum nécessaire pour le développement (Isaa, 2013). Ces températures sont des sommes de degré-jours. La floraison est souvent utilisée comme l'événement du développement qui caractérise un cultivar en rapport avec sa précocité. Les cultivars de régions tropicales d'altitudes paraissent avoir des besoins en température pour le développement minimum et/ou optimum, plus bas que les cultivars adaptés aux basses terres

tropicales. Le rendement dépend grandement de la quantité de radiation accumulée par la culture par unité de température par unité de temps. Une culture du maïs tropical a généralement un rendement plus bas que le maïs tempéré parce que les températures sous les tropiques sont plus élevées et qu'il accomplit son cycle en un temps plus court. De la même façon, les cultivars précoces ont des rendements généralement moins élevés que les tardifs. Quand le rendement est exprimé sur une base journalière, les rendements des cultivars précoces sont équivalents ou quelque fois supérieurs à ceux des cultivars tardifs et leur indice de récolte est souvent supérieur (Isaa, 2013). La photopériode peut aussi affecter le temps nécessaire à la floraison du maïs. Le maïs est classé comme une plante de jours courts. Après une période juvénile insensible au photopériodisme, la floraison est retardée par des photopériodes supérieures à 12,5 heures (Kiniry *et al.*, 1983).

I.1.2.4. Dessiccation du grain

Sous les tropiques, le maïs est généralement récolté vers 20 % d'humidité, c'est-à-dire à une humidité beaucoup plus basse que celle où la maturité physiologique est généralement atteinte (30 et 35 %). Dans les régions tempérées, la vitesse de dessiccation est un facteur critique pour le choix d'une variété, car la récolte doit être achevée avant l'hiver. Les variétés tempérées sont caractérisées par des spathes fines et ouvertes à maturité pour accélérer la dessiccation. Sous les tropiques, l'état sanitaire et la protection du grain sont généralement plus importants que la vitesse de dessiccation, et les maïs tropicaux sont caractérisés par des spathes épaisses et serrées avec une bonne couverture du sommet de l'épi. Les spathes ouvertes favorisent l'entrée des insectes et de maladies, ce qui peut être particulièrement dommageable quand les grains sont stockés à la ferme, dans des lieux où le contrôle de la température et de l'humidité est réduit. L'implication physiologique de ces différences est que, chez les maïs tropicaux, la spathe représente une partie importante de la matière sèche produite. Les éléments nutritifs s'accumulent dans les spathes comme ils s'accumulent dans l'épi et la panicule ; elles entrent donc en concurrence directe avec ceux-ci. Les spathes servent aussi à stocker des hydrates de carbone solubles qui peuvent être utilisés pour le remplissage du grain. L'impact relatif de ces deux rôles des spathes sur le rendement en grain n'est pas très clair (Paliwal, 2002).

I.1.3. Production du maïs

En ASS, le maïs est produit principalement pour l'alimentation humaine, soit frais ou produit transformé. En outre, le maïs est produit pour l'alimentation animale et les utilisations industrielles telles que l'amidon, la farine, l'éthanol, le sirop de cuisson et croustillante. Selon le FAOSTAT (2013) un total de 885,3 millions de tonnes métriques de maïs a été réalisé à travers le monde. Sur ce total, l'Afrique a contribué à 65,7 millions de tonnes soit 7,2 %. La faible contribution de l'Afrique à la production de maïs est principalement due au faible rendement moyen par unité de surface, au

manque de connaissances scientifiques et pratiques adéquates (Law-Ogbomo et Remison, 2008) et à la faible utilisation de fertilisants (Fakorede *et al.*, 2001). Selon l'étude réalisée par CIMMYT (2009), la demande pour le maïs dans les pays en développement dépassera celle de blé et de riz à l'horizon 2020. Par ailleurs, entre les périodes 1995 et 2020 la consommation mondiale et de l'Afrique subsaharienne du maïs devrait augmenter de 50 % et 93 % respectivement, indiquant l'importance de la culture à la fois en Afrique et dans le monde.

Il est important de cultiver le maïs après la jachère suivie d'un enfouissement des matières organiques. Les meilleurs précédents culturels sont pour ainsi dire les légumineuses, telles que l'arachide, les pois, le niébé pour augmenter la teneur du sol en azote et en d'autres éléments nutritifs ; les tubercules et les racines tels que la pomme de terre ou le manioc pour faciliter un meilleur enracinement du maïs (CTA/ISF, 2012).

I.1.3.1.Culture et fertilisation

I.1.3.1.1. Culture du maïs

Le maïs présente une large diversité agro-morphologique. Son cycle du semis à la maturité varie de deux à onze mois, le nombre de ses feuilles de 8 à 48, la hauteur de sa tige de 0,6 à 6 mètres. Certaines variétés produisent plus de quatorze talles par plante. L'épi, long de 2,5 à 30 centimètres, peut comporter 8 à plus de 20 rangées de grains). La couleur des grains va du blanc au noir, en passant par le jaune, l'orange, le rouge, le vert et le bleu. Les rendements moyens sont de l'ordre de 0,5 tonne par hectare dans les zones défavorables, mais atteignent plus de 12 tonnes par hectare dans les plaines du Middle West américain ; le record mondial étant de 25 tonnes par hectare. Malgré cette diversité, toutes les variétés de maïs appartiennent à la même espèce et sont inter-fertiles (Paliwal, 2002). Le maïs possède une plasticité adaptative remarquable, qui, associée à un potentiel de production supérieure à celui des autres céréales, explique son succès dans les pays développés. Après les Etats-Unis, il a conquis des vastes étendus en Europe, et progresse à présent être en plein soleil pour que soit garantie une photosynthèse efficace. Ainsi, la durée du jour et l'ensoleillement déterminent la période de croissance. Généralement, chaque cultivar est adapté aux contraintes spécifiques de l'endroit où il est cultivé. Des températures élevées sont requises depuis le semis jusqu'à la floraison, tandis que durant la maturation, des conditions un peu plus fraîches peuvent être acceptées.

La mise en place de la culture se débute généralement par une bonne préparation du sol. Le sol doit être suffisamment aéré, homogène et profond. Il faut semer sur le sol après un labour, permettant l'amélioration structurale du sol, la destruction des adventices... (Agriconomie, 2017). Le semis entraîne l'utilisation de 15 à 25 kilogrammes de semences à l'hectare. Il se fait généralement en ligne sur des billons ou à plat à environ 3 à 4 cm de profondeur. Une distance de plantation de 0,80 m entre les lignes et 0,50 m entre les poquets est généralement recommandée. Il est important de respecter les

dates de semis qui se situent en début des saisons de pluie pour que la culture puisse bénéficier d'une bonne pluviométrie et d'un ensoleillement suffisant pendant la croissance (Anonyme, 2012).

I.1.3.1.2. Fertilisation du maïs

Une culture du maïs qui produit quatre tonnes de grains nécessite environ 100 kg d'azote (N), 18 kg de phosphore (P) et 68 kg de potasse (K) (Sanchez, 1976). Les besoins du maïs pour boucler son cycle sont approximatifs aux valeurs des éléments fertilisants nécessaires pour le rendement escompté.

Tableau II. Les besoins en minéraux du maïs pour boucler le cycle

Elements majeures	Elements traces	Kg/ha	G/ha
N	B	240	75
P205	Cu	90	90
K205	Zn	270	600
Ca 0	Mn	60	1800
Mg0		40	
SO2		65	

Source: (Anonyme, 2005)

Chacun de ces éléments joue son rôle pour la culture. Un apport optimum de ceux-ci contribue à atteindre le meilleur rendement. L'apport de l'azote influence non seulement la croissance juvénile du maïs mais également sa teneur en azote brute digestible en fin de saison ; le phosphore intervient dans le mécanisme de la maturation et influencera donc directement la teneur en matière sèche ; quant à la potasse, elle conduit à la formation de l'épi et des grains. Le maïs a un développement très rapide, l'élément fertilisant doit donc être disponible au moment où la plante en a besoin. La majeure partie des éléments nutritifs est prélevée durant la période relativement courte qui couvre la formation de l'épi et plus précisément 10 jours avant l'apparition des fleurs jusqu'à 25 à 30 jours après. Durant cette période, la plante absorbera 70 % à 75 % d'azote et 2/3 de ses besoins en phosphore et potasse. On estime que l'absorption des éléments majeurs se répartit sur la saison ().

Tableau III. Absorption des éléments majeurs au cours d'une saison

Absorption d'éléments (%)				
Elements majeurs	1^{er} mois	2^e mois	3^e mois	4^e mois
N	faibles	40	50	10
P	faibles	25	50	25
K	faibles	70	30	-

Source:(Anonyme, 2005)

Le système racinaire est capable d'absorber d'éléments nutritifs pendant tout le cycle de la plante, mais le taux d'absorption décroît pendant la fin du remplissage des grains, en raison de la sénescence des feuilles de la base de la plante. La réponse du maïs à la fertilité azotée est généralement positive et linéaire jusqu'à un taux d'absorption relativement plus élevé que pour les autres cultures.

I.1.3.1.3. Besoins en eau

Seuls quelques trois pourcents de radiations incidentes arrivant sur la culture sont utilisées pour la photosynthèse. Une partie de l'énergie restante chauffe le feuillage et cette chaleur est dissipée par la transpiration (évapotranspiration d'eau par les feuilles). Un millimètre d'eau est évaporé par 2,4 MJ de radiation solaire. Un maïs bien arrosé transpire environ 350 g d'eau par gramme de matière sèche produite au-dessus du sol (Hayet Walker, 1989) auxquels il faut ajouter l'eau évaporée par le sol. Le grain constitue une fraction de la matière sèche produite, ce qui signifie qu'une culture bien arrosée utilise de 800 à 1000 g d'eau par gramme de grain produit.

Comme le dioxyde de carbone pénètre dans les feuilles à travers la même ouverture (les stomates) que l'eau quittant les feuilles, il existe une bonne relation entre la quantité d'eau transpirée et la matière sèche produite par la culture. Des facteurs environnementaux ont une action sur le degré d'ouverture de stomate, permettant ainsi une diminution de la quantité d'eau perdue par la culture. En fonction des radiations, de température et d'humidité relative, une culture de maïs transpirant librement, transpire environ 80 à 90 % de l'évaporation potentielle. Dans ces conditions, la température de la feuille est généralement légèrement inférieure à celle de l'air et la quantité d'eau utilisée par la transpiration par unité de surface de la culture. Quand la transpiration est réduite par la fermeture des stomates, la culture se déconnecte de l'environnement (Jones, 1993) ; la température de feuilles augmente alors, ce qui peut avoir des effets nocifs sur le métabolisme de la plante. De plus, une fermeture prolongée des stomates réduit la quantité de CO₂ disponible pour la photosynthèse, diminuant ainsi l'efficacité de conversion. Les facteurs environnementaux affectant la fermeture des stomates sont l'humidité du sol et la demande de transpiration. Le maïs demande beaucoup d'eau,

en raison de la grande quantité de matière organique produite lors de la croissance. Le besoin en eau de maïs cultivé dans les plaines est d'au moins 500 mm de précipitations bien réparties tout au long de la saison (Norman *et al.*, 1995).

I.1.4. Stress abiotiques affectant la culture du maïs

I.1.4.1. Stress hydrique et symptômes

Le déficit hydrique est une contrainte permanente de la production agricole. Il est à l'origine des pertes de production agricole dans de nombreuses régions. Les risques du manque d'eau sont et deviendront de plus en plus fréquents et persistants, à l'avenir, par suite des changements climatiques causés par l'effet de serre (Witcombe *et al.*, 2009). Passioura (2004) définit le déficit hydrique comme étant les circonstances dans lesquelles les plantes accusent une réduction de croissance et de production suite à une alimentation hydrique insuffisante dite stress hydrique. Plusieurs symptômes sont observés :

I.1.4.1.1. Avant floraison

Avant la floraison, on observe souvent :

- l'enroulement des feuilles du cornet. La plante se protège en fermant ses stomates pour limiter l'évapotranspiration ;
- la coloration bleue des feuilles du cornet

I.1.4.1.2. A la floraison

Au moment de la floraison, on peut avoir :

- un retard de la floraison femelle ;
- un problème de fécondation ;

Dans le cas de stress hydrique ou thermique sévères (Fig .2A), le délai entre l'émission du grain de pollen et l'émergence des soies (intervalle de floraison) augmente et en conséquence, une faible quantité de grain de pollen viable au moment où les soies sont réceptives et donc une fécondation réduite. Selon la période de stress, l'épi peut présenter une bonne fécondation à la base et faible au sommet, ou une répartition dispersée des grains .

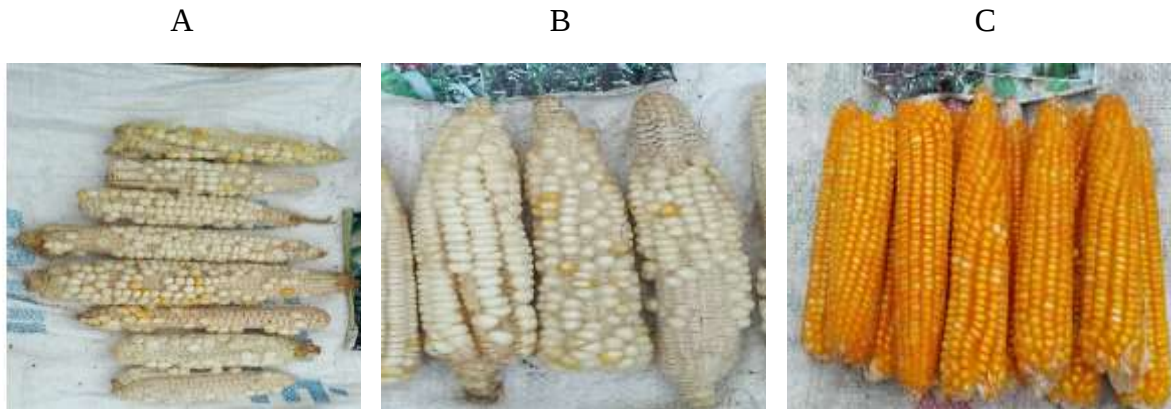


Fig. 2 : Remplissage des grains sur épi en fonction du niveau de stress (A= Stress sévère, B=Stress modéré, C= Sans stress).

I.1.4.1.3. Après la floraison

Généralement après la floraison, face à un stress hydrique, on peut avoir :

- un avortement des grains ;
- l'échaudage des grains du haut de l'épi(Fig.3A) ou quelques fois sur ou plusieurs rangs(épi en banane) (Fig .3B) ;
- la perte de PMG.

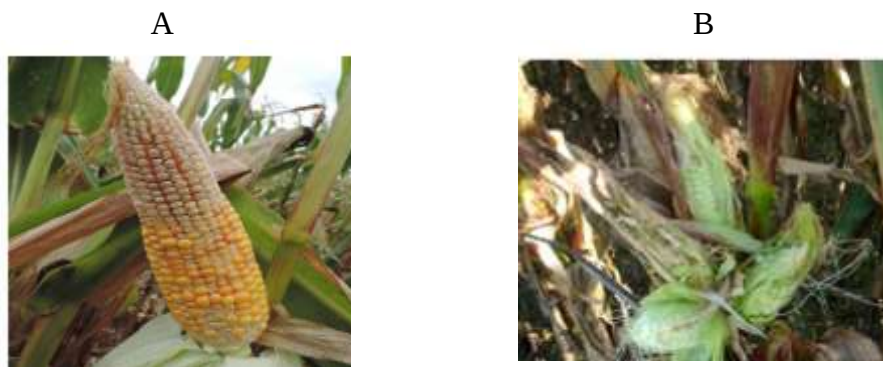


Fig. 3 : Conséquence du déficit hydrique au moment de floraison (A=Echaudage des grains ,B=Epis en banane)

I.1.4.1.4. Situation à risque

- petites terres et toutes les situations non ou mal irriguées, à faibles réserve hydrique
- semis de maïs après précédent récolte tardive
- semis de maïs après précédent récolte tardive

La Fig. 4 montre l'évolution de perte de rendement par jour de stress hydrique à différentes époques de saison. Les pertes sont plus importantes lorsque la plante est fortement stressée au moment de floraison femelle.

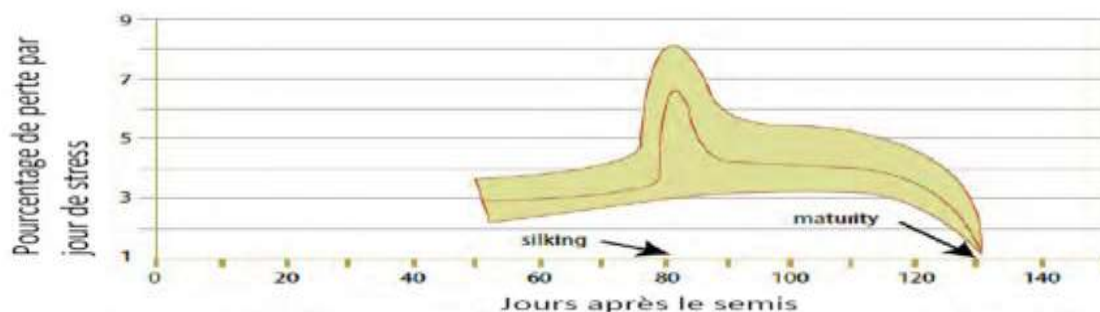


Fig. 4 : Pourcentage de perte de rendement par jour de stress hydrique à différentes époques de la saison (Source (Jean-Marc, 2015)).

I.1.4.2. Stress azoté et phosphoré

Le déficit du sol en azote est presque universel sous les tropiques exceptés dans les terres neuves (Sanchez, *et al* 2006). Cela signifie que les besoins en azote de la culture doivent être satisfaits par l'addition d'engrais organiques ou inorganiques. Le maïs répond bien à l'azote. Le manque d'azote est, après la sécheresse, la deuxième contrainte pour la production du maïs tropical. Même quand l'azote du sol est disponible, la compétition des mauvaises herbes peut conduire à un déficit en azote de la culture. Le manque d'azote nécessaire à la formation structurelle et enzymatique des protéines a pour conséquence immédiate une réduction de la croissance des feuilles et des grains. La conversion des radiations interceptées en matière sèche est aussi affectée.

Le premier symptôme visuel d'un déficit en azote se manifeste par une croissance réduite de l'appareil végétatif, suivi d'un jaunissement et parfois sénescence des feuilles les plus basses (Lafitte, 2000). Si la fourniture totale d'azote au grain descend en-dessous d'un certain niveau, le flux d'hydrates de carbone est aussi affecté (Below, 1997).

Le déficit en P est souvent observé dans les sols acides. Une fixation de P dans des formes peu solubles est courante dans les sols tropicaux, et on estime qu'elle est une contrainte dans 36 % de surfaces agricole tropicales (Sanchez, Nicholaides et Couto, 1977). Le déficit en phosphore se manifeste par une croissance réduite, un rougissement des feuilles et petite taille de l'épi (Fig. 5). Il entraîne l'apparition de bandes blanchâtres près de la base des feuilles en cours de croissance et la réduction de leur croissance (Lafitte, 2000).

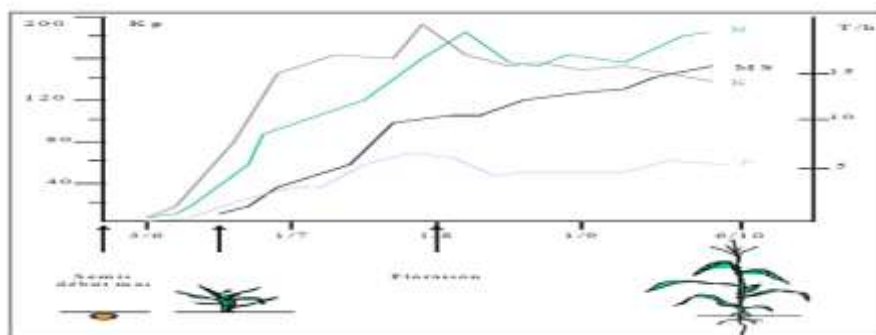


Fig. 5 : Evolution du rendement en matière sèche et absorption des éléments fertilisant N-P-K.

Source : (C.I.P.F. JFr. Oost, 2005)

I.1.4.3. Stress thermique

Le seuil mis en cause dans le cas du stress des hautes températures est variable en fonction du stage végétatif de la plante et de l'interaction avec le stress hydrique. Rawson *et al.* (1993) montrent que l'effet pénalisant de l'élévation de la température est surtout dû au fait que la plante n'arrive pas à absorber les éléments nutritifs et l'eau, et les utiliser, au rythme imposé par le stress thermique. On note une réduction du nombre de plantes levées par unité de surface, suite aux effets des hautes températures lors de la période du semis. L'effet des hautes températures au semis se matérialise par une réduction de la longueur de la coléoptile. La plante ne peut, alors, s'ancrer en profondeur et devient sensible aux effets du stress thermique.

Hauchinal *et al.* (1993) ont observé une réduction du rendement grain des semis tardifs, liée à une diminution du nombre d'épis et du poids moyen du grain, causée par les effets des hautes températures en fin de cycle. Ils ont noté aussi que l'effet pénalisant du stress thermique se matérialise par une accélération du développement et une réduction des dimensions des organes constitutifs de la plante. La résultante est un effet négatif sur la productivité globale de la plante.

L'élévation de la température, tard au cours du cycle de développement de la plante et particulièrement après l'anthèse, est une contrainte à l'augmentation des rendements en zone semi-aride. L'effet se manifeste par une accélération de la sénescence foliaire et l'arrêt de la croissance du grain (Haddad, 2010). La température optimale pour le développement et le remplissage du grain des céréales d'hiver varie de 12 à 15 °C (Wardlaw et Willimbrink, 1994). On note une diminution de 3 à 5 % du poids du grain pour chaque degré centigrade d'augmentation de la température à partir de la base des 15 °C.

I.1.4.4. Stress salin

Munns *et al.* (2006) mentionnent que le feuillage d'un plant soumis au stress salin est affecté dès l'imposition du stress par l'effet du manque d'eau et non par l'effet ionique du sel. Les effets

ioniques ne sont visibles que 7 à 10 jours après imposition du stress salin. Dans le cas où le niveau de stress est intense et que la plante possède une faible capacité d'exclusion des ions mis en cause (Na^+ et Cl^-) les effets apparaissent sur les feuilles âgées où les ions Na^+ et/ou Cl^- s'accumulent dans le cytoplasme et induisent l'inhibition enzymatique.

Ils affectent aussi la structure de la membrane, déshydratent la cellule après que la vacuole soit fortement concentrée. Les mécanismes contrôlant la tolérance sont de deux types : ceux minimisant l'entrée des ions toxiques et ceux minimisant l'accumulation des ions toxiques dans le cytoplasme. Les espèces halophytes possèdent les deux mécanismes. Elles excluent les ions toxiques et les compartimentent aussi dans la vacuole où ils font le moins de dégâts. La salinité devient de plus en plus un important facteur limitant la production des végétaux dans les zones arides et semi-arides. La tolérance à ce type de stress est considérée comme une caractéristique quantitative sous contrôle génétique de gènes mineurs (Cuin *et al.*, 2008). L'amélioration de la résistance à ce type de stress selon le processus de sélection classique est peu efficace (Houshmand *et al.*, 2005). Des stratégies alternatives sont recherchées dont entre autres la production des plantes transgéniques (Moose et Mumm, 2008) ; la régénération de plantes acquérant la tolérance à la salinité après sélection *in vitro* (Bouharmont, 1989).

I.1.4.5. Similitude entre les stress abiotiques

L'ensemble des stress, qu'ils soient de nature thermique, hydrique ou saline, provoquent des modifications de l'état physique des membranes cellulaires. L'intégrité des canaux membranaires est rompue, ce qui entraîne la de compartimentation et la fuite de solutés. L'assemblage des protéines des systèmes respiratoires, des photosystèmes et des systèmes métaboliques est déstructuré (Cattivelli *et al.*, 2008).

Sous l'effet de ces stress, la perte d'eau entraîne une augmentation de la concentration en soluté du cytoplasme provoquant ainsi un abaissement de son point de fusion de 1 à 2 °C (Burke *et al.*, 1976). La synthèse de nouvelles protéines constitue une réponse connue à ces stress. En effet, l'induction de nouvelles protéines n'est pas limitée au choc thermique (Heat shock proteins), d'autres stress, y compris ceux provoqués par des températures basses, le déficit hydrique, la salinité et l'anoxie, induis artificiellement par du PEG (polyéthylène glycole), provoquent aussi la synthèse de nouvelles familles de protéines (Cattivelli *et al.*, 2008).

I.1.4.6. Mécanismes d'adaptation des plantes aux stress abiotiques

L'adaptation se définit comme la capacité d'une plante à croître et à donner des rendements satisfaisants dans des zones sujettes à des stress de périodicités connues. La notion d'adaptation est

liée à celles de résistance et de tolérance aux stress. Pour Levitt (1980), l'adaptation prend trois formes distinctes, à savoir :

- **l'esquive** : qui est la situation où la plante, grâce à un rythme de développement spécifique, réussit à s'harmoniser à l'environnement de production, en échappant partiellement ou complètement au stress ;
- **l'évitement** : prend forme grâce au maintien, par divers mécanismes, d'un état interne satisfaisant. Cet état permet à la plante de continuer ses activités métaboliques sans être fortement perturbée par le milieu extérieur qui peut être très stressant ;
- **la tolérance du stress** : qui s'installe dans les tissus de la plante est la capacité de maintenir une activité métabolique. Cette activité assure l'intégrité fonctionnelle aux structures cellulaires et autorise la reprise des activités de la plante dès que les conditions de croissance redeviennent plus normales.

I.1.4.6.1. Esquive ou échappement

L'exploitation de l'esquive comme stratégie d'adaptation aux stress s'est faite dans le contexte agricole en cherchant à faire coïncider le développement de la culture ou du moins les phases les plus sensibles avec les périodes où le stress est moins intense. Ceci s'est fait par des études de l'influence de la variabilité de la durée des phases de développement sur la productivité de la plante, dans le but de déduire la durée la plus optimale pour que les stades sensibles puissent se réaliser à des périodes où les risques de stress sont moins pénalisants (Witcombe *et al.*, 2009).

Parmi les changements qualitatifs que subit la céréale pendant sa vie, les plus importants sont certainement le début de la montaison et l'épiaison. Blum (1996) souligne qu'une longue durée de croissance est associée avec une biomasse élevée et que les génotypes tardifs ont une productivité potentielle supérieure. Cependant, comme la sécheresse et les hautes températures de fin de cycle sont des caractéristiques dominantes des zones semi-arides, il est souvent plus judicieux de privilégier la sélection de la précocité (esquive), suite à la liaison positive entre degré de précocité au stade épiaison et rendement grain sous de telles conditions de culture (Richards *et al.*, 2002 ; Araus *et al.*, 2003).

I.1.4.6.2. Evitement de la déshydratation des tissus

L'évitement représente la capacité du génotype à maintenir un statut hydrique ou thermique foliaires élevé quand il est soumis aux stress. Dans le cas du stress, l'évitement est lié à la réduction des pertes en eau par fermeture partielle ou totale des stomates ou au maintien de l'absorption de l'eau, grâce à un système racinaire mieux adapté (Richards *et al.*, 1997). Dans le cas du stress thermique, il est lié à la réduction de la température de la canopée (Reynolds *et al.*, 2005).

La sénescence foliaire est un mécanisme qui intervient au niveau de la plante entière pour réduire des effets de stress. Bensemane *et al.* (2011) trouvent des différences dans le rythme de sénescence de la feuille étendard.

La capacité de modifier la composition en chlorophylle des feuilles, mesurée par le rapport des chlorophylles de type a et b, a un effet sur la proportion de la lumière incidente. Dès que les conditions de croissance deviennent moins favorables, avec l'installation des stress, la plante reconvertit une partie de la chlorophylle a en chlorophylle b (La chlorophylle b est une forme de chlorophylle de couleur jaune qui absorbe essentiellement la lumière bleue et qui est davantage soluble en milieu aqueux de la chlorophylle a en raison de son groupe carbonyle). Elle prend de ce fait une couleur moins foncée, (vert clair) permettant de réfléchir la luminosité reçue et par conséquent de réduire la température foliaire et la transpiration (Reynolds *et al.*, 2005).

I.1.5.3. Résistance à la déshydratation des tissus

Le facteur clé de la plante, lié à l'efficacité de la transpiration, est le rapport de la pression partielle du CO₂ dans la chambre sous stomatique et à celle de l'atmosphère. L'activité photosynthétique est la seule cause de la variation du CO₂ interne, son augmentation réduit le ratio [CO₂ interne] / [CO₂air], et par conséquent la quantité de carbone fixée par unité d'eau utilisée, ou efficacité d'utilisation de l'eau augmente (Ehdaie *et al.*, 1991). La variation du rapport [CO₂interne] / [CO₂air] est liée à la variation de la composition d'isotopes de carbone constituant la matière sèche dite discrimination isotopique.

Cette dernière représente le rapport molaire des isotopes de carbone ¹³CO₂/¹²CO₂ ou ¹³C/¹²C. La discrimination des isotopes du carbone se fait à différents niveaux de la plante. Le CO₂ dans l'atmosphère comprend typiquement 98,9 % de ¹²C et 1,1 % de ¹³C. Les plantes absorbent le ¹²CO₂, plus léger, à un rythme plus rapide que le ¹³CO₂, plus lourd. Ceci s'explique, en partie, par la diffusion plus lente de ¹³CO₂ à travers les pores stomatiques et aussi à cause de la discrimination contre le ¹³CO₂ par l'enzyme de la carboxylation primaire, la ribulose biphosphate carboxylase/oxygénase (Rubisco).

I.1.5. Importance du maïs dans l'alimentation

L'attractivité de maïs comme aliment de base est largement due à son rôle diversifié comme une source de nourriture pour les humains et les animaux. La suite du traitement conduit à son utilisation comme épaississants alimentaires, des édulcorants et des huiles. La consommation annuelle du maïs par habitant en Afrique australe va de 138kg à 195kg au Swaziland en Afrique du Sud (Anonyme, 1999), tandis qu'en Afrique orientale elle varie de 40 kg au Burundi à 105 kg au

Kenya. En Afrique le maïs est cultivé par les agriculteurs de petite et moyenne dimension qui cultivent 1 ha ou moins dans des conditions de systèmes d'intrants extrêmement faibles avec des rendements moyens du maïs à 1,3 tha -1 (Bänziger et Diallo, 2004). Les pays d'Afrique subsaharienne ne produisent pas assez de maïs pour répondre à leurs besoins et doivent donc importer environ trois millions de tonnes de maïs par an. L'Afrique du Sud conduit la production de maïs du continent, suivie par le Nigéria (Tableau IV). Le rendement moyen par unité de surface est de 5,2 tonnes ha -1 pour le total mondial, 1,9 tonne ha -1 pour l'Afrique en 2011 (Anonyme, 2013). L'exception est l'Egypte, où le système de production est soutenu par l'irrigation (Anonyme, 2010).

Tableau IV. Grands producteurs de maïs en Afrique entre 2000 et 2014

Rang	Pays	Production Moyenne (t)
1	Afrique du sud	10779550,47
2	Nigeria	6899382,4
3	Egypte	6821572,067
4	Ethiopie	4289951,133
5	Kenya	2950767,6
6	Malawi	2729973,4
7	Ouganda	1830860,4
8	Zambie	1741824,933
9	Ghana	1433214,467
10	Mozambique	1394519,8
11	Cameroun	1273427,067
12	RD Congo	1203750,533
13	Zimbabwe	1156081
14	Benin	944860,7333
15	Burkina Faso	916176,9333

Source : (Anonyme, 2014)

Contrairement au monde développé où le maïs est principalement produit pour l'alimentation animale, la consommation humaine du maïs en ASS est estimée à environ 70 % (Aquino *et al.*, 2001). La recherche indique que 20 % des calories alimentaires mondiales et 15 % de toutes les protéines vivrières sont fournies par le maïs. Cependant, la qualité du maïs normal et la plupart de protéine de céréales est pauvre, car elle manque des acides aminés essentiels, la lysine et le tryptophane (Bhatia et Rabson, 1987).

La carence en acides aminés essentiels dans le maïs normal provoque une grave malnutrition en protéines et des problèmes connexes pour les personnes ayant des besoins élevés en protéines, par exemple, les jeunes enfants, les femmes enceintes ou allaitantes et les malades dans les communautés où le maïs est un aliment de base et souvent une source majeure de protéine (Pixley et Bjarnason, 2002). En Afrique subsaharienne où le système de culture du maïs est dominant, le taux de malnutrition en particulier pour les enfants d'âge pré scolaire est élevé. Hyman *et al.* (2008) ont rapporté que la prévalence du retard de croissance est de plus de 40 % dans les zones où le maïs est un régime dominant. En outre, la proportion de personnes pauvres (qui vivent en dessous de 2 \$US par jour) dans les communautés agricoles de maïs de l'ASS est d'environ 65 % (Wood *et al.*, 2010) ce qui implique que les sources de protéines comme la viande, le lait et les œufs sont inabondables.

I.1.6. Contraintes de la culture du maïs

Au Cameroun comme en Afrique Subsaharienne, plusieurs facteurs biotiques et abiotiques limitent la production du maïs et de la productivité (Badu-Apraku *et al.*, 2003). Les facteurs biotiques limitant la production de maïs dans la région comprennent les insectes nuisibles, les maladies et les mauvaises herbes parasites. Les principaux facteurs biotiques et abiotiques limitant la production de maïs vont de la fécondité à la sécheresse de sol, et ceux parmi les défis les plus importants de la production de maïs, la sécurité alimentaire et la croissance économique de l'Afrique (Anonyme, 2003 ; Bänziger et Diallo, 2004). Des faibles niveaux d'azote (N) dans les sols comme un facteur majeur limitant le rendement retrouvé souvent dans les champs des agriculteurs dans les tropiques où les engrais ne sont pas couramment utilisés et de la matière organique est rapidement minéralisée.

La majorité des agriculteurs dans les tropiques produit du maïs dans des conditions pluviales et sont vulnérables à la sécheresse. Bien que la sécheresse à toute étape de la croissance et du développement des cultures affecte la production, le plus grand impact se produit autour de la floraison (Edmeades *et al.*, 1992). L'incidence de stress hydrique dans la culture du maïs devrait augmenter en partie due au changement climatique et le déplacement du maïs à des environnements marginaux par les cultures à haute valeur ajoutée (Bänziger *et al.*, 2000). L'adoption de cultivars

utilisant plus efficacement l'azote ainsi que tolérant les sécheresses récurrentes que connaît une région pourra atténuer les défis de stress abiotiques dans la culture du maïs (Diallo *et al.*, 2004).

I.1.7. Place du maïs au Cameroun

Le maïs est la céréale la plus consommée au Cameroun (Tableau V). La production nationale annuelle est estimée à environ 2,3 millions de tonnes. Cet écart impose de recourir aux importations de maïs et ses autres dérivés. Chiffrées à plus de 150 milliards pour l'année 2020, avec pour corollaire un impact négatif sur la balance commerciale du pays. Au demeurant, le Cameroun destine la majeure partie de sa production de maïs à la consommation des ménages. Selon les détails fournis par une étude du Bureau de mise à niveau des entreprises (BMN), présentée le 25 août 2021 à Douala, l'autoconsommation représente 58 % de la production locale, contre respectivement 16 et 2 % pour l'alimentation animale et les agro-industries, dont les opérateurs sont les plus gros importateurs de cette céréale (Mbodiam, 2023).

Tableau IV. Production des céréales au Cameroun en fonction des années

Groupes	Cultures	2015	2016	2017	2018	2023
	Maïs	2 070 572	2 164 003	2 187 570	2 199 127	2 000 003
	Riz	278 281	359 320	339 076	313 678	
Céréales	Mil/Sorgho					
		1 040 902	1 095 779	1 138 243	1 232 490	

Source : Anonyme, 2023

1.1.6.2. Contraintes de la production du maïs

1.1.6.2.1. Maladies du maïs et modes de traitement

La culture du maïs est sujette à de nombreuses maladies dont les principales sont :

1.1.6.2.1.1. Charbon commun du maïs

Il est une maladie du maïs causée par un champignon pathogène *Ustilago maydis* il forme des tumeurs blanches sur les épis du maïs et qui éclatent à maturité libérant une poussière noire abondante (spores). Les dégâts sont proportionnels à la taille des tumeurs. Une petite tumeur n'a qu'une faible incidence sur la plante alors qu'une tumeur de la taille du poing la rend presque toujours stérile (Fig .6A).

La lutte : Eliminer les plants présentant les symptômes de la maladie, traiter les semences avec un fongicide et utiliser les semences certifiées.

C'est une maladie fongique mais causée par *Puccinia sorghi*. Son développement est favorisé par des températures de l'ordre de 17 à 23 0C et une humidité relative de 100 %.

1.1.6.2.1.3. Helminthosporiose

C'est une maladie dont l'agent causal est le champignon *Helminthosporium turcicum*. Une température allant de 17 à 27 C et une humidité relative allant de 90 à 100 % est favorable à son développement (Fig .6B).

1.1.6.2.1.4. Anthracnose

C'est une maladie cryptogamique qui affecte les cultures de maïs (Fig .6C). Elle est causée par un champignon, *colletotrichum graminicola* qui se manifeste d'abord par des taches brunes sur la surface inférieure des feuilles, puis qui s'étend dans les tiges et qui finit par provoquer la verse de la culture. Un climat chaud, humide et pluvieux favorise l'extension de cette maladie, contre laquelle il n'existe pas de traitement fongique efficace.

1.1.6.2.1.5. Virus de la striure du maïs ou MSV (Mays streak virus)

C'est un phyto virus pathogène des cultures de maïs (Fig .6D). Ce virus est transmis par des insectes Cicadelle (*Cicadulina mbila*) mais d'autres espèces de cicadelles sont également capable de transmettre la maladie comme *Cicadulina storeyi*, *Cicadulina arachis* et *Cicadulina dabrowski*.

Méthodes de lutte : Utilisation des variétés résistantes, Eliminer les plants de maïs présentant les symptômes de la maladie développement est favorisé par des températures allant de 11 à 32 0C, par des temps pluvieux et des inondations.

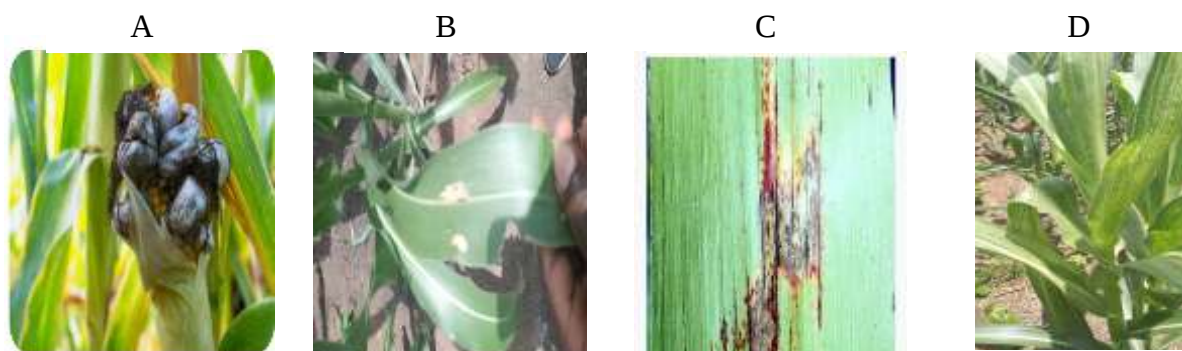


Fig. 6 : Symptômes des maladies rencontrées en champs et au laboratoire (A=Charbon du maïs champ, B=Helminthosporiose, C= Anthracnose, D=Striure du maïs).

1.1.6.2.1. Ravageurs du maïs et moyens de lutttes

Le maïs comme toutes autres cultures dispose de plusieurs ennemis (ravageurs) à savoir :

1.1.6.2.2.1. Criquets :

Les criquets (Fig.7A) causent de nombreux dégâts sur la culture du maïs tels que perte des feuilles, réduction de la surface foliaire (réduction de l'effet photo synthétique) et la baisse du rendement. Pour pallier à ces problèmes, on utilise un insecticide homologué, maintient la propreté dans le champ pour éloigner les criquets et labourer ou biner le sol pour détruire les œufs.

1.1.6.2.2.2. Foreurs de tiges du maïs

Comme son nom l'indique les foreurs (Fig.7B.) causent de nombreux dégâts sur les tiges et épis du maïs entraînant une perte directe de la production potentielle variant entre 25 et 55 %. L'agent responsable de ces dégâts est *Busseola fusca* et *Eldana saccharina*. Comme moyen de lutte nous avons : la destruction des résidus des plantes après récolte pour tuer les ravageurs qui s'y trouvent, associer le maïs avec des légumineuses (arachide, haricot et soja).

1.1.6.2.2.3. Termites

Les termites (Fig.7C.) des insectes parfois surnommés fourmis blanches vivant dans le sol qui causent de nombreux dégâts sur la culture du maïs. Ces dégâts la peuvent être entre autres ; la réduction du nombre de plants en champs et la baissent du rendement. Comme traitement, il est recommandé d'utiliser un insecticide en cas d'attaque sévère.

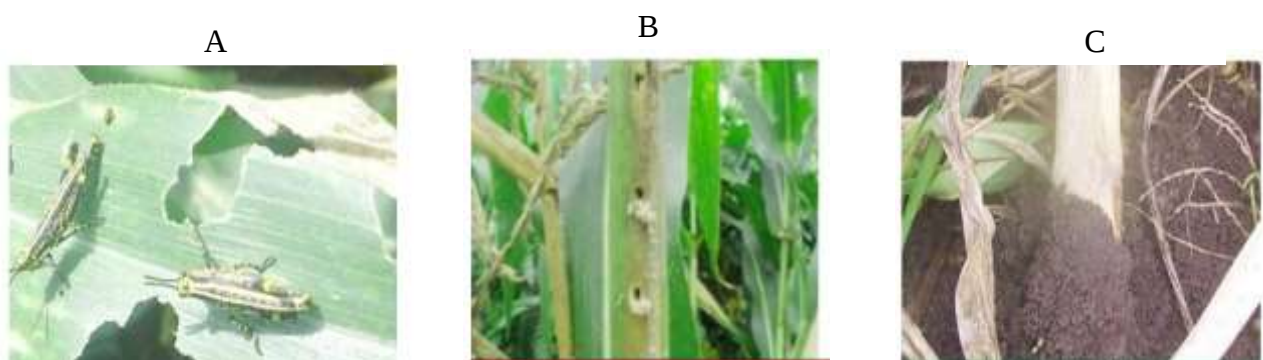


Fig. 7 : Quelques ravageurs de maïs en champ (A = Les criquets, B = Les foreurs sur la tige du maïs, C = Les termites).

CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES

II.1. Matériel

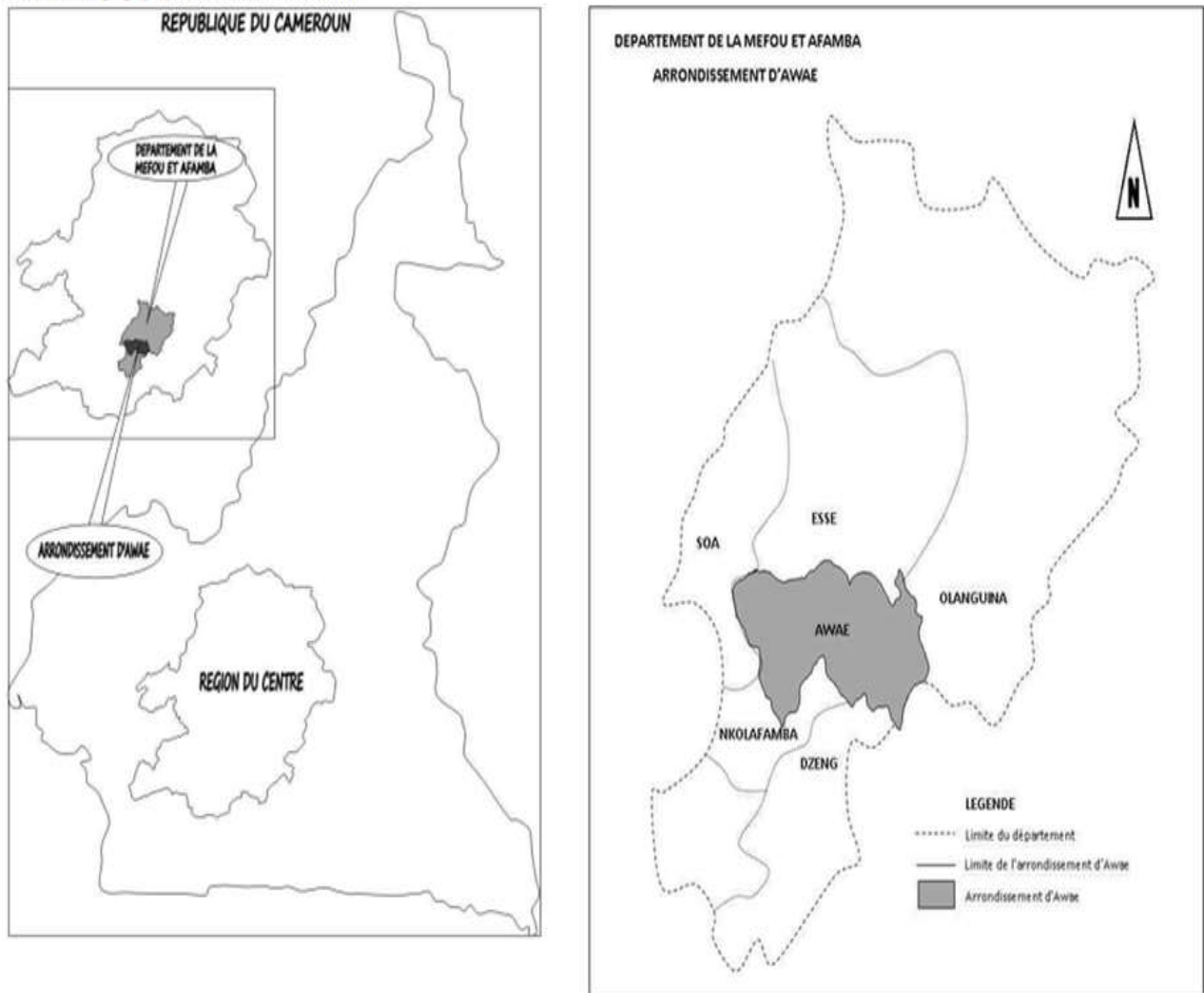
Zone d'étude

L'Arrondissement d'Awaé est situé entre le 3°47'00'' et le 3°58'30'' de latitude Nord et 11°40'00'' et le 12°10'00'' de longitude Est. L'Arrondissement d'Awaé présente un relief de pénéplaines. On y rencontre des pentes douces séparées par les vallées à fond plat. L'altitude moyenne d'Awaé est de 780 m et ses sols sont ferrallitiques rouges (Anonyme, 2013). Ces caractéristiques physiques conviennent pour l'essentiel aux exigences de la culture de l'ananas. Awaé fait partie de la Région du Centre du Cameroun et plus précisément du département de la Mefou et Afamba (Fig. 8). Sa population est évaluée à 15 888 habitants en 2005 (Anonyme, 2010). Cette population est essentiellement composée de communautés autochtones Mvele et d'immigrants venus de différentes régions du Cameroun et des pays voisins. Les densités humaines y sont relativement faibles (18 hab/km² soit près de la moitié de la densité moyenne du pays. Cette faible densité s'ajoute à un régime foncier coutumier relativement souple pour créer des conditions propices à une disponibilité théorique des terres agricoles dans cet arrondissement. La population d'Awaé vit essentiellement des activités agricoles et du commerce. Aucune véritable industrie n'est présente dans cette unité Administrative. Le dispositif expérimental a été réalisé à Etetanas, village situé dans l'Arrondissement d'Awaé, frontalier avec l'Arrondissement d'Esse dans le Département de Mefou-Afamba. Il s'agit d'une zone de savane, avec la culture du poids cajan comme précédent cultural. Le sol est en couleur rouge à très faible pente.

L'Arrondissement d'Awaé comporte deux grandes saisons : Une grande saison pluvieuse qui va de mi-Mars à Juin et une petite saison pluvieuse qui va d'août à Octobre. Cependant, avec les changements climatiques, on constate l'apparition des premières pluies parfois en début Février puis l'arrêt vers le 12 Février. Après cet arrêt, on constate une courte saison sèche de 3 semaines. Les pluies de manière régulière commencent vers le 5 Avril. Ce qui impacte les agriculteurs qui ont semé le maïs pendant l'avenue des premières pluies du mois de février.

Notre étude a été réalisée durant le début des premières pluies (mi-février -Mai 2024). Les températures mensuelles varient entre 21°C et 27 °C avec des précipitations allant de 1500 à 2000 mm par an. Il bénéficie d'un climat équatorial à régime bimodale.

Carte 1 : Situation géographique de l'arrondissement d'AWAE



Traversée par le nationale N°10 (source : MINTP) qui relie la Région du Centre à celle de l'Est, la commune d'Awae est limitée :

- Au Nord par les Communes de Soa et d'Esse
- Au Sud par la Commune de Dzeng
- A l'Est par la Commune d'Olanguina

Fig. 8 : Cartes de la zone d'étude

II. 1.2. Matériel végétal

Pour réaliser cette étude, 9 variétés de maïs sélectionnées dont quatre variétés hybrides, trois variétés composites et deux variétés locales ont été utilisées. Les caractéristiques de ces variétés sont représentées et utilisées pour la présente expérimentation (Tableau VI). Elles proviennent des magasins de l'Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD) .

Tableau VI. Caractéristiques des variétés de maïs utilisées

variétés	Origine	Cycle(Jours)	Couleurs	Sensibilité maladies	aux	Rendement (t/ha)	VH	VC	VL
LG 336	Marché local	90	Jaune	Sensible maladies	aux	6-8	X		
CHC 202	IRAD	110-120	Jaune	Plus au sensibles maladies	moins aux	4-5		X	
VMB	Marché local	90	Blanc	Résistant maladies	aux	1-1,5			X
Biosem	Marché local	90-110	Blanc	Sensible maladies	aux	6-8	X		
5560	IRAD	90	Blanc	Plus au sensible maladies	moins aux	6-8	X		
CMS 8704	IRAD	110-120	Jaune	Résistant maladies	aux	4-5		X	
CHH 10 1	Marché local	90-110	Blanc	Plus au sensible maladies	moins aux	6-8	X		
VMR	Marché local	90	Rouge	Résistant maladies	au	1-1,5			X
CHC 201	IRAD	110-120	Jaune	Plus au sensible maladies	moins au	4-5		X	

II .1.3. Matériel technique

Le matériel technique utilisé en champ était constitué des machettes pour le défrichage du site, des houes pour le sarclage et le labour, un bloc note, un crayon pour les prises des paramètres de la maladie, une balance de précision, un pulvérisateur avec buse à pesticide de 15 l pour l'épandage des produits pesticides, un appareil photo numérique pour les prises de vue, une ficelle, un décimètre pour délimiter les parcelles, des piquets étiquetés et des arrosoirs.

II.1.4. Produits phytosanitaires

Les produits suivants ont été utilisés : un insectide homologué de nom commercial ‘‘Caiiman B’’ avec comme matière active l’endosulfan et le thirame ; un engrais foliaire de nom commercial agro vert, de matière active de insecticide . Il était également constitué d’un fertilisant de nom commercial le yara, de matière active l’azote, phosphore et potassium, sous forme d’une poudre et de couleur Maron. D’un engrais de fructification de nom commercial urée, de matière active l’azote, phosphore et potassium, sous forme de granulée et de couleur blanche.

II.1.5. Matériel de laboratoire

Le matériel de laboratoire était constitué essentiellement d’un microscope photonique, d’un réfrigérateur, d’un incubateur, d’une hotte à flux laminaire, d’une balance à précision, de l’alcool à 90o, de l’eau distillée, des boîtes de Pétri pour la mise en culture de l’agent pathogène, des pinces, des lames et lamelles ainsi qu’une trousse à dissection contenant des lames de bistouri.

II.2. Méthodes

II.2.1. Enquêtes sur l’état phytosanitaire de la culture de maïs et de sa production

II.2.1.1. Collecte des données

Elles ont été obtenues à partir des sources d’information telles que les bibliothèques de l’ICRAF, les bibliothèques du SAILD, les bibliothèques du MINADER, les bibliothèques personnelles de nos superviseurs et encadreurs. Quelques sites de recherche sur internet ont également servi de sources d’information. Les données primaires ont été collectées lors des rencontres avec les différents intervenants de la filière via des entretien et des questionnaires. Les populations objet de cette étude était constituée de l’ensemble des acteurs intervenant dans la filière semence de maïs. Les agriculteurs, les multiplicateurs de semences, les prestataires de semences, les structures d’encadrement et d’appui. Le choix des répondants a été réalisé par boule de neige : Sur une liste 47 producteurs de maïs dans l’Arrondissement d’Awae, M KANOUA Borel, provendier et agriculteurs de la zone a été tiré au hasard et il nous a orienté vers un autre qui à son tour nous a aussi orienté vers le suivant et chacun nous a orienté vers l’autre selon la disponibilité de tout un chacun.

II.2.1.2. Taille de l'échantillon

Dans le cadre de cette étude, l'échantillon stratifié à deux degrés a été utilisé pour le choix des producteurs de maïs à enquêter.

Dans un premier temps, il consistait à interroger les producteurs de maïs à travers des fiches d'enquêtes. Nous avons interrogé 118 agriculteurs dans tout l'Arrondissement (Tableau VII). Les informations obtenues lors de l'entretien nous ont permis d'avoir un aperçu sur l'impact du stress hydrique sur la culture de maïs dans cette zone.

Tableau VII. Nombre de producteurs de maïs enquêtés par village

Villages	Nombre de producteurs de maïs
Odoudouma I	15
Ekiembie II	16
Mve II	14
Minlop	9
Etetanas	18
Ngat	8
Nkolgock	10
Akoum	10
Elondo	8
Nomayos	10

II.2.2. Evaluation des paramètres agro morphologiques de quelques variétés de maïs en champ en condition de culture en périodes sèche et humide

II.2.2.1. Processus du criblage

Les enquêtes sur le terrain ont permis d'identifier les variétés cultivées par les agriculteurs. Par la suite, l'étude a été orientée vers les structures agréées de production des semences de maïs chez qui nous avons achetés les différentes variétés pour notre dispositif expérimental.

II.2.2.2. Dispositif expérimental

Le dispositif en bloc complètement randomisé de Fischer a été Adopté. L'essai a été constitué de 3 blocs orienté de l'Est vers l'Ouest avec chacun 9 parcelles élémentaires de 5 m de longueur et de 3 m de largeur. L'unité expérimental a donc eu une superficie de 15 m². Chaque parcelle élémentaire été constituée de 4 lignes et 4 colonnes espacé de 0,80 cm de la colonne

voisine. Une distance de 1 m sépare 2 parcelles élémentaires à l'intérieur d'un même bloc alors qu'une distance de 2 m a été respectée entre deux blocs voisins et 1 m en bordure de la superficie occupée par l'ensemble des parcelles élémentaires. L'expérience a été réalisée sur une superficie totale de 280 m² ou 0,028 ha, soit une largeur de 14 m et une longueur de 20 m pour un total de 27 sous blocs sur le dispositif expérimental (Fig. 10).

Chaque bloc renferme 9 variétés, et toutes les variétés ont été présentes et réparties dans chaque répétition (Fig. 9). Une plaquette a indiqué chaque variété au niveau de chaque parcelle élémentaire, de même pour les blocs. Le semis a été fait à simple densité dans les poquets à partir 2 à 3 graines de semence de maïs.

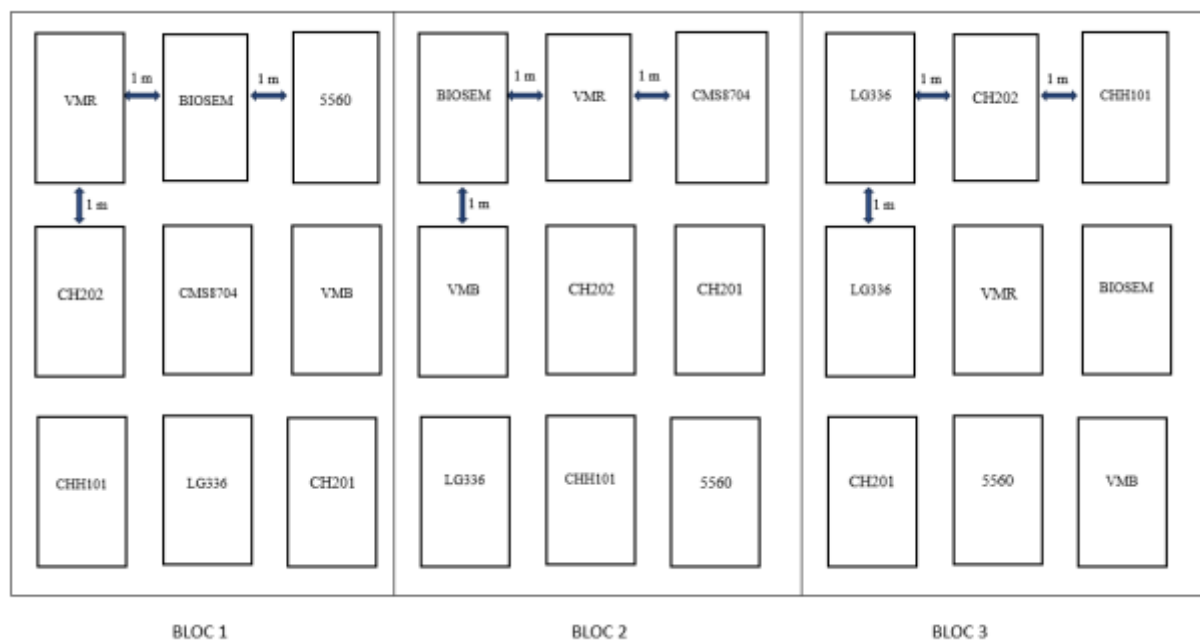


Fig. 9 : Dispositif expérimental de notre étude

II.2.2.3. Conduite et entretien de l'essai

L'expérimentation a été débutée avec les travaux de préparation de sol (Défrichage, nettoyage,) à l'aide des machettes, houes, dabas, suivi par la délimitation de la parcelle et le tracé du dispositif expérimental puis le piquetage. Le billonnage a été fait manuellement. Une séance d'arrosage à précéder le semis en vue de faciliter la germination et donc la levée, soit un jour avant la date de semis puis des arrosages ont été pratiqués après chaque deux jours lors des pénuries de pluies. Après la levée, une opération de démariage a été effectuée laissant 2 Pieds de maïs par pot.

Un premier sarclage manuel a eu lieu 15 jours après le semis. Une opération de sarclo buttage a eu lieu 25 à 45 jours après semis. Des séances de désherbage ont été fait faits les 6ème et 10ème semaines, vu le niveau d'infestation des parcelles par les mauvaises herbes.

Des séances de fertilisation (3 séances) ont été faites avec l'engrais complet (20-20-10) à partir du 16ème jour à l'intervalle d'une semaine (25g/poquet).

Aussi, on a appliqué à l'aide d'un pulvérisateur d'un engrais foliaire, l'agro-vert (20-20-20) deux fois par semaine. Des travaux phytosanitaires ont été fréquemment réalisés vu l'attaque dévastatrice des insectes nuisibles, en particulier les chenilles. Pour ce faire, deux séances d'application des insecticides ont été réalisées avec le Caïman B mélangé dans un pulvérisateur de 15 litres avec de l'eau. Cette opération a été effectuée après chaque 2 deux jours soit 3 fois par semaine.

II.2.2.3.2. Variables mesurées

Les variables agronomiques, épidémiologiques et le rendement ont été mesurés.

II.2.2.3.2.1. Mesure des variables agro morphologique

Les variables agro morphologiques étudiées concernaient : la hauteur des plantes, le nombre de feuilles vertes et le diamètre au collet.

II.2.2.3.2.1.1. Mesure de la hauteur des plantes (HP)

Un échantillon de dix (10) plantes a été choisi aléatoirement dans chaque répétition et étiquetés pour la prise de la hauteur. Un ruban métrique a été utilisé pour la détermination des différentes hauteurs. Chaque hauteur a été prise en centimètres depuis le collet jusqu'à l'apex de la tige. La collecte des données a été faite à 2, 4, 6 et 8 SAS.

II.2.2.3.2.1.2. Détermination du nombre de feuilles vertes développées (NFV)

Le nombre de feuilles développées a été déterminé au début de l'expérience soit à partir du 14ème jour après le semis. A cet effet, les feuilles ont été comptées sur les 10 pieds choisis aléatoirement pendant chaque prise de paramètre soit 2, 4, 6 et 8 SAS.

II.2.2.3.2.1.3. Diamètre au collet (DC)

Le diamètre des tiges a été obtenu à l'aide d'un pied à coulisse. La circonférence de la tige a été mesurée et, à partir de cette dernière, le diamètre a été déduit par la formule suivante :
$$\text{Diamètre} = \text{Circonférence de la tige} / \pi.$$

II.2.2.3.2.2. Mesure des variables de rendement

Les variables de rendement étudiées concernaient : le nombre d'épis par tige, le poids de 100 graines et le rendement de chaque variété.

II.2.2.3.2.2.1. Détermination du nombre d'épis par tige

Dans les unités expérimentales, une plante par poquet a été étiquetée à l'aide d'un marqueur soit une tige pour un total de 10 plants dans chaque sous bloc et 90 plants dans chaque bloc. Les épis ont été ensuite récoltés puis comptés à nouveau.

II.2.2.3.2.2.2. Mesure du poids moyen de 100 graines

Cent (100) grains de chaque échantillon des 9 différentes variétés de maïs ont été comptés et isolés. Une balance précision pouvant supporter un poids maximal de 1000 grammes avec une précision de 1/10 de gramme a été utilisée pour les peser.

II.2.2.3.2.2.3. Mesure du rendement- grain des variétés

Le rendement a été évalué pour chacune des 9 variétés testées. Les graines ont été séchées jusqu'à un taux d'humidité de 10%. Par la suite le poids de chaque variété a été déterminé à l'aide d'une balance dont le poids maximal à supporter est de 20 kilogrammes avec une précision de 50 grammes. Le rendement a été ensuite calculé par la formule suivante : $R = [(P \times 10.000 \text{ m}^2)/15 \text{ m}^2]$

R : Rendement en Kg/ha, P : Poids moyen des grains (en kg) récoltés sur 15 m²

A



B



C



D



Fig. 10 : Activités réalisées en champ (A= Préparation du terrain, B=Etiquetage des parcelles , C=Traitement phytosanitaire D= Observation et prélèvement des paramètres de maladies

II.2.3. Evaluer l'incidence et la sévérité des principales maladies en champ

L'évaluation de l'infection de la plante par la maladie a été axée sur l'incidence et la gravité (sévérité) évaluée à la 2^{ème} ; 4^{ème}, 6^{ème}, 8^{ème} et 10^{ème} semaines après le semis durant les deux périodes de cultures.

- L'incidence (I) ou taux d'expansion de la maladie est la fréquence d'apparition de la maladie sur les plantes dans une parcelle ; elle a été déterminée et exprimée en pourcentage selon la formule:

$$I = \frac{n}{N} \times 100 \quad (\text{Tchoumakov et Zaharova, 1990})$$

I = Incidence de la maladie

n = Nombre de plantes infectées dans la parcelle N = Nombre total de plantes dans la parcelle

- La sévérité (S) de la maladie ou l'intensité de l'infection de la maladie sur les plantes pour chaque parcelle. Elle est estimée en fonction de la proportion occupée par les symptômes caractéristiques de la maladie sur la partie aérienne des plantes. Elle a été déterminée également à 6 ; 8 et 9 SAS puis calculée en pourcentage (%) selon la formule : $S = \frac{\sum ab}{N} \times 100$ (Tchoumakov et Zaharova, 1990)

S = Sévérité de l'infection

$\sum ab$ = Somme des multiplications du nombre de plantes malades (a) correspondant au degré d'infection (b)

N = Nombre total de plantes malades

Le degré d'infection (b) (proportion de la surface foliaire infectée, estimée en %) a été noté pour la plante entière selon l'échelle d'évaluation. L'indice de sévérité a été évalué sur chaque des 10 pieds de chaque sous parcelle grâce à l'échelle 1- 10 comme décrite par Subrahmanyam et al où le pourcentage de la surface de la feuille infectée est : 1=25%, 2=50 %, 3=75 %, 4=100 %.

II.2.3.1. Collecte des échantillons

Les feuilles présentant des symptômes (minuscules taches circulaire pales, taches gris-brun, dessèchement des feuilles) de maladies ont été collectés dans la parcelle expérimentale. Les échantillons collectés dans le site ont été introduits dans des enveloppes puis ramenés en laboratoire pour isolement.

II.2.3.2. Culture et isolement des principales maladies rencontrées en champ

II.2.3.2.1. Préparation des milieux de cultures

Plusieurs milieux de culture sont utilisés pour cultiver en laboratoire les maladies identifiées sur le dispositif expérimental. Dans le cadre de notre étude, 2 milieux ont été utilisés. Ces milieux de culture sont préparés comme suit :

- milieu Agar : 15 g gélose ont été ajoutés dans 1000 ml d'eau distillée stérile solution obtenue est portée à ébullition à l'autoclave pendant 20 min à 120°C et conservée au réfrigérateur. Ce milieu a servi à la fructification des spores.
- milieu PDA : l'infusion des échantillons de maïs se prépare en faisant bouillir dans l'eau, des lamelles de 2 cm sont coupées et lavées pendant 30 min à 1 h. Cette infusion est ensuite diluée en ajoutant de l'eau distillée pour un volume final d'un litre. 15 g de dextrose et autant d'agar-agar en poudre y sont par la suite ajoutés avant la stérilisation par autoclave à 120 °C pendant 20 min et conserver au réfrigérateur. Ce milieu a servi à la fructification des spores.

II.2.3.3. Techniques d'isolements des isolats des principales maladies

II.2.3.3.1. Techniques d'isolements directs

Pour les isolements directs, deux techniques ont été utilisées :

- technique 1 : les fragments de feuilles infectés sont lavés à l'eau du robinet et désinfectés dans une solution d'hypochlorite de sodium à 1% pendant 1 à 2 minutes. Ils sont ensuite lavés avec de l'eau distillée stérile deux à trois fois puis séchés pendant 2 à 3 minutes. Ils sont ensuite placés dans des boîtes de Pétri contenant le milieu de culture petit pois et incubés à 20°C et à l'obscurité. L'observation est effectuée quotidiennement jusqu'à apparition du mycélium caractéristique de l'agent pathogène. Celui-ci est repiqué plusieurs fois jusqu'à purification de l'isolat ;
- technique 2 : Les organes infectés sont incubés dans des boîtes de Pétri humidifiées à 18-20°C à l'obscurité pendant 24h pour favoriser la fructification du champignon. L'isolement de cet agent pathogène consiste à repiquer des sporocystes prélevés dans des conditions aseptiques à la surface du tissu infecté à l'aide d'une aiguille stérile dont l'extrémité contient un fragment de la gélose. Ce dernier ne doit toucher que les sporocystes attachés à l'extrémité du mycélium. Ce prélèvement est effectué, de préférence, au front d'avancement de la lésion. Les fragments de gélose inoculés sont placés dans des boîtes de Pétri de 90 mm contenant le milieu de culture, à raison de 2 ou 4 fragments par boîte. L'incubation est effectuée à l'obscurité à 20°C. Des repiquages successifs du mycélium, issu de la germination directe des sporocystes sont réalisés après 3 à 4 jours d'incubation jusqu'à purification de l'isolat.

II.2.4. Détermination des variétés tolérantes au stress hydrique

La détermination des variétés tolérantes au stress hydrique s'est faite pendant les poches de sécheresse, due au dérèglement climatique lors des périodes d'absence des pluies.

Dans l'expérimentation, on a noté deux périodes d'arrêt des pluies :

- deux semaines après la levée des semis ;
- trois semaines après la floraison.

Le paramètre mesuré pour juger la résistance au stress hydrique durant les périodes critiques était la hauteur des plantes et l'état des plantes.

II.2.5. Analyse statistique

Les données brutes collectées pour chaque variété c'est-à-dire la hauteur de la plante, le diamètre du collet, le nombre de feuilles, l'incidence et la sévérité de la maladie, ont été soumises à des analyses statistiques descriptives (calcul des valeurs de tendance centrale (moyenne) et de variation (écart-type) sur Excel. Elles ont ensuite été soumises à une analyse de variance avec le logiciel R version 4.4.1.

CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.1. RESULTATS

III.1.1. Enquêtes sur l'état phytosanitaire de la culture de maïs et de sa production

Les enquêtes menées dans les 10 villages de l'Arrondissement d'Awae que sont, Odoudouma, Ekiemba, Mve, Minlop, Etetanas, Ngat, Nkolgock, Akoum, Elondo et Nomayos ont permis de montrer que les cultivateurs de maïs sont impactés par le stress hydrique entraînant la baisse de la productivité. 86% des agriculteurs interrogés sont affectés par le stress hydrique causé par le changement climatique (Fig.11A). Pour une superficie de maïs. Pour une superficie cultivable de maïs de 94,5 ha, on note la perte de plus 1/3 de la production pour un montant de 20 610 000 FCFA (Fig. 11B). Les résultats des enquêtes ont montré que 72 producteurs de maïs sur 118 interrogés cultivent les variétés locales qui présentent un niveau de rendement faibles.

Les enquêtes révèlent que 34 producteurs de maïs cultivent les variétés composites CMS 8407 obtenant des rendements plus élevés par rapport à d'autres variétés.

Pour ce qui est des variétés hybrides, il a été constaté que 12 producteurs de maïs cultivent les hybrides qui présentent un niveau de rendement faibles par rapport aux informations données par le semencier. Cependant il a été constaté que certaines variétés présentent un niveau de rendement plus élevé par rapport à d'autres comme la LG 336.

Pour ce qui est de l'influence du changement climatique sur la productivité, tous les producteurs qui ont été interrogés sont impactés par le stress hydrique causé par le changement climatique.

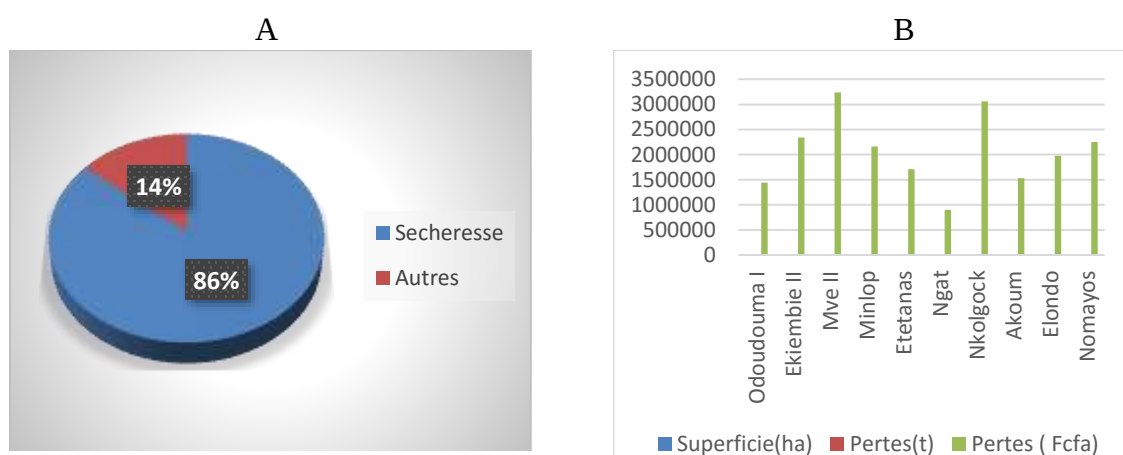


Fig. 11 : Quelques résultats des enquêtes sur le terrain (A=cultivateurs de maïs touchés par le stress hydrique en fonction des villages, B=Pertes liées au stress hydrique)

III.1.2. Evaluation des paramètres agro morphologiques de quelques variétés de maïs en champ en condition de culture en période sèche et humide

III.1.2.1. Paramètres de croissance

III.1.2.1.1. Hauteur des Plantes (HP)

La mesure de la hauteur des plants de maïs à 14 jours après semis montre que la variété CMS 8704 présente la hauteur moyenne la plus élevée (19,53 cm) tandis que celle la plus faible a été enregistrée par la variété LG 336 : (11,83 cm).

A 28 jours après semis, la hauteur moyenne la plus élevée de 45,47 cm est obtenu avec la variété CMS 8704 alors que celle la plus faible, soit 26,27 cm, a été cette fois enregistrée avec la variété LG 336 (Fig. 12).

Pour la 3ème prise de hauteur soit le 42ème jour après semis, nous avons constaté une montée de croissance rapide avec des variétés composites CMS 8704 (104,93 cm), CHC 202 (111,50 cm), CHC 201 (114,97 cm), CHC 201 (114,97 cm) et une variété issue de la sélection massales VMR (100,70 cm).

Pour la 5ème prise de hauteur soit 70 jours après le semis, nous avons constaté une croissance rapide de toutes les variétés plus particulièrement la variété blanc issue de la sélection massale VMB (196,77 cm) et presque une constante des hauteurs des variétés composites : CMS 8704 (193,37 cm), CHC 202 (192,93 cm) et CHC 201 (193,83 cm). L'analyse statistique a relevé au terme de cette expérience une différence significative entre les HP des variétés hybrides LG 336 et la variété locale VMB (Fig. 12).

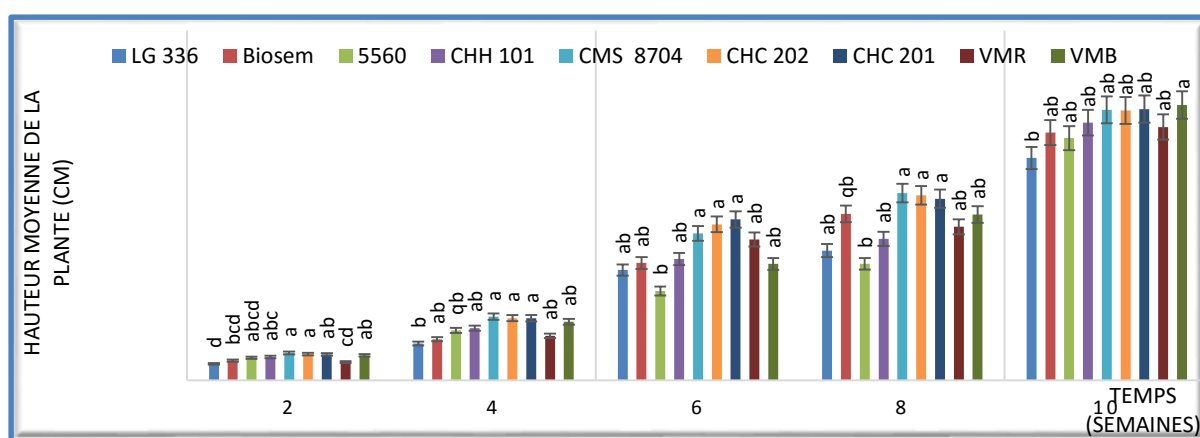


Fig. 12 : Variation de la hauteur en fonction des variétés de maïs

III.1.2.1.2 Diamètre au Collet (DC)

Les variétés CHC 201 et VMB présentent des diamètres au collet les plus élevés respectivement de 0,46 cm et 0,46 pendant la deuxième prise de paramètre. Les variétés LG 336 et VMR présentent les diamètres moyennes respectivement de 0,33 cm à 0,33 cm à la même période.

Après la prise des diamètres des différents échantillons à la fin de l'expérience, il a été constaté que la variété hybride Biosem présente le diamètre moyen le plus élevé (2,14 cm), suivi la variété LG 336 (1,99 cm), et CMS 8704 (1,99 cm), tandis que celle la plus faible enregistré a été la variété CHC 201 (1,83 cm). L'analyse statistique a révélé au terme de cette expérience une différence significative du DC entre les variétés hybrides Biosem, 5560 et la variété massale CHC 201 (Fig.13).

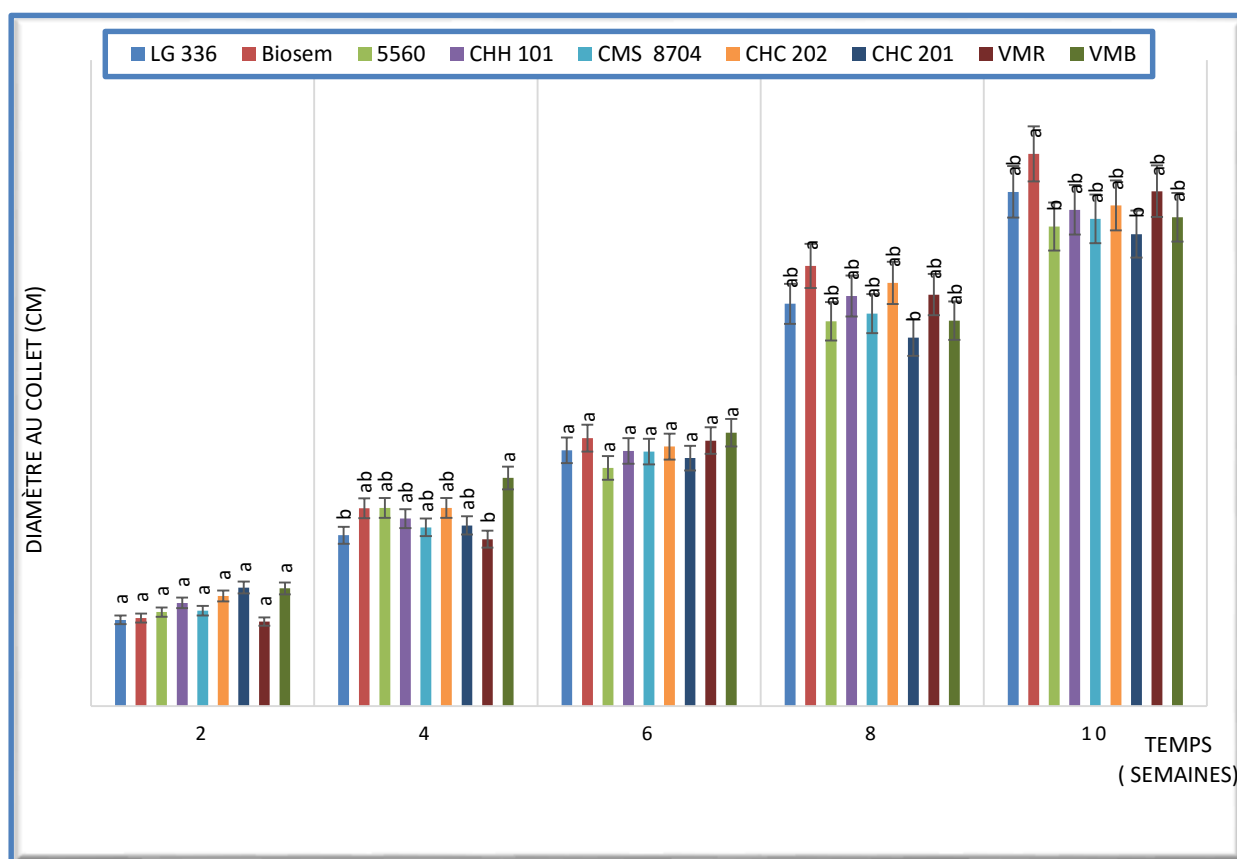


Fig. 13 : Variation des diamètres au collet en fonction des variations de maïs

III.1.2.1.3. Nombre des Feuilles (NFV)

La Variété Locale VMB a le nombre de feuilles le plus élevé (13,40 Feuilles), suivie par les variétés composites CHC 202 (13,33 Feuilles) et CMS 8704 : (13,33 Feuilles), tandis que

celui le plus faible est enregistré avec la variété LG 336 : (11,50 Feuilles). L'analyse statistique a révélé qu'aucune différence significative n'est enregistrée entre les variétés criblées (Fig.14).

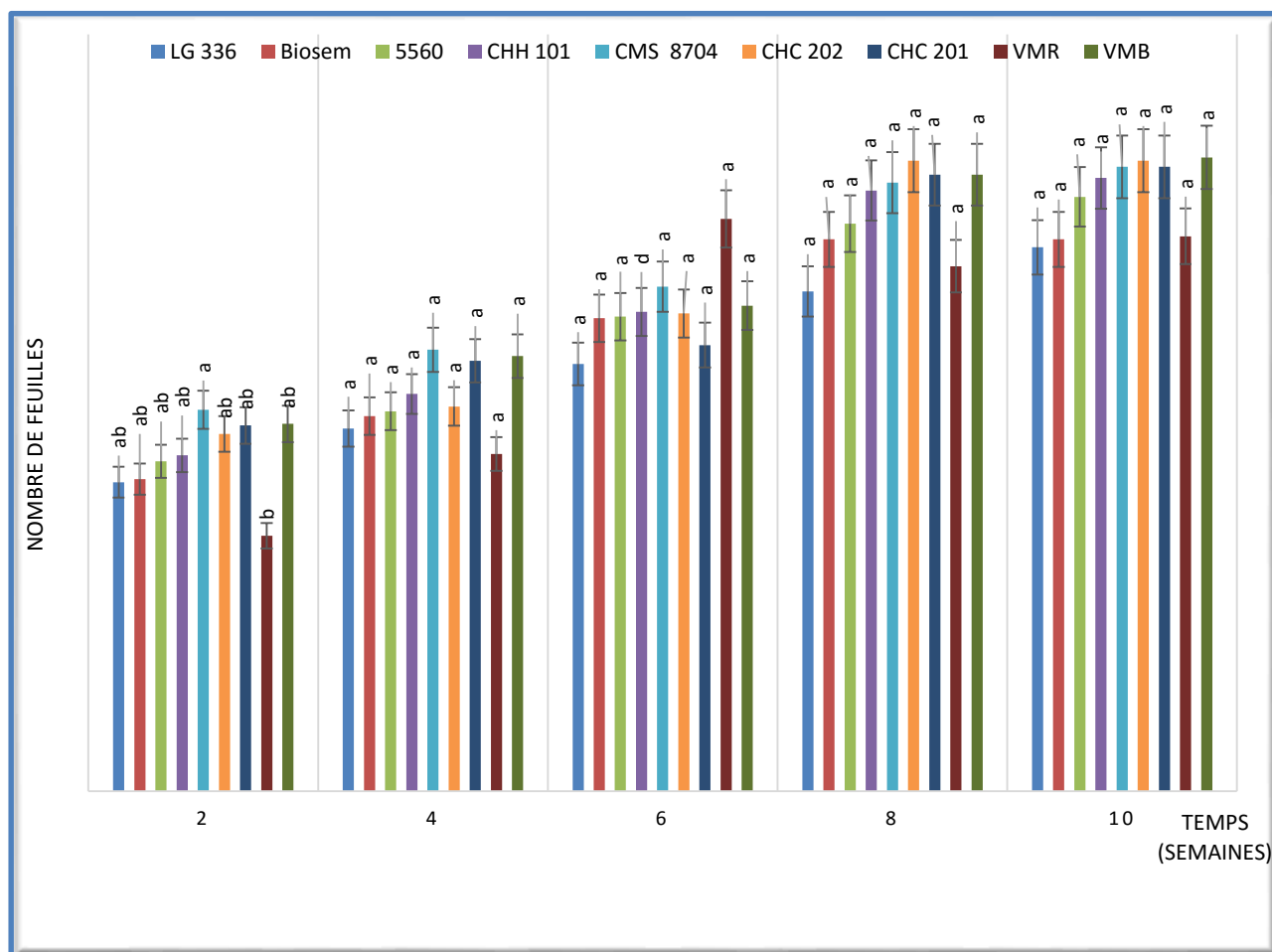


Fig. 14 : Variation des feuilles en fonction des variétés de maïs

III.1.2.2.Paramètres de rendement

III.1.2.2.1. Nombre moyen d'épis par variété

Le nombre moyen d'épis par variété varie entre 1 et 1,17. Aucune différence significative entre les variétés n'a été enregistré (Tableau VIII).

Les variétés ayant le nombre d'épis élevé a été les variétés Biosem (1,17) et la CMS 8704 (1,03) tandis que celles les plus faibles ont été les variétés LG 336, 5560, CHH 101, CHC202, CHC 201, VMR et VMB pour les nombres d'épis d'une moyenne de 1.

Tableau VIII. Variation du nombre d'épis par variété

Variétés	LG 336	Biosem	5560	CHH 10	CMS 87	CHC 202	CHC 20	VMR	VMB
				1	04		1		
R1	1	1,1	1	1	1	1	1	1	1
R2	1	1,2	1	1	1	1	1	1	1
R3	1	1,2	1	1	1,1	1	1	1	1
Moyenne	1,00	1,17	1,00	1,00	1,03	1,00	1,00	1,00	1,00
Moyenne±Eca	0,50	0,104±	0,24	0,19	0,24	0,66	0,25±	0,56±	0,51±
rt-type	±0,51 a	0,105 a	±0,25 a	±0,20 a	±0,25 a	±0,70 a	0,26 a	0,60 a	0,52 a

III.1.2.2.2. Poids de 100 grains et rendement grain des variétés

Le poids de 100 grains a été de 39 g pour la variété Biosem, 31 g pour la variété LG 336 et CMS8704. L'analyse de variance montre qu'il existe une différence significative entre les variétés.

Le niveau de rendement atteint par les différentes variétés de maïs utilisées dans cet essai a varié de 4,52 t/ha à 0,85 t/ha (Tableau IX).

Les résultats de l'analyse statistiques ont mis en évidence l'existence de différences significatives entre les variétés. Selon le test de comparaison multiples (ppds) de Fischer réalisé, le rendement obtenu pour la variété LG 336 n'a pas été significativement différent de ceux obtenus de manière respectives pour la variété CMS 8704. Ces rendements ont été significativement supérieurs à ceux des autres variétés.

Les rendements obtenus pourraient être élevés si certains facteurs comme les variations climatiques et les ravageurs n'avaient pas eu d'impacts directs sur les composants du rendement.

Tableau IX. Poids moyen de 100 grains et rendement-grain pour chaque variété en kg

Variétés Paramètres	LG 336	Bioseem	5560	CHH 101	CMS 8704	CHC 202	CHC 201	VMR	VMB
Poids 100 graines (g)	31	39	37	34	31	34	32	30	34
Moyenne±Ecart-typ e	1,05 ±1,06 de	0,60± 0,61 a	0,35± 0,36 b	0,52± 0,53 c	0,35± 0,36 de	0,25± 0,26 c	0,30± 0,31 d	0,42 ± 0,43 e	0,44 ±0,45 c
Rdt (t/ha)	4,52	0,85	1,59	3,67	3,96	2,00	1,70	2,26	2,04
Moyenne±Ecart-typ e	0,33± 0,34 a	0,08 ±0,09 e	0,11 ±0,12 d	0,34 ±0,35 cd	0,26± 0,27 ab	0 ,08± 0,09 cd	0,9± 0,10 cd	0,06 ±0,07 c	0,20± 0,21 cd

III.1.3. Evaluer l'incidence et la sévérité des principales maladies identifiées en champ

III.1.3.1. Incidence de l'helminthosporiose

Deux semaines après la levée, des signes d'infestation par l'helminthosporiose ont été constaté. Toutes les variétés ont été attaquées sur certaines variétés. On a pu observer des longues stries brunes sur les feuilles des plantes.

Quelques mois après la floraison, nous avons constaté des tâches gris-brun qui apparaissait, s'allongeaient et devenaient confluentes. A la fin de l'attaque les feuilles se desséchaient complètement.

L'analyse des paramètres de l'incidence de l'helminthosporiose montre que l'évolution de la maladie augmente avec la croissance de la plante. Nous avons constaté que les variétés hybrides sont plus sensibles à l'helminthosporiose par rapport aux variétés composites et aux variétés paysannes.

L'analyse statistique effectuée dans anova a révélé au terme de la prise de ce paramètre une différence significative de l'incidence de l'helminthosporiose des variétés hybrides Biosem, 5560 et la variété composite CHC 201(Fig. 15).

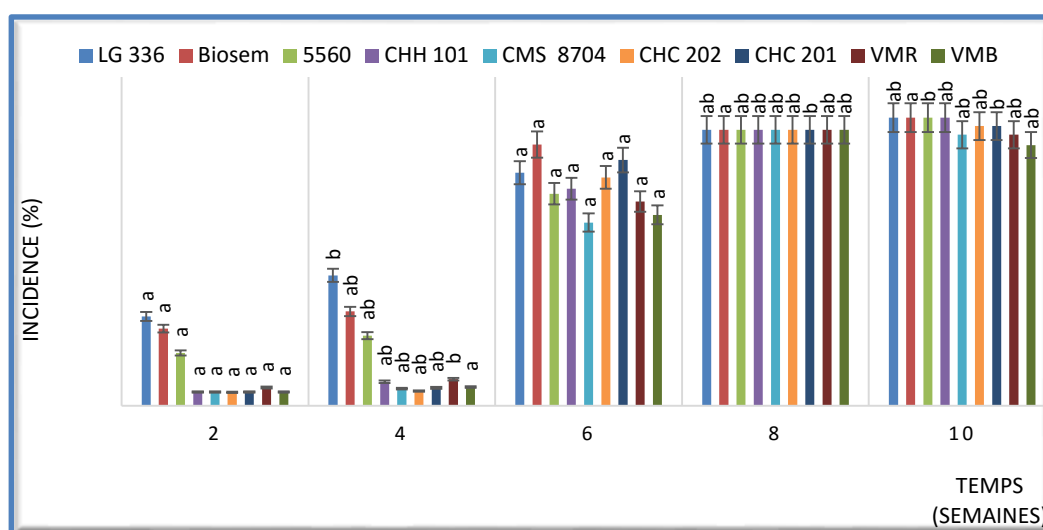


Fig. 15 : Taux d'incidence de l'helminthosporiose pour différentes variétés

III.1.3.2. Incidence de la striure

Aucune différence significative sur l'incidence de la striure n'a été enregistrée entre les variétés à 6, 8 et 10 SAS. Par contre à 4 SAS, la variété LG 336 et Biosem enregistrent l'incidence la plus élevée que les variétés locales VMB et VMR (Fig. 16).

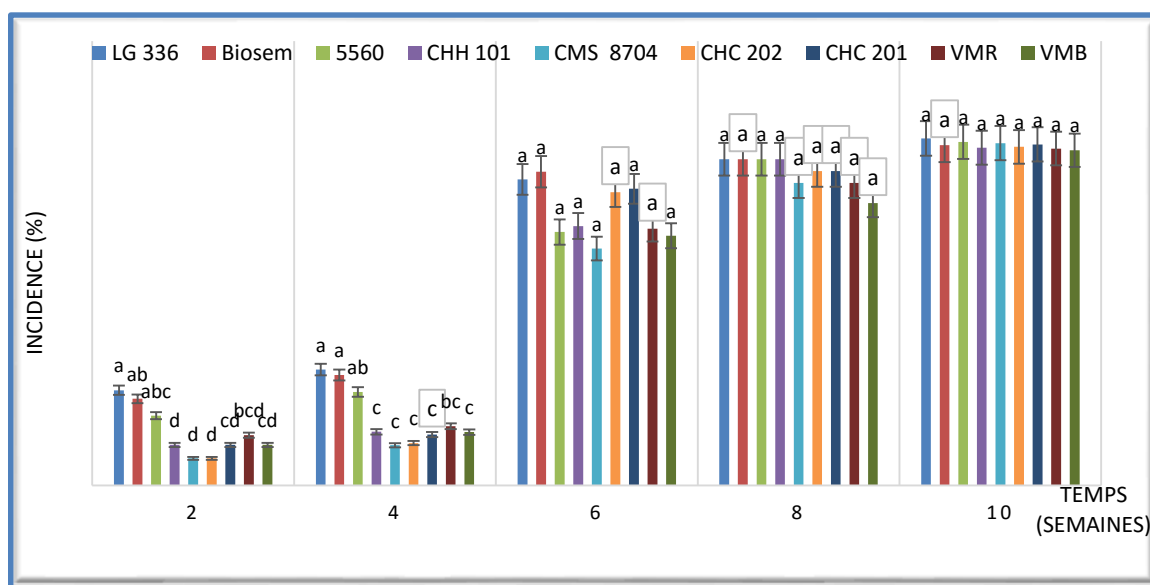


Fig. 16 : Taux d'incidence de la striure pour différentes variétés

III.1.3.3. Sévérité de l'helminthosporiose

La sévérité de la maladie de la maladie sur toutes les variétés de maïs criblées a varié en fonction du temps (Fig. 17)

Une différence significative de la sévérité de l'helminthosporiose entre les variétés a été enregistrée. La variété hybride Biosem a une sévérité de 63,83 % suivi de la variété LG 336 de valeur 61,16 % et de la variété locale VMB valeur 45,67 % (Fig. 17) .

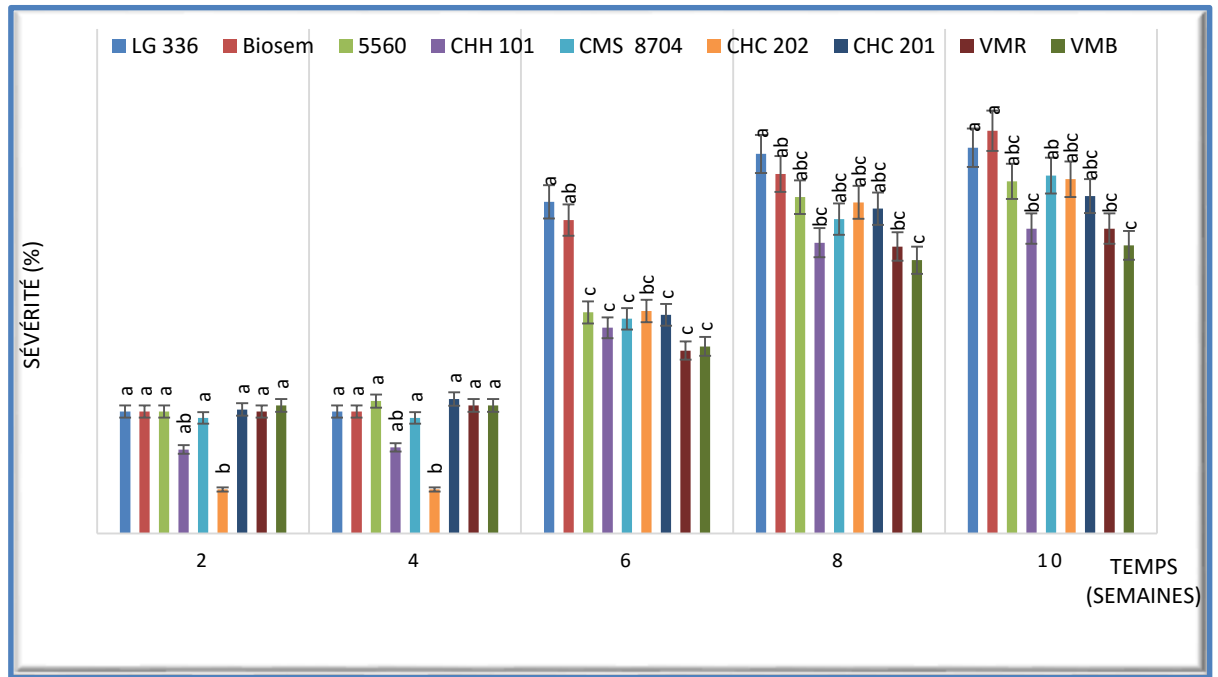


Fig. 17 : Sévérité l'helminthosporiose pour différentes variétés

III.1.3.4. Sévérité de la striure

La sévérité de la maladie sur toutes les variétés de maïs criblées a varié en fonction du temps (Fig. 18)

Au terme de la prise des paramètres de la sévérité de la striure de maïs dans notre expérimentation, les analyses ont révélé une aucune différence significative lors des 4 premières semaines après semis. La différence significative est constatée à partir de la 6^{ème} semaine entre toutes les variétés. Cette différence significative est observée entre les variétés hybrides LG 336, Biosem et les variétés locales VMR et VMB à partir de la 10^{ème} semaine (Fig.18).

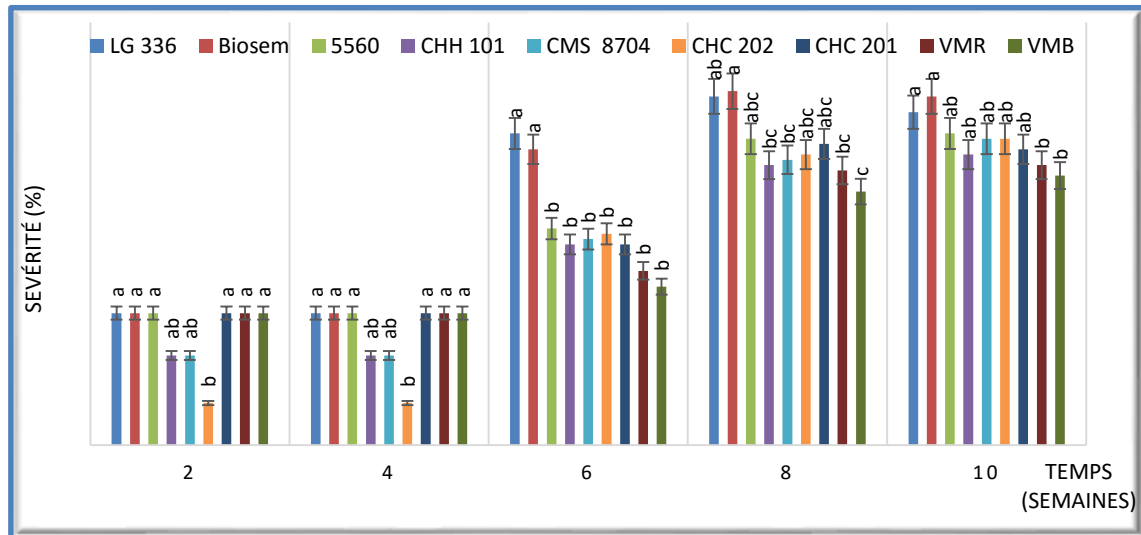


Fig. 18 : Sévérité la striure pour différentes variétés

III.1.4. Variétés tolérantes au stress hydrique

Trois jours après la levée totale des semis (100 %) pour toutes les variétés testées, on n'a vécu dans le site d'expérimentation un arrêt des pluies pendant deux semaines. Ce phénomène s'est reproduit pendant trois semaines après la floraison. Pendant cette période, un flétrissement a été observé sur toutes les plantes, mais à des degrés variables selon les variétés (Fig.19). Durant les deux poches de sécheresse, la hauteur des plantes varie suivant les variétés de maïs testées. Les variétés les plus tolérantes à la sécheresse présentaient les hauteurs les plus élevées. C'est le cas des variétés CMS 8704, VMR et VMB les taux de croissance à travers les hauteurs n'ont pas été influencés durant les poches de sécheresse (Tableau X).

Tableau X. Quelques observations de la tolérance hydrique

variété	LG	Biosem	5560	CHH	CMS	CHC	CHC	VMR	VMB
SAS	336			101	8704	202	201		
2	11,83	14,03	16,17	16,67	19,53	18,70	18,53	17,93	17,80
4	26,27	29,30	35,67	37,33	45,47	44,43	44,33	31,70	41,83
6	78,80	83,85	63,77	86,63	104,93	111,50	114,97	100,70	83,18
8	92,70	119,03	83,20	101,10	133,80	132,17	129,77	109,70	118,50



Fig. 19 : Conséquences du stress hydrique sur la culture du maïs

III. 2. DISCUSSION

Le maïs présente une large diversité agro-morphologique. Son cycle du semis à la maturité varie de 90 jours 110 jours, le nombre de ses feuilles de 8 à 48, la hauteur de sa tige de 0,6 à 6 mètres. Certaines variétés produisent plus de quatorze talles par plante. L'épi, long de 2,5 à 30 centimètres, peut comporter 8 à plus de 20 rangées de grains). La couleur des grains va du blanc au noir, en passant par le jaune, l'orange, le rouge, le vert et le bleu. Les rendements moyens sont de l'ordre de 0,5 tonne par hectare dans les zones défavorables, mais atteignent plus de 12 tonnes par hectare dans les plaines du Middle West américain ; le record mondial étant de 25 tonnes par hectare. Malgré cette diversité, toutes les variétés de maïs appartiennent à la même espèce et sont inter-fertiles (Paliwal, 2002).

Le maïs possède une plasticité adaptative remarquable, qui, associée à un potentiel de production supérieure à celui des autres céréales, explique son succès dans les pays développés. Après les Etats-Unis, il a conquis des vastes étendus en Europe, et progresse à présent fortement en Asie. Il s'agit d'une importante source de protéines et d'énergie pour la consommation humaine et animale, et une source de matières premières pour l'industrie (Paliwal, 2002).

Le maïs tropical est à son tour, d'après son environnement, divisé en 3 sous-classes : basses terres, moyenne altitude et hautes terres (Dowswell *et al.*, 1966). Pour sa culture, le maïs doit être en plein soleil pour que soit garantie une photosynthèse efficace. Ainsi, la durée du jour et l'ensoleillement déterminent la période de croissance. Généralement, chaque

cultivar est adapté aux contraintes spécifiques de l'endroit où il est cultivé. Des températures élevées sont requises depuis le semis jusqu'à la floraison, tandis que durant la maturation, des conditions un peu plus fraîches peuvent être acceptées.

Comparativement à certaines données de la littérature, les résultats obtenus ont permis de comprendre que la culture de maïs fait face à des variations de rendement qui seraient dues aux stress hydriques et aux maladies causés par le changement climatique. Ainsi sont révélés les résultats de nos enquêtes et notre expérimentation menées sur le terrain.

Toutefois, certaines variétés présentent un niveau de tolérance au stress hydrique plus élevé avec les bons rendements par rapport à d'autres variétés. C'est le cas des variétés composites CMS 8704 qui présente des niveaux de rendement (3,6 t/ha) élevé par rapport aux d'autres variétés. Les variétés hydriques sont plus sensibles à l'helminthosporiose et la striure par rapport à d'autres variétés composites et locales.

CHAPITRE IV.

CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

IV .1. Conclusion

Face à des enjeux environnementaux renforcés (changement climatique, dégradation de sol et de la qualité de l'eau) un contexte politique et réglementaire contraignant, à une très forte volatilité des prix et une augmentation des coûts de production, il convient de sélectionner les variétés à haut rendement et résilientes aux stress hydriques pour une production durable. Le changement climatique a fait ressortir l'importance de développer les variétés climato intelligentes capables de s'adapter aux conditions extrêmes d'environnement induisant par temps normal à une perte totale de la production.

Cette étude a proposé les variétés résistantes à la sécheresse et aux maladies afin d'augmenter la productivité de maïs cultivés en Cameroun en prévision des perturbations climatiques menaçantes. L'évaluation des variétés tolérantes aux stress hydriques et aux maladies a pu déterminer l'usage quelques variétés de maïs cultivées au Cameroun pendant des périodes affectées par des perturbations sévères.

Cette présente étude a eu pour objectif d'identifier une ou plusieurs variétés de maïs performantes, adaptées au stress hydrique causé par le changement climatique dans l'arrondissement d'Awae en vue d'une contribution à l'augmentation de sa productivité à l'échelle nationale du Cameroun. Aussi les données obtenues permettront la production de fiche technique pour les variétés adaptées au changement climatique. Des enquêtes ont été menées, des variables de croissance, de rendement et de résistance aux maladies et ravageurs pour 9 variétés de maïs sélectionnées soit 4 variétés hybrides (Biosem, LG 336,5560 ,CHH 101), 3 variétés composites (CMS 8704, CHC 202, CHC 201) et 2 variétés locales (VMB, VMR) cultivées dans l'Arrondissement d'Awae ont été expérimenté sur un dispositif expérimental de Fischer sur une superficie de 280 m² subdivisé en 3 répétitions.

Au regard des résultats présentés ci-dessus, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

- les variétés les plus productives ont été l'hybride LG336 et le composite CMS 8704 tandis que celles les moins productives ont été l'hybride Biosem et les variétés locale VMB et VMR ;
- la variétés VMB (196,77 cm) une hauteur plus élevée que les autres variétés alors la variété LG 336 (158,93 cm) en développe une hauteur plus petite ;
- le diamètre du collet de la tige la plus vigoureuse a été observé avec la variété Biosem(2,14 cm). Par contre, la variété CHC 201 (1,83 cm) présente la tige la plus faible ;

- les variétés VMB(13,40) et la CHC 202 (13,33) développent plus de feuilles que toutes les autres variétés alors que les variétés Biosem(11,67) et LG 336 (11,50) en développent le plus petit nombre ;
- la variété Biosem (1,17 épis) en moyenne le plus grand nombre d'épis que les autres variétés ;
- la variété Biosem a présenté un poids plus élevé de 100 grains plus élevé (39 g), suivi de la variété 5560 (37 g). Par contre celui le plus faibles a été obtenu avec les variétés LG 336 (31 g) et CMS (31 g) ;
- les variétés locales VMB ET VMR ont présenté une bonne résistance aux maladies et ravageurs, suivi de la LG 336 et la CMS 8704, tandis que les variétés ;
- la variété CMS 8704 est la variété la plus tolérante au stress hydrique.

Cependant, nous estimons qu'en pratique, l'utilisation des techniques modèles mathématiques d'agriculture de précision vis-à-vis des stress hydriques, convient bien aux chercheurs et améliorateurs avisés, tandis que, pour les producteurs ils peuvent se heurter à un problème de calcul et prédiction.

IV.2. Recommandations

Dans le souci d'améliorer le rendement de maïs au Cameroun en General et dans l'Arrondissement d'Awae en particulier, l'étude recommande :

Aux chercheurs :

- mettre à la disposition des agriculteurs des itinéraires techniques de production ;
- mettre à la disposition en grande quantité des semences climato-intelligentes ;
- développer des stratégies d'adoption des semences climato-inlligentes de maïs ;
- mener une étude réelle sur les besoins des agriculteurs ;
- vulgariser les semences résistantes à la sécheresse et aux maladies ;
- produire plusieurs variétés de semences climato-intelligentes et mettre à la disposition des agriculteurs ;
- former les cultivateurs de maïs sur les techniques de production ;
- former les agronomes et les entrepreneurs sur les techniques de multiplication, des semences climato intelligences de maïs.

Au MINADER :

- mettre à la disposition des agriculteurs le calendrier agricole actualisé ;
- travailler en collaboration avec l'ONACC pour les tendances climatiques ;
- accompagner les agriculteurs en intrants et équipements ;
- accompagner les multiplicateurs de maïs et les chercheurs ;
- réduire les coûts des semences et des intrants ;
- subventionner la recherche ;
- former les multiplicateurs de semences ;
- réduire l'importation des semences issues des OGM ;
- réduire l'importation de maïs ;
- trouver des solutions technologiques pour améliorer le rendement.

IV.3. Perspectives

Pour répondre aux besoins croissants des agriculteurs du Cameroun en semences de maïs résistantes au stress hydriques causés par le changement climatique, nous allons après notre étude :

- faire les essais des différentes variétés de maïs cultivées au Cameroun dans différentes zones agroécologiques du Cameroun ;
- recenser toutes les variétés de maïs cultivées au Cameroun ;
- étudier la valeur nutritive de chaque variété ;
- étudier l'impact des variations climatiques pour chaque variété ;
- étudier l'impact des maladies sur le rendement ;
- multiplier et commercialiser la variété CMS 8704.

BIBLIOGRAPHIE

- Acevedo E., Fereres E., Hsiao T., Henderson D., 1979. Diurnal growth trends, water potential and osmotic adjustment of maize and sorghum leaves in the field. *Plant Physiology* 64, pp. 476–480.
- Adjabi A., Bouzerzour H., Lelarge C., Benmahammed A., Mekhlouf A. and Hannachi A. Relationships between grain yield performance, temporal, stability and carbon isotope discrimination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under Mediterranean conditions. *Journal of Agronomy*. 6 : 294 – 301. 2007
- Affholder F., E. Scopel, J. Madeira Neto and A. Capillon, 2003. Diagnosis of the Productivity Gap Using a Crop Model. Methodology and Case Study of Small-Scale Maize Production in Central Brazil,” *Agronomie*, Vol. 23, No. 4, 2003, pp. 305-325. doi:10.1051/agro:2003004
- Ahmadi A., Mohammadi V., Sio-Se Mardeh A. And Poustini K. ; 2008. Evaluation of wheat yield drought resistance indices across water regimes. *Acta Biol Szeged* 52(1): pp. 97-100.
- Amigues J.P., Debaeke P., Itier, B., Lemaire G., Seguin, B., Tardieu, F., Thomas, A. 2006 : Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l’agriculture à un risque accru de manque d’eau. Expertise scientifique collective, Rapport, INRA (Fr). 12 p
- Angus J.F. Hasegawa, Hsiao T. C., Liboon S.P., Zandstra H.C. 1983. The water balance of post-monsoonal dryland crop. *J. Agric. Sci. Camd.*, 10:699-710.
- Aquino P., F. Carrion, R. Calvo, and D. Flores. 2001. Selected maize statistics. In: P.L. Pingali (Ed.) CIMMYT 1999-2000 World Maize Facts and Trends. Meeting world maize needs: Technological opportunities and priorities for the public sector. CIMMYT, Mexico, D. F.
- Araus JL., Villegas D., Aparicio N., Garcia del Moral LF., El Hani S., Rharrabti Y., Ferrio JP. et Royo C. 2003. Breeding cereals for Mediterranean conditions: ecophysiological clues for biotechnology applications. *Ann .Appl. Biol.* 142. pp. 129 - 141.
- Araus JL., Amado T., Casadesus J., Asbati A. et Nachit MM..1999. Relationships between ash content, carbon isotope discrimination and yield in durum wheat. *Aust. J. Plant Physiol.* 25: pp. 835-842.
- Arkebauer T.J., Norman J. M. et Sullivan C. Y., 1995. From cell growth to leaf growth. III. Kinetics of leaf expansion. *Agronomy Journal* 87, pp. 112–121.

- Ashley J. 1999: Food Crop and Drought. In. CTA Macmillan Education Limited, London and Basingtoke. p.133.
- Attia F., (2007) Effect of Water Stress on the Ecophysiological Behavior and Phenolic Maturity of *Vitis vinifera* L.: Study of Five Indigenous Varieties of the MidiPyrenées. Toulouse.
- ANOGBRO (P), Variabilité climatique et culture de l'igname dans le périmètre agricole de Bouak-commune, mémoire de master, 2014-2015.
- Badu Apraku, B., Abeam, F.J., Menkir, A., Fakorede, M.A.B., Obeng-Antwi, K. and The, C. 2003. Genotype by environment interactions in the regional early variety trials in West and Central Africa. *Maydica* 48: pp. 93-104.
- Bahlouli F., Bouzerzour H., Benmhammed A. , Hassous KL.. 2005. Selection of high yielding and risk efficient durum wheat (*Triticum durum* Desf) cultivars under semi- arid conditions. *Pakistan Journal of Agronomy*, 4: pp. 360-365.
- Bajji M., Kinet JM. et Lutts S. 2002. Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf) cultivars performing differently in arid conditions. *Plant Sci.*160: pp. 669-681.
- Baker H., Horrocks R. et Goering C., 1975. Use of the Gompertz function for predicting corn leaf area. Transactions of ASAE 18, pp. 323–326. Bänziger, M., and H.R. Lafitte. 1997. Efficiency of secondary traits for improving maize for low-nitrogen target environments. *Crop Science* 37:1110-1117.
- Bänziger M., Setimela PS., Hodson D., Vivek B.. 2006. Breeding for improved abiotic stress tolerance in maize adapted to southern Africa. *Agric. Water Manage.* 80: pp. 212 – 224.
- Bänziger M., and Diallo A.O.. 2004. Progress in developing drought and N stress tolerant maize cultivars for eastern and southern Africa. In: D.K. Friesen and A.F.E. Palmer (Eds.). Integrated Approaches to Higher Maize Productivity in the New Millennium. Proceedings of the 7th Eastern and Southern Africa Regional Maize Conference. pp.5-11
- Bänziger M., Edmeades G.O., Beck D. and Bellon M. 2000. Breeding for drought and nitrogen stress tolerance in maize: From theory to practice. Mexico, D.F.: International Maize and Wheat Improvement Centre (CIMMYT).

- Barrière Y. 2001. Le maïs et l'eau : une situation aujourd'hui paradoxale, maïs des progrès génétiques à attendre d'un idéotype redéfini. *Fourrages* (2001) 168, pp. 477-489
- Barrière Y. et Emile J. C. (2000 a) : "Le maïs fourrage. II) Evaluation des progrès génétiques réalisés et perspectives pour les prochaines décennies sur les caractères de valeur agronomique", *Fourrages*, 163, pp. 209-220.
- Basford K.E., and M. Cooper. 1998. Genotype-by-environment interactions and some considerations of their implications for wheat breeding in Australia. *Australian Journal of Agricultural Research* 49:153-174.
- Beadle C. L., 1993. Growth analysis, In : Hall, D. O. et al (Eds). *Photosynthesis and production in a changing environment: A field and Laboratory Manual.*, Chapman & Hall, London, pp 36-46
- Becker H.C., and J. Leon. 1988. Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding Review* 101:1-23.
- Below F.E. 1997. Growth and productivity of maize under nitrogen stress. In G.O. Edmeades, M. Banziger HR. Micheloné CB. Pena-Valdivia, eds. *Developing Drought and Low Nitrogen Tolerant Maize*. Proc. Symp., CIMMYT, El Batán, Mexico. 25-29 mar.1996. Mexico. DF CIMMYT.
- Ben Salem M., Boussen H. Et Slama A. ; 1997. Évaluation de la résistance à la contrainte hydrique et calorique d'une collection de blé dur : recherche de paramètres précoces de sélection. 6ème Journées scientifiques AUPELF/UREF, Biotechnologie Bhatia C.R., and R. Rabson. 1987. Relationship of grain yield and nutritional quality. In: R.A. Olson and K.J. Frey (Eds.). *Nutritional Quality of Cereal Grains: Genetic and Agronomic Improvement*. Agronomy Monograph No. 28. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, Wisconsin, USA. pp. 11-43
- Bensemmane L., Bouzerzour H., Benmahammed A., Mimouni H.. 2011. Assessment of the phenotypic variation within two- and six-rowed barley (*Hordeum vulgare* L.) breeding lines grown under semi-arid conditions. *Advanced environmental Biology*, 5: pp.1454-1460
- Blum A. 1996. Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. *Plant Growth Regulation*, 20:pp.135-148.
- Bolaños J. 1995. Physiological bases for yield differences in selected maize cultivars from Central America. *Field Crops Res*/ 42: pp.69-80.

- Bouchabké O., Tardieu F., Simonneau T., 2006. Leaf growth and turgor in growing cells of maize (*Zea mays* L.) respond to evaporative demand in well-watered but not in water saturated soil. *Plant, Cell and Environment* 29, 1138–1148.
- Bouharmont J. 1989. Utilisation de la variation somaclonale *in vitro* pour l'amélioration du riz. *IIème journée scientifique du Réseau AUPELF* .UREF de biotechnologie végétale. Paris *AUPELF* .UREF-John libbey Eurotext.
- Bouman B. A; M., Van Keulen, H. H. et Rabbinge, R., 1996. The school of the Wit, crop growth simulation modèle: A pedigree and historical overview. *Agricultural systems* 52(2-3): pp 171-198.
- Bousslama M. and Schapaugh W.T.; 1984: Stress tolerance in soybean. 1- Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Sci.*, 24: pp.933-937.
- Boussen H., Mellek-Maalej E., Nasr Z. Et Ben Mechlia N., 2005. Efficience d'utilisation de l'eau et de l'azote chez le Blé Dur : Etude comparative de deux variétés à haut potentiel de production. In : International Conference on "Water, Land and Food Security in Arid and Semi-Arid Regions". Bari-Italy 6-11 September 2005. *Proceedings Papers*: 11 p.
- Boussen H., Salem M. B., A. Slama A. Et Rezgui S., 2009. Evaluation de la tolérance au stress hydrique de quelques lignées de blé dur (*triticum durum* desf.). *Ann. De l'INRAT*, 2009, 82p
- Bouzerzour H., Benmahammed A. 2009. Variation in early growth, canopy temperature, translocation and yield of four durum wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes under semi-arid conditions. *Dirassat Journal of Agricultural Sciences, Jordan Univ.* 5: pp.142-154.
- Boyer S., 1970: Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean, and sunflower at various leaf water potentials. *Plant Physiology* 46, pp.233–235.
- Burke MJ., Gusta LV., Quamme HA., Weiser CJ., Li PH., 1976. Freezing and injury in plants. *Annual Review of plant physiology*, 27: pp.507-528.
- Cakir R., 2004: Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crop Research* 89 (1), 1–16.
- Carbone G. J., Kiechle W., Locke C., Mean L., McDaniel L., and Downton M., 2003. Response of soybean and sorghum to varying spatial scales of climate change scenarios in the southern United State. *Clim. Change* 60. pp73-98

- Cattivelli L., Rizza F., Badeck FW., Mazzucotelli E., Mastrangelo AM., Francia E., Mare C., Tondelli A., Stanca M.. 2008. Transcriptome analysis of cold acclimation in barley Albina and Xantha mutants. *Plant physiology*, 141: pp.257-270.
- Ceccarelli S. 2010. Plant breeding and climate change. In Ceccarelli, S. and Grando, S. (eds) 2010. *Proceedings of the 10th International Barley Genetics Symposium*, 5-10 April 2008, Alexandria, Egypt, pp.16-29.
- Challinor AJ., Wheeler TR., Garforth C., Craufurd P. and Kassam A .2007. *Assessing the vulnerability of food crop systems in Africa to climate change*. Climatic Change, 83 (3). 381 - 399. ISSN 0165-0009
- Chartzoulakis, K., Patakas, A., Kofidis, G., Bosabalidis, A. and Nastou, A. (2002) Water Stress Affects Leaf Anatomy, Gas Exchange, Water Relations and Growth of Two Avocado Cultivars. *Scientia Horticultura* 95, 39-50. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(02\)00016-X](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(02)00016-X)
- Chason J.W., Baldocchi, D.D. and Huston, M.A, 1991. A comparison of direct and indirect methods for estimating forest canopy leaf area. *Agric. For . Meteorol.*, 57: 107-128
- Chen T. H., A Henerson-Seller? PCD. Milly, AJ., Pitman, ACM. Beljaars, 1997. Cabauw experimental result from the Project for intercomparison of Land-surface Parameterization Schemes. *J climate*. 10: 1194-1251.
- CIMMYT (Centro Internatcional de Majoramiento de Maiz y Trigo)., 1999. Selected maize statistics. In : P. L. Pingali (Eds.). *Meeting World Maize Needs: Technological Opportunities and Priorities for the Public Sector*. Mexico, D.F. : CIMMYT. Pp. 60.
- Clarke J. M., De Pauw R. M. And Townley-Smith T.F.; 1992. Evaluation of methods for quantification of drought tolerance in wheat. *Crop Sci.*, 32: pp.723-728.
- Condon AG., Richards RA., Rebetzke GJ., Farquhar GD.. 2004. Breeding for high water-use efficiency. *J. Exp. Botany*, 55: pp.2447-2460.
- Cornic G. and Massacci, A. (1996) Leaf Photosynthesis under Drought Stress. In: Baker, N.R., Ed., *Photosynthesis and the Environment*, Kluwer Academic Publishers, New York, 347-366.
- Cosgrove D.J., 2005. Growth of the cell wall *Nature Reviews. Molecular Cell Biology* 6, pp.850–861.
- Crossa J., 1990. Statistical analyses of multilocation trials. *Advances in Agronomy* 44:55-85.

- Cuin T. A., Betts S.A., Chalmandrier R., Shabala S., 2008. Root's ability to retain K⁺ correlates with salt tolerance in wheat. *Journal of Experimental Botany*, 59: pp.2697- 2706
- Easterling W. E., Chhetri N. and X Niu. 2003. Improving the realism of modeling agronomic adaptation to climate change: simulation technological substitution. *Climatic change*. 60, pp.149-173
- Edmeades G.O., Bolanos J. Banziger M., Chapman S.C; OrtegaC., A., Lafitte H.R. Fischer K.S & Pandey S 1997. Recurrent selection under managed drought stress improves grain yield in tropical maize. In G.O Edmeades & C.B Pena Valdivia, eds. *Developping Drought and Low-Nitrogen Tolerant maize*. Proc of a Symp., CIMMYT , El Batan Mexico, 25-29 Mar 1996. Mexico, DF Cimmyt.
- Edmeades G.O., Banziger M., Chapman, S.C., Ribaut J.M. and Bolaños J. 1995. *Recent Advances in Breeding for Drought Tolerance in Maize*. Paper presented at the West and Central Africa Regional Maize and CassavaWorkshop, May 28-June 2 1995, Cotonou, Benin Republic.
- Edmeades G.O., Bolanos J. & Lafitte H.R 1992. Progress in breeding for drought tolerant in maize. In D Wilkinson, ed. Proc. 47th Ann. Corn and Sorghum Ind. Res. Conf., Chicago, Illinois, Dec. 1992, pp. 93-111. Washigton, DC, ASTA.
- FAOSTAT. 2013. FAOSTAT database, Food and Agriculture Organization
<http://faostat.fao.org>
- FAOSTAT. 2010. Statistical Database of the Food and Agriculture Organization
- Farshadfar E. and Sutka J.; 2002. Screening drought tolerance criteria in maize. *Acta Agronomica Hungarica*, 50(4): pp.411-416.
- Farshadfar E. And Sutka J.; 2003. Multivariate analysis of drought tolerance in wheat substation lines. *Cereal Res. Commu.*, 31: pp.33- 40
- Fischer K.S., Edmeades G.O., Johnson E.C., 1987. Recurrent selection for reduced tassel branche number and reduced leaf area density above the ear in tropical maize populations. *Crop ci.*, 27; pp.227-243.
- Gallais, 1984. *Physiologie du maïs*. Paris, France, INRA, 574 p.
- Gay J.P., 1984. *Fabuleux maïs*. Pau, France, AGPM, 295 p.
- Hay R. K. M., 1995. Harvest index: a review of its use in plant breeding and crop physiology, *Ann. Appl. Biol.*, 126: pp197-216.
- Hallauer AR. et Miranda J.B., 1981. *Quantitative genetics in maize breeding*. Ames, Etats-Un is, Iowa State University Press, 468 p.

- Jone H. G., 1993. Drought tolerance and water-use efficiency. In J. A. C. Smith & H. Griffiths, eds. *Water deficits – plant responses from cell to community*, pp. 193-203. Oxford, UK. Bios Scientific.
- Norman M.J.T., Pearson C.J., Searle P.G.E., 1995. *The ecology of tropical food crops*. New York, NY, USA, Cambridge University Press. 340 p.
- ONACC, Évaluation économique de l'impact des changements climatiques sur les rendements des cultures vivrières dans les régions, 2019.
- ONACC, analyse de l'évolution des paramètres climatiques dans les régions de l'Est l'extrême Nord du Centre et du Sud-ouest Cameroun, 2018-2019.
- Paliwal R. L., 2002. Morphologie du maïs tropical., in : « Le maïs en zones tropicales Amélioration et Production », Rome 2002, pp 13-20.
- Passioura J. 2004. Increasing crop productivity when water is scarce: from breeding to field management. In proceedings of the 4th International Crop Science Congress "New directions for a diverse planet" Brisbane, Australia. 12 p, www.regional.org.au/au/cs
- Pluviométrie et température dans la région du Centre Cameroun : analyse de l'évolution de 1950-2015 et projections jusqu'à l'horizon 2090.
- Reynolds MP., Mujeeb-Kazi A., Sawkins M.. 2005. Prospects for utilizing plant-adaptive mechanisms to improve wheat and other crops in drought- and salinity prone environments. *Ann. Appl. Biol.*, 146: pp.239–259.
- Richards RA., Reitzke GJ., Van Herwaarden AF., Duggan BL., Condon AG., 1997. Improving yield in rainfed environments through physiological plant breeding. *Dryland Agriculture*, 36: pp.254-266.
- Witcombe JR., Hollington PA., Howarth CJ., Reader S., Steel KA., 2009. Breeding for abiotic stress for sustainable agriculture. *Phil. Trans. R. Soc. B.*, 363: pp.703-716.

ANNEXES

Annexe 1 : Fiche d'enquête

THEME : Criblage des variétés de maïs (*Zea mays* L.) pour leur tolérance au stress hydrique et aux maladies dans l'Arrondissement d'Awae

Questionnaire d'enquête adressé aux cultivateurs de maïs dans l'Arrondissement d'Awae

NB : Les informations collectées au cours de cette enquête sont strictement confidentielles, anonymes et ne sont utilisées qu'à des fins académiques cette règle de confidentialité est régie par la loi N° 91/023 du 16 Décembre 1991. Veuillez répondre sans craintes afin que les résultats reflètent la réalité du terrain.

I- Identification de l'enquêté

- 1- Age : 1) [18-25 [2) [25-30 [3) [30-35 [4) [35-40 [5) [40-45 [6) [45-50 [7) [50-55 [8) [55-60 [9) [60 et plus
- 2- Sexe : Féminin ☐ Masculin ☐
- 3- Situation matrimoniale : Marié ☐ Célibataire ☐ Divorcé ☐ Veuve ☐
- 4- Niveau d'études : 1) Jamais à l'école ☐ 2) Primaire ☐ 3) Secondaire ☐ 4) Supérieur autres.....
- 5- Profession principale : 1) Cultivateur (trice) ☐ 2) Commerçant(e) ☐ 3) Fonctionnaire ☐ autres.....
- 6- Nombre d'enfants : 1) [0-1 [2) [1-2 [3) [3-6 [4) [6-9 [5) [9 et plus

II- Production du maïs

- 7- Qu'est ce qui a motivé le choix de vos cultures ? 1) La fluidité sur le marché ☐ 2) ☐ La pratique de l'élevage ☐ 3) L'alimentation ☐ 4) Plante à court cycle ☐
- 8- Quels sont les types de maïs que vous cultivez ? 1) Les hybrides Les hybrides ☐ 2) ☐ Les composites ☐ 3) Les variétés locales ☐
- 9- Quelles sont les variétés de maïs que vous cultivez ? 1) LG 336 ☐ 2) Biosem ☐ 3) 5560 ☐ 4) CMS8704 ☐ 5) CHH 101 ☐ 6) ☐ HC 202 ☐ CHC 201 ☐ 8) VMR ☐ 9) VMB ☐
- 10- Quelles sont les maladies rencontrées dans vos plantations ? 1) L'helminthosporiose ☐ 2) La striure ☐ 4) La rayure ☐ 5) La mosaïque ☐ 6) Le mildiou ☐

- 11- Qu'est ce qui a motivé le choix de vos parcelles ? 1) La fertilité du sol ☐ 2) La proximité du cours d'eau ☐ 3) La proximité de la route ☐ 4) La proximité de la maison ☐ 5) Disponibilité de l'espace ☐
- 12- Comment avez-vous fait pour acquérir votre terrain ? 1) Par héritage ☐ 2) Par achat ☐ 3) Par location ☐ 4) Par métayage ☐
- 13- Combien de parcelles possédez-vous ? 1) [1-2] 2) [2-4] 3) [4-6] 4) [6-8] 5) [8-10] 6) [10 et plus]
- 14- Quelle est la qualité des semis utilisés ? 1) Variétés locales ☐ 2) Variétés composites ☐ 3) Variétés hybrides ☐
- 15- Quelle est la taille de vos parcelles ? 1) Petite ☐ 2) Moyenne ☐ 3) Grande ☐ 4) Vaste ☐
- 16- Où se situe votre parcelle ? 1) Sur le versant d'une colline ☐ 2) Dans la vallée ☐ 3) Sur un sol plat ☐
- 17- Travaillez-vous en groupe ? 1) Oui ☐ 2) Non ☐
- 18- Si oui, un groupe de combien de personnes ? 1) [1-3] 2) [3-6] 3) [6-9] 4) [9 et plus]
- 19- Si non, avec l'aide familiale ? 1) Oui ☐ 2) Non ☐
- 20- De combien de personnes ? 1) [1-5] 2) [5-10] 3) [10-15] 4) [15 et plus]
- 21- Les employés sont-ils 1) Permanents ☐ 2) Temporaires ☐
- 22- Avez-vous une activité autre que l'agriculture ? 1) Oui ☐ 2) Non ☐
- Si _____ oui, _____ citer
les.....
Pourquoi ?
.....
- 23- Comment préparez-vous les sols ? 1) Par défrichage ☐ 2) Par feux de brousse ☐ 3) Par labourage
- 24- Comment se fait le labour ? 1) à plat sur profondeur de 30 cm ☐ 2) En billons sur une hauteur de 30 cm au moins ☐ 3) zéro labour ☐
- 25- Si c'est en billon, quel est le sens de la disposition des billons ? 1) Sens de la pente ☐ 2) Sens du cours d'eau ☐ 3) Contre le sens de la pente ☐ 4) Contre le sens du cours d'eau ☐
- 26- Comment et quand semez-vous ? 1) Après les pluies ☐ 2) Avant les pluies ☐
- 27- Respectez-vous le calendrier agricole ? 1) Oui ☐ 2) Non ☐
- 28- Utilisez-vous les intrants ? 1) Oui ☐ 2) Non ☐

- 29- Si oui, à quel moment les utilisez-vous ? 1) Au levée de la plante ☐ 2) Avant la levée de la plante ☐
- 30- Utilisez-vous les engrais organiques et chimiques ? 1) Oui ☐ 2) Non ☐
- 31- Lesquels ? 1) Fiente de poule ☐ 2) Engrais spécifiques de maïs ☐ 3) Urée ☐ 4) ☐ 20 10 ☐
- 32- Quelles techniques utilisez-vous pour répandre vos engrais ? 1) Epandage au pied de la plante ☐ 2) Epandage en bande après levée ☐ 3) Epandage en bande au semis ☐ 4) ☐
- Quels soins particuliers apportez-vous aux champs ? 1) Fertilisation ☐ 2) Sarclobutage ☐ 3) Utilisation des herbicides ☐
- 33- Faites-vous un traitement phytosanitaire ? 1) Oui ☐ 2) Non ☐
- 34- Si oui, combien de passages faites-vous ? 1) [1-2 [☐ 2) [2-4 [☐ 3) [4 et plus ☐
- 35- Comment séchez-vous votre maïs ?
- 36- Rencontrez-vous des problèmes au niveau du séchage ?
- 37- Si oui, à quoi cela est dû ?
- 38- Comment conservez-vous votre production de maïs ? 1) dans des sacs en jute ☐ 2) des cribs ☐ 3) dans un grenier ☐ 4) dans des sacs ☐ 5) Autres.....
- 39- Quels modes de transport utilisez-vous pour évacuer vos produits des champs ? 1) Par tête ☐ 2) Par voiture ☐ 3) Par moto ☐ 4) Par pousse-pousse ☐ 5) Autres moyens.....
- 40- Pourquoi cultivez-vous le maïs ? 1) Consommation domestique ☐ 2) Commercialisation ☐ 3) Consommation et commercialisation ☐
- 41- Comment rendez-vous votre.....
- 42- Comment rendez-vous votre
- 43- Où sont vendus vos produits ? 1) Au champ ☐ 2) Au marché local ☐ 3) Autres.....
- 44- Combien de campagnes de maïs distinguez-vous ? 1) Une ☐ 2) Deux ☐
- 45- Quels sont les problèmes que vous rencontrez dans la production de maïs par campagne ?
- Première campagne.....
- Deuxième campagne.....
- 1) Sécheresse prolongée ☐ 2) Modification du sol ☐ 3) Excès de pluie ☐ 4) Températures élevées ☐ 5) Excès de vent ☐ 6) Problème de financement ☐

46- Estimation de la production de maïs par campagne par tonne à l'hectare

Première campagne 1) [1-2] 2) [2-4] 3) [4-6] 4) [6-8] 5) [8 et plus]

Deuxième campagne 1) [1-2] 2) [2-4] 3) [4-6] 4) [6-8] 5) [8 et plus]

47- La production de maïs varie-t-elle par campagne ? 1) Oui ☐ 2) Non ☐

48- Est-elle restée stable ? 1) Oui ☐ 2) Non ☐

49- Comment a été votre rendement ces dernières années ? 1) En baisse ☐ 2) En hausse ☐

50- A quoi cela est dû ? 1) Variabilité climatique ☐ 2) Pauvreté du sol ☐ 3) Manque ☐
d'engrais, 4) Stress hydrique

51- Travaillez-vous en collaboration avec les moniteurs agricoles ? 1) Oui ☐ 2) Non ☐

52- Si oui qu'est-ce qu'ils vous apportent de bénéfique dans l'exercice de votre activité ?

1) apport financier ☐ 2) apport technique ☐ 3) apport conseil ☐ 4) apport
formation ☐

53- Travaillez-vous en collaboration avec 1) les ONG ☐ 2) les coopératives ☐ 3) les
GIC ☐

54- Qu'est-ce qu'ils vous apportent de bénéfique? 1) Apport financier ☐ 2) Apport
technique ☐ 3) Apport de formation ☐ 4)
Autres.....

III. : Criblage des variétés de maïs (*Zea mays* L.) pour leur tolérance au stress hydrique et aux maladies dans l'Arrondissement d'Awae

55- Effet des pluies violentes sur la culture de maïs : 1) Destruction des plantes ☐ 2)
Inondations des bas-fonds forte ☐ 3) Erosion des sols ☐ 4) Lessivage des engrais
et produits phytosanitaires ☐ 5) autres ☐

56- Effet des pluies irrégulières sur la culture de maïs 1) Forte déshydratation des plantes ☐
2) Ralen^tissement de la croissance des plantes ☐ 3) Assèchement des sols ☐ 4)
Baisse de la production 5) ☐ autres

57- Effets des températures élevées sur la production de maïs : 1) Brûlures sur les feuilles ☐
2) Ralentissement de la croissance de la plante ☐ 3) autres

58- Effets des vents violents sur la plante de maïs : 1) Cassure des tiges ☐ 2) Destruction
des plantes ☐ 3) Baisse de la production ☐ 4) autres

59- Retour précoce de pluies : 1) Anticipation de labour ☐ 2) Anticipation des semis ☐

60- Retour tardif des pluies : 1) Retarde les travaux ☐ 2) Retarde les semis ☐
3) Diminution de la production ☐ 4) autres

61- Fin tardive des pluies : 1) pourriture des grains ☐ 2) Production médiocre ☐ 3) ☐
autres

a) Options d'adaptation

62- Pas d'option d'adaptation 1) Oui 2) Non

Contre les fortes pluies : 1) Construction des rigoles autour des champs ☐ 2)
Renforcement des techniques culturales ☐ 3) Renforcement des traits phytosanitaires ☐
4) Utilisation des semences résilientes

63- Contre les fortes températures : 1) Intensification de l'irrigation en période de sécheresse ☐ 2) Adoption des systèmes d'irrigation efficaces ☐ 3) Mise sur pied d'un système de drainage ☐

64- Contre les vents violents : 1) Construction des haies vives ☐ 2) Adapter les cultures aux saisons ☐ 3) Adapter les cultures à la morphologie du relief ☐

65- Contre les retours tardifs des pluies : 1) Les re-semis ☐ 2) Tremper les graines dans l'eau ☐

66- Quels sont les impacts au niveau de l'environnement des options d'adaptation appliquées : 1) Augmentation du niveau d'eau du sol ☐ 2) Diminution du pourcentage des champs concernés par l'érosion ☐ 3) Augmentation de la biodiversité
Autres.....

Annexe 2: Méthode de collecte des données par objectifs

Objectifs spécifiques	Informations recherchées	Outils de collecte	Populations cibles
Evaluer les paramètres de croissance des variétés de maïs ;	Les intervenants dans la filière maïs Leurs natures Principales activités réalisées Les variétés utilisées	Questionnaire Revue documentaire • Mémoires des étudiants	Les producteurs de maïs
Identifier les variétés résistantes aux maladies ;	Identification de la maladie Mode de traitement Différents ravageurs rencontrés en champ Identification de la sévérité de la	Questionnaire Revue documentaire	Tous les producteurs de maïs

Objectifs spécifiques	Informations recherchées	Outils de collecte	Populations cibles
	maladie Indentification de l'incidence de la maladie		
Déterminer les rendements de chaque variété	Production à l'hectare Poids de 100 grains Poids de toute la production	Questionnaire Revue documentaire Mémoires Site internet	Tous les producteurs de maïs
Identifier les variétés résistantes au stress hydrique ;	Comportement de la plante en champ Itinéraires techniques de production. Provenance des semences Connaissance sur le calendrier agricole.	Questionnaire Revue documentaire.	Tous les producteurs de maïs.

Annexe 2 : Fiche de prise des paramètres

THEME : Criblage des variétés de maïs (*Zea mays* L.) pour leur tolérance au stress hydrique et aux maladies dans l'Arrondissement d'Awae

Fiche de suivi d'une expérience menée dans l'arrondissement de awae : paramètres de croissance ; Diamètre du Collet(DC) après 2 semaines

NB: Les informations collectées au cours de cette expérience sont strictement confidentielles, anonymes et ne sont utilisées qu'à des fins académiques

N°	Répétitions	Variétés	LG 336	Biosem	5560	CHH 101	CMS 8704	CHC 202	CHC 201	VMR	VMB
1	R1										
2											
3											
4											
5											
6											
7											

8										
9										
10										
11	R2									
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21	R3									
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30										

THEME : criblage des variétés de maïs (*Zea mays* L.) pour leur tolérance au stress hydrique et aux maladies dans l'Arrondissement d'Awae

Fiche de suivi d'une expérience menée dans l'arrondissement de awae : paramètres de croissance ; nombre de feuilles vertes (NFV) après 2 semaines

NB: Les informations collectées au cours de cette expérience sont strictement confidentielles, anonymes et ne sont utilisées qu'à des fins académiques

N°	Repetitions	Variétés	LG 336	Biosem	5560	CHH 101	CMS 8704	CHC 202	CHC 201	VMR	VMB
1											

2	R1									
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11	R2									
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21	R3									
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30										

THEME : Criblage des variétés de maïs (*Zea mays* L.) pour leur tolérance au stress hydrique et aux maladies dans l'Arrondissement d'Awae

Fiche de suivi d'une expérience menée dans l'arrondissement de awae : paramètres de croissance ;

Hauteur du Plant (HP) après 2 semaines

NB: Les informations collectées au cours de cette expérience sont strictement confidentielles,

anonymes et ne sont utilisées qu'à des fins académiques

N°	Répétitions	Variétés	LG 336	Biosema	5560	CHH 101	CMS 8704	CHC 202	CHC 201	VMR	VMB
1	R1										
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11	R2										
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21	R3										
22											
23											
24											
25											
26											
27											

28										
29										
30										

THEME : Criblage des variétés de maïs (*Zea mays* L.) pour leur tolérance au stress hydrique et aux maladies dans l'Arrondissement d'Awae

Fiche de suivi d'une expérience menée dans l'arrondissement de awae : paramètres de maladie ; incidence de la maladie après 4 semaines

NB: Les informations collectées au cours de cette expérience sont strictement confidentielles, anonymes et ne sont utilisées qu'à des fins académiques

N°	Répétitions	Variétés	LG 336	Biosem	5560	CHH 101	CMS 8704	CHC 202	CHC 201	VMR	VMB
1	R1										
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11	R2										
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											

22	R3										
23											
24											
25											
26											
27											
28											
29											
30											

THEME Criblage des variétés de maïs (*Zea mays* L.) pour leur tolérance au stress hydrique et aux maladies dans l'Arrondissement d'Awae

Fiche de suivi d'une expérience menée dans l'arrondissement de awae : paramètres de maladie ;
sévérité de la maladie après 4 semaines

NB: Les informations collectées au cours de cette expérience sont strictement confidentielles, anonymes et ne sont utilisées qu'à des fins académiques

N ⁰	Répétitions	Variété	Pourcentage	LG 36	Biosem	5560	CHH 101	CMS 8704	CHC 202	CHC 201	VMR	VMB	VMB
1	R1												
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11	R2												
12													
13													
14													

15												
16												
17												
18												
19												
20												
21	R3											
22												
23												
24												
25												
26												
27												
28												
29												
30												

THEME Criblage des variétés de maïs (*Zea mays* L.) pour leur tolérance au stress hydrique et aux maladies dans l'Arrondissement d'Awae

fiche de suivi d'une expérience menée dans l'arrondissement de awae : paramètre de rendement ; nombre moyens d'épis par tige

NB: Les informations collectées au cours de cette expérience sont strictement confidentielles, anonymes et ne sont utilisées qu'à des fins académiques

N°	Répétitions	Variétés	LG 36	Biose	5560	CHH 101	CMS 8704	CHC 202	CHC 201	VMR	VMB
1	R1										
2											
3											
4											
5											
6											
7											

8										
9										
10										
11	R2									
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21	R3									
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30										

THEME : Criblage des variétés de maïs (*Zea mays* L.) pour leur tolérance au stress hydrique et aux maladies dans l'Arrondissement d'Awae

Fiche de suivi d'une expérience menée dans l'arrondissement de awae : paramètres rendement ; poids moyen de 100 graines sèches

NB: Les informations collectées au cours de cette expérience sont strictement confidentielles, anonymes et ne sont utilisées qu'à des fins académiques

Variétés	LG 336	Biosema	5560	CHH 101	CMS 8704	CHC 202	CHC 201	VMR	VMB
Poids									

Pourcentage									
-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

THEME : Criblage des variétés de maïs (*Zea mays* L.) pour leur tolérance au stress hydrique et aux maladies dans l'Arrondissement d'Awae

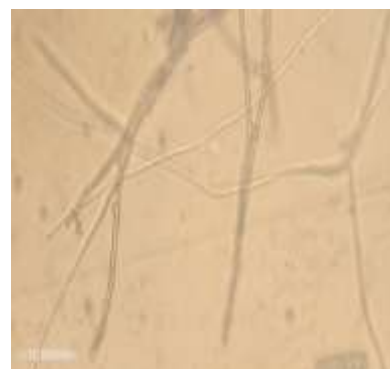
Fiche de suivi d'une expérience menée dans l'arrondissement de awae : paramètres rendement ; rendement moyen

NB: Les informations collectées au cours de cette expérience sont strictement confidentielles, anonymes et ne sont utilisées qu'à des fins académiques

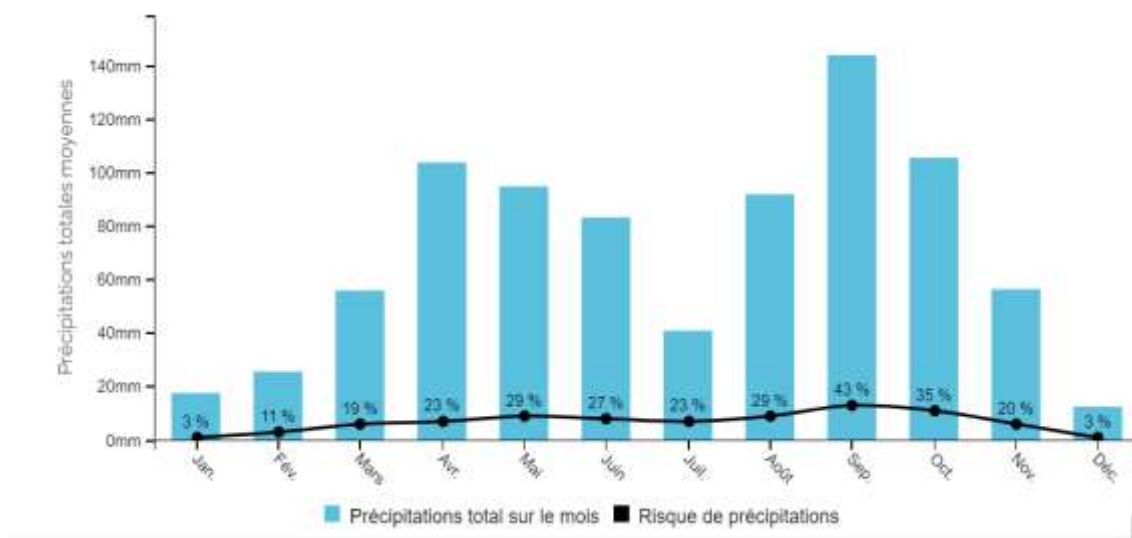
Variétés	LG 336	Bioseem	5560	CHH 101	CMS 8704	CHC 202	CHC 201	VMR	VMB
Rdt moyen									
Pourcentage									

Annexe 3 : Quelques images du terrain





Annexe 4 : pluviométrie et température de l'Arrondissement d'Awae



**Annexe 5 : Compte d'exploitation pour la production de 1ha de semences de maïs
CMS 8704**

Designation	Unité	Quantité	Prix unitaire(FCFA)	Prix total(FCFA)
Achat machettes	FF	6	3 000	18000
Achat houes	FF	5	3 500	17500
Achat binette	FF	6	1 500	9000
Achat semence maïs	Kg	25	800	20000
Achat engrais	Sac	5	22 000	110000
Achat insecticide	Litre	7	5 500	38500
Achat sachets	Sachet	3 500	10	35000
Achat insecticide de protection des semences	Litre	4	7 500	30000
Achat herbi maïs	Litre	5	5 000	25000
Achat engrais foliaire	Litre	5	4 000	20000
Défrichage	ha	1	50 000	50000
Nettoyage	ha	1	65 000	65000
Piquetage	FF	1	25 000	25000
Semis	FF	1	40 000	40000
Saclo-buttage	FF	1	65 000	65000
Fertilisation	FF	1	15 000	15000
Application insecticide	FF	1	15 000	15000
Application engrais foliaire	FF	1	15 000	15000
Application herbi maïs	FF	1	15 000	15000
Epandage engrais	FF	1	15 000	15000
Récolte	FF	1	60 000	60000
Séchage	FF	1	80 000	80000
Egrainage	FF	1	35 000	35000
Vanage	FF	1	15 000	15000
Conservation dans les sachets	FF	1	10 000	10000
Commercialisation	FF	1	60 000	60000
Transport	FF	1	50 000	50000
Total	FF			953000

Rendement moyen: 3,5t/ha; soit 3 500kg/ha; le prix de vente du kilogramme (kg): 800 FCFA				
Recette	FF	3 500	800	2800000
Benefice	(FCFA): FF	2 800 000	953 000	1 847 000
RECETTE - DEPENSE				