

# REPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Année Académique : 2021-2022

## MÉMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

### MASTER

DE BIORESSOURCES ET AGRONOMIE

Option : Amélioration des ressources Agricoles

Présenté par

**KONE Issouf**

Numéro d'ordre : 041-2022

### THÈME :

---

**Caractérisations physiologiques et biochimiques de quatre nouvelles lignées (S116, S138, S143, S148) de maïs rouge (*Zea mays* L.) à Daloa (Côte d'Ivoire).**

---

Date de soutenu publiquement : 11 / 07 / 2022

Composition du jury :

M. M. ANGAMAN Djédoux Maxime, Maître de Conférences, UJLoG,

**Président de jury**

M. AYOLIÉ Koutoua, Maître de Conférences, UJLoG,

**Directeur Scientifique**

M. Yao Kouakou François KONAN, Maître -Assistant, UJLoG,

**Encadreur**

M N'DEPO Ossey Robert, Maître de Conférences, UJLoG,

**Examineur**

## **DÉDICACE**

À

Ma famille

J'espère être à la hauteur de leur espérance

## REMERCIEMENTS

Un mémoire de Master est avant tout un travail de réflexion collective, d'initiation à la recherche et aux activités professionnelles. Au terme de ce travail, il nous est agréable de remercier toutes les personnes qui ont contribué à sa réalisation.

Ainsi, nos remerciements vont-ils à l'endroit de :

-Madame **TIDOU Abiba Sanogo** épouse **KONÉ**, Professeur Titulaire d'Hydrologie et Ecotoxicologie, Présidente de l'Université Jean Lorougnon Guédé, pour son dévouement à la bonne marche de cette institution qu'elle a la lourde charge de diriger.

-Nous remercions, le Vice-président de l'Université Jean Lorougnon Guédé, Monsieur **KONÉ Tidiani**, Professeur Titulaire en Hydrobiologie, chargé de la Pédagogie, de la Vie Universitaire, de la Recherche et de l'Innovation Technologique de l'Université Jean Lorougnon Guédé, pour les efforts qu'il déploie au sein de cette structure pour encourager les étudiants à la recherche et pour sa rigueur dans le travail.

-Monsieur **AKAFFOU Douffou Sélastique**, Professeur Titulaire en génétique, Vice-président de l'Université Chargé de la Planification, de la Programmation et des Relations Extérieures, pour ses efforts qu'il déploie au sein de cette structure pour la meilleure formation des étudiants.

-Madame **TONESSIA Dolou Charlotte**, Maître de Conférences en Physiologie Végétale, Directrice d'URF Agroforesterie, pour ses efforts consentis pour le bon fonctionnement de l'UFR à travers les facilitations administratives et la formation dont nous avons bénéficié durant notre parcours dans ladite UFR.

-Monsieur **SOUMAHIN Eric Francis**, Maître-Assistant en Production Végétale, Responsable de la Filière « Bioressources », pour ses conseils, sa disponibilité et surtout sa promptitude à résoudre les problèmes.

-Monsieur **AYOLIÉ Koutoua**, Maître de Conférences en agrophysiologie végétale, Enseignant-chercheur à l'UFR Agroforesterie de ladite Université et Directeur Scientifique de ce mémoire pour sa disponibilité, ses conseils et surtout ses efforts pour la création des conditions favorables au bon déroulement de ce travail.

-Monsieur **KONAN Yao Kouakou François**, Maître-Assistant en physiologie végétale pour l'encadrement de ce travail. Vous avez été pour nous une source de motivation, de courage, d'ambition et bien souvent de surpassement. Merci de nous avoir confié ce travail et d'avoir œuvré pour sa réalisation. Vous nous avez donné la confiance en soi, l'envie d'avancer et la volonté de faire encore mieux. Vos qualités intellectuelles et humaines, votre amour pour le travail bien fait nous ont marqué. Merci pour vos conseils et vos encouragements généreusement offerts avec le sourire et la bonne humeur. Nous vous exprimons notre admiration pour vos grandes qualités tant scientifiques qu'humaines.

Nous adressons nos vifs remerciements aux les membres du jury, qui ont bien voulu consacré une partie de leur temps à l'examen de notre travail :

-Monsieur **ANGAMAN Djédoux Maxime**, Maître de Conférences, à l'Université Jean Lorougnon Guédé, d'avoir accepté de présider ce jury, malgré ses nombreuses occupations universitaires.

-Monsieur **N'DEPO Ossey Robert**, Maître de Conférences, à l'Université Jean Guédé d'avoir accepté d'exercer cette tâche en tant qu'examineur de ce mémoire.

De plus nous remercions tous les Enseignants-chercheurs des UFR Agroforesterie et Environnement, en particulier ceux de la filière bioressource pour la richesse, la qualité de leur enseignement et les grands efforts qu'ils déploient pour assurer une formation actualisée à tous leurs étudiants

Nos remerciements vont également à l'endroit de **Dr. KANGA Ahou Nadia, M. KOFFI Tahia Jean Yves** et **M. KOUADIO Leonard** Doctorants dans le laboratoire d'amélioration de la production agricole pour leur disponibilité, conseils surtout pour leur aide dans les analyses statistiques et encouragements tout au long de cette étude.

Enfin, à tous nos camarades de promotion qui nous ont soutenus d'une manière ou d'une autre durant nos études dans la rédaction du présent document.

Que toutes les personnes que nous avons oubliés de citer trouvent dans ce dernier paragraphe nos sincères reconnaissances et nos remerciements distingués.

## TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE.....	i
REMERCIEMENTS .....	i
LISTE DES ABREVIATIONS .....	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
LISTE DES FIGURES .....	ix
INTRODUCTION.....	1
<b>PREMIÈRE PARTIE : GÉNÉRALITÉS<sup>3</sup></b>	
1. Généralités sur le maïs .....	3
1.1. Origine et distribution .....	3
1.2. Position systématique.....	3
1.3. Description du maïs.....	3
1.4. Écologie.....	5
1.5. Étude physiologique et développement du maïs. ....	5
1.5.1. Phase de la germination.....	5
1.5.2. Phase de la formation des aigrettes et pollinisation .....	5
1.5.3. Phase du développement de l'épi a la maturité.....	5
1.6. Implantation géographique de maïs en côte d'ivoire .....	6
1.7. Maladies et ravageurs.....	12
1.7.1. Anthracnose.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.7.2. Charbon commun .....	12
1.7.3. Fusariose.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.7.4. Charançons .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.7.5. Maladie virale : le virus.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.8. Maladies physiologiques .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.8.1. Maladies de carences en éléments minéraux.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.8.2. Maladies causées par les microorganismes .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.9. Méthode de lutte.....	12
1.9.1. Lutte biologique .....	12
1.9.2. Lutte biotechnologique.....	13

1.9.3. Lutte chimique.....	13
1.9.4. Lutte génétique.....	13
1.10. Importances socio-économiques, nutritionnelles du maïs.....	6
1.10.1. Importances sociales.....	6
1.10.2. Importances nutritionnelles.....	7
1.10.3. Importances économique.....	8
1.10.4. Importance thérapeutique.....	8
1.11. Contrainte de la production du maïs en côte d'ivoire.....	11
1.12. Généralités sur les composés physiologiques et biochimiques.....	8
1.12.1. Pigments foliaires.....	8
1.12.2 Chlorophylle a.....	9
1.12.3. Chlorophylle b.....	9
1.12.4. Caroténoïdes.....	9
1.13. Composés biochimiques.....	9
1.13.1. Phénylalanine Ammonia-Lyase.....	9
1.13.2. Polyphénoloxydase.....	11
1.13.3. Peroxydases.....	11
1.13.4. Tyrosine ammonia-lyase et phénylalanine ammonia-lyase.....	10
1.13.5. Catalase et Ascorbate peroxydase.....	11
1.13.6. Sucres totaux.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.13.7. Composés Phénoliques.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.13.8. Proline.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

## DEUXIÈME PARTIE : MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Zone d'étude.....	19
2. 2. Matériel.....	19
2.2.1. Matériel végétal.....	20
2.2.2. Matériels techniques.....	20
2.3. Méthodes.....	21
2.3.1. Dispositif expérimental.....	21
2.3.2. Conduite de l'essai.....	21

2.3.3. Échantillonnage et conservation des feuilles .....	21
2.3.4. Extraction et dosages des composants .....	22
2.3.4.1. Composants physiologiques .....	22
2.3.4.2. Composants biochimiques.....	22
2.3.4.2.1. Extraction et dosage des composés phénoliques .....	22
2.3.4.2.2. Extraction et dosage des sucres totaux .....	23
2.3.4.2.3. Extraction et dosage de la proline .....	23
2.3.4.3. Extraction et dosage des Activités enzymatiques .....	24
2.3.4.3.1. Extraction et purification enzymatiques.....	24
2.3.4.3.2. Dosage des polyphénoloxydases .....	24
2.3.4.3.3. Dosage des peroxydases .....	25
2.3.4.3.4. Dosage de la phénylalanine ammonia-lyase et de la tyrosine ammonia-lyases ...	25
2.3.4.3.5. Dosage de l'ascorbate peroxydase et de la catalase .....	25
2.4. Analyses statistiques .....	26
<b>TROISIÈME PARTIE : RÉSULTATS ET DISCUSSION</b>	
3.1. Résultats .....	27
3.1.1. Évaluation de la teneur en pigments chlorophylliens et caroténoïde .....	27
3.1.2. Évaluation des composés biochimiques .....	28
3.1.3. Évaluation de l'activité enzymatique .....	28
3.1.4. Matrice de corrélation .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.2. Discussion .....	34
CONCLUSION .....	37
RÉFÉRENCES.....	37

## LISTE DES ABREVIATIONS

ANOVA: Analyse de Variance

APx: Ascorbate Peroxydase

CAT : Catalase

CIRAD : Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

CNRA : Centre National de Recherche Agronomique EDTA : Ethylène diaminotétra-acétique acide

FAO : Food and Agriculture Organization (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture)

FAOSTAT : The Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Data base (La base de données statistique de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture)

GNIS : Groupement National Interprofessionnel des Semences et plants

PAL: Phénylalanine ammonia-lyase

PEG: Polyéthylène glycol

POD : Peroxydases

PPO : Polyphénol Oxydase

PVP : Polyvinylpyrrolidone

RONGEAD : Réseau Européen des Organisations Non Gouvernementales sur les questions Agro-alimentaires et le Développement

TAL : Tyrosine ammonia-lyase

UJLoG : Université Jean Lorougnon Guédé

nM : Nanomètre.

## **LISTE DES TABLEAUX**

<b>Tableau I:</b> Pourcentages des composants chimique dans le maïs .....	7
<b>Tableau II:</b> Matériel technique et du laboratoire utilisés.....	20
<b>Tableau III:</b> Teneurs en pigments foliaires des feuilles des lignées et témoin du maïs .....	27
<b>Tableau IV:</b> Composés biochimiques des feuilles de lignées et témoin du maïs .....	28
<b>Tableau V:</b> Quantités d'enzymes dans les feuilles de lignées et témoin du maïs.....	30
<b>Tableau VI:</b> Matrice de corrélation.....	32

## **LISTE DES FIGURES**

Figure 1: Structure d'un pied de maïs .....	4
Figure 2: Carte de Daloa présentant le site d'étude .....	19
Figure 3: Plante de maïs rouge âgée de trois semaines .....	20
Figure 4: Dispositif expérimental.....	21

# **INTRODUCTION**

Le maïs (*Zea mays L.*) est une plante tropicale herbacée de la famille des Poaceae. Il est originaire d'Amérique centrale et présente un métabolisme photosynthétique de type C4, qui confère à la plante une efficacité supérieure à celle des poaceae tempérée dans la conversion de l'énergie lumineuse (Gay, 1984). C'est une plante de jours courts. Le maïs est également une espèce principalement cultivée dans les régions tropicales et particulièrement dans les zones sud du Sahara en Afrique (Doffangui, 1997). C'est l'une des céréales la plus cultivée au monde. Le marché mondial du maïs est porté par les États-Unis, le Brésil, l'Argentine, l'Ukraine et accessoirement par l'Afrique du Sud (Lobell et al., 2011). Sa production mondiale est de 1,2 Milliard de tonnes pour une superficie de 201 millions ha (FAO, 2020). En Afrique, la production est estimée à plus de 90 millions de tonnes pour une superficie de 43 millions ha (FAO, 2020).

En Côte d'Ivoire, le maïs occupe une place de choix aussi bien dans l'alimentation des populations ivoiriennes que dans la nutrition animale. Il est présent dans toutes les zones rurales ivoiriennes avec une production nationale estimée à 1,2 million de tonnes, pour une superficie totale de 56 milles ha (FAO, 2020). La consommation nationale est estimée à environ 28,4 kg/habitant/an (Countrystat, 2013). Dans la nutrition humaine, le maïs est consommé sous plusieurs formes (braisée, bouillie, farine etc.). Il peut être transformé également pour obtenir une gamme variée de produits comme les semoules de maïs. Il est utilisé aussi pour la confection de plastiques biodégradables, de biocarburants et même de l'alcool (Hoopen & Maïga, 2012). Le maïs est donc une plante très prometteuse, sa vulgarisation peut apporter un développement considérable dans la filière agricole en Côte d'Ivoire et dans la sous-région Ouest-Africaine pour réduire l'insécurité alimentaire.

Cependant, malgré ces divers atouts, cette culture est influencée par les aléas du changement climatique, l'utilisation des variétés traditionnelles à très faible potentielle de productivité, la dégénérescence génétique des variétés, la perte de fertilité des sols, des maladies et ravageurs etc. Ce qui induit une baisse considérable de la production de maïs dans la grande zone de production du Nord, voir sur toute l'étendue de la Côte d'Ivoire (Lobell *et al.*, 2011).

Pour remédier à ces problèmes sur-cités, de nombreuses solutions sont recherchées à travers le monde. Ce sont principalement : l'utilisation de fertilisants adéquats et l'utilisation de nouvelles variétés performantes le plus souvent introduites. Certaines solutions ont porté sur l'appréciation de critère morphologique et physiologique. De plus, en génétique, des études

ont été menées sur des génotypes jugés tolérants pouvant présenter des mécanismes différents d'adaptation ( Doffangui, 1997).

En vue de rechercher une solution durable à la variabilité climatique et la perte de la fertilité des sols agricoles, un programme de recherche sur la mise au point de nouvelles variétés de maïs adaptées aux conditions pédologiques des sols du Nord de la cote d'ivoire a été mis au point par l'Agence Internationale de l'énergie Atomique (AIEA). C'est dans ce cadre, que la présente étude s'intéresse à la caractérisation physiologique et biochimique de quatre nouvelles lignées de maïs rouge a été réalisée. Pour ce faire, l'objectif général de ce travail est de connaître le comportement agronomique et de déterminer les composants biochimiques de nouvelles lignées de maïs rouge à Daloa. De façon spécifique, il s'agit de :

- évaluer les caractéristiques physiologiques de nouvelles lignées de maïs rouge étudiée
- déterminer les caractéristiques biochimiques de nouvelles lignées de maïs rouge étudiée.

Le présent mémoire s'articule autour de trois grandes parties. Outre l'introduction, La généralité sur le maïs est présentée dans la première partie. La seconde partie est consacrée aux matériel et méthodes utilisés lors des travaux de recherche. Les résultats obtenus à la suite de ces expérimentations sont présentés et discutés dans la troisième partie. Cette dernière partie débouche sur la conclusion générale suivie de quelques perspectives de recherche. Les références bibliographiques relatives aux auteurs cités mettront fin au mémoire.

**PREMIÈRE PARTIE :**  
**GÉNÉRALITÉS**

## 1. Généralités sur le maïs

### 1.1. Origine et distribution

Le maïs (*Zea mays* L.) est originaire d'Amérique du sud. Il constituait l'aliment de base des amérindiens avant la découverte de l'Amérique par Christophe Colomb ( Bassaler, 2000). En Afrique, cette culture a été introduite en Égypte vers 1540 par les Turcs et les Syriens. et dans la région du golfe de Guinée par les Portugais vers 1550 ( Marchand *et al.*, 1997). L'origine botanique du maïs a été sujette à bien de controverses à cause de sa grande variabilité (Lobell *et al.*, 2011). En Côte d'Ivoire, les foyers de production les plus importants sont dans le Nord et le Nord-Ouest. Resté très longtemps secondaire en zone de forêt, le maïs n'a connu son essor qu'à partir des années 50 ( Kouakou *et al.*, 2010).

### 1.2. Position systématique

Le maïs est une herbacée annuelle, à tallage faible ou même nul. C'est une graminée monoïque qui présente de larges diversités morphologiques selon les variétés appartenant au genre *Zea*. Selon (Nathalie, 2000), la position systématique du maïs se présente de la manière suivante:

Règne : .....: Végétal  
Embranchement.....: Phanérogames  
Sous-embranchement ..... : Angiospermes  
Classe ..... : Monocotylédones  
Ordre ..... : Cypérale  
Famille ..... : Poaceae  
Genre ..... : *Zea*  
Espèce .....: *Zea mays*(L.)

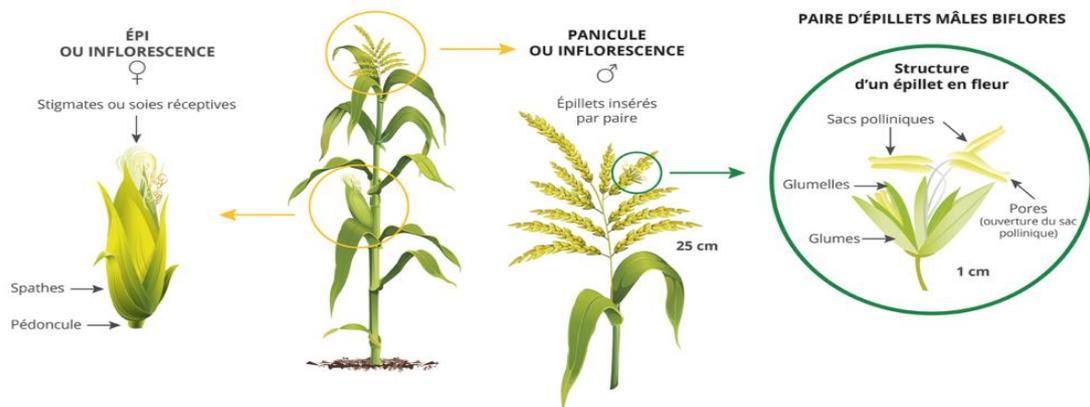
### 1.3. Description du maïs

Le maïs est une plante monocotylédone diploïde annuelle ( $2n=20$ ) appartenant à la famille des poaceae ou graminées .Il existe de nombreuses variétés de maïs classées en sept types suivant les caractéristiques des grains. Le maïs est une graminée annuelle à tige pleine contrairement aux autres graminées. La tige unique présente sur gros diamètre plein, lignifiée

et formée de plusieurs entrenœuds, d'une vingtaine de centimètres et séparés par autant de nœuds (Hoopen & Maïga, 2012). Les feuilles sont alternes et disposées en deux lignes opposées.

C'est une plante qui possède des inflorescences mâles et femelles séparées sur les mêmes pieds (Figure 1), bien que le maïs soit auto-fertile, le caractère monoïque des plantes et sa protandrie assurent une pollinisation croisée par le vent, de l'ordre de 90 à 95 %. L'inflorescence mâle est une panicule terminale qui s'étend à partir des feuilles engainantes à la pointe de la tige. Elle consiste en un certain nombre de branches disposées en spirale autour de l'axe principale. L'inflorescence femelle, appelée épi, se développe sur une courte branche latérale qui émerge de l'aisselle d'une des feuilles du milieu de la tige. Normalement un seul ou deux bourgeons se transforment en épi. L'axe central de l'épi, appelé rachis ou rafle porte des épillets en pair, pourvus, chacun, d'une fleur fertile en rangées longitudinales (Poda, 1979).

Le fruit à une seule graine est appelé caryopse avec une masse de longs stigmates s'échappant au sommet des spathes en une touffe de filaments (soies) (Hitchcock & Chase, 1971). Ils ont des formes multiples (globulaire, ovoïde, prismatique, etc.) et sont de différentes couleurs (blanc, jaune roux, doré, violet, noir). Ils sont parfois lisses ou ridés. Un épi peut contenir environ 300 à 1000 grains avec un poids moyen de 150g à 330g à maturité. Chaque grain est composé d'un germe (embryon 0+ cotylédon), d'un albumen et d'un péricarpe qui est une enveloppe extérieure dure qui empêche l'entrée de champignons et de bactérie (Hoopen & Maïga, 2012).



**Figure 1:** Structure d'un pied de maïs ( GNIS, 2015)

## **1.4. Écologie du maïs**

Le maïs est une espèce exigeante en eau. Au moment, de la floraison le besoin en eau est plus important. Les températures doivent être généralement élevées et régulières avec un optimum autour de 25°C (Ellis *et al.*, 1992 ). Le maïs se développe bien sur les sols riches en matières organiques et possédant de bonnes propriétés physiques (Akanvou *et al.*, 2006). Toutefois, il préfère les sols assez riches en éléments fins, humifères, frais et à capacité de rétention élevée. Il pousse sur un sol de pH variant de 5,5 à 7. Cependant, le maïs peut s'accommoder de conditions plus hostiles, comme les sols sableux ou plus argileux, voire calcaires, sous réserve de lui assurer les apports d'eau et d'éléments nutritifs nécessaires (Akanvou *et al.*, 2006).

## **1.5. Étude physiologique et développement du maïs.**

### **1.5.1. Phase de la germination**

Les plantes émergent en quatre à cinq jours dans des conditions chaudes et humides mais elles peuvent mettre jusqu'à deux semaines ou plus si le temps est frais ou très sec. Pratiquement aucune germination ne se fera à des températures de sol en dessous de 13°C. Des champignons et des insectes s'attaquant à la graine dans le sol sont encore actifs dans des sols frais et ils peuvent causer des dégâts considérables avant même que les jeunes plants commencent à pousser (Hoopen & Maïga, 2012).

### **1.5.2. Phase de la formation des aigrettes et pollinisation**

La formation des aigrettes se produit environ 40 à 70 jours après l'émergence de la plante pour les variétés de 90 à 130 jours. L'aigrette (la fleur) émerge du verticille des feuilles un ou deux jours avant qu'elle ne commence à perdre le pollen. Le maïs est pollinisé par croisement et 95 % ou plus des grains d'un épi reçoivent généralement leur pollen de plantes de maïs voisines. La pollinisation est une période très critique au cours de laquelle les besoins en eau et en éléments nutritifs sont très élevés. Un ou deux jours de fanaison au cours de cette période peut réduire le rendement de 22 % et six à huit jours de fanaison peut le réduire de 50 % (Hoopen & Maïga, 2012).

### **1.5.3. Phase du développement de l'épi à la maturité**

La plupart des épis de maïs ont 14 à 20 rangées comportant 40 ovules ou plus par rangée et produisent environ 500 à 600 grains. Toute pénurie d'eau, d'éléments nutritifs ou de rayonnement solaire au cours des quelques premières semaines du développement des grains

affecteront généralement en premier les grains situés à l'extrémité de l'épi, en se recroquevillant ou en avortant. Le maïs est très sensible au stress (contrainte) d'humidité (pénurie d'eau) à ce stade étant donné ses besoins plus importants en eau (jusqu'à 10 mm par jour dans des conditions très chaudes et sèches) (Hoopen & Maïga, 2012). Selon la variété et les températures de croissance, le maïs peut atteindre sa maturité physiologique (stade auquel les grains ont cessés d'accumuler la féculé et la protéine) en 90 à 130 jours environ après l'émergence de la plante lorsque celle-ci est cultivée aux tropiques à des élévations situées entre 0 et 1.000 mètres. A des élévations supérieures, il peut mettre 200 à 300 jours pour atteindre sa maturité. A la même altitude et avec des températures identiques, certaines variétés atteindront leur maturité beaucoup plus tôt que d'autres. On les appelle variétés précoces (Hoopen & Maïga, 2012).

Les termites, qui attaquent la plante au niveau du collet et provoquent son dessèchement. Enfin, la plante parasite *Striga* (*Strigahermonthica*) peut être un problème important en Côte d'Ivoire mais ses nuisances peuvent facilement être limitées par le choix de semences résistantes et par les rotations de cultures (Kouakou *et al.*, 2011).

## **1.6. Implantation géographique de maïs en Côte d'Ivoire**

Une estimation plus précise de la répartition spatiale de la production de maïs en Côte d'Ivoire restera difficile tant que les résultats du projet de Recensement des Exploitants et des Exploitations Agricoles 2013 ne sont pas publiés (Kakou, 2011). Une appréciation qualitative de la répartition des bassins de production reste possible. Sur la base du suivi de la campagne de commercialisation de maïs 2013/2014 et des entretiens réalisés avec différents gros acheteurs de maïs, il est possible d'estimer que même si la culture est bien implantée sur la totalité du territoire de Côte d'Ivoire, des bassins de productions plus importants et dont le solde de production est nettement excédentaire sont localisés dans les districts des Savanes, (Kakou, 2011).

## **1.7. Importances socio-économiques, nutritionnelles du maïs**

### **1.7.1. Importances sociales**

Il est important de noter qu'une grande partie des exploitations fait également appel à de la main d'œuvre extérieure non salariée à travers les « Groupes d'entraide » ou « Groupes de travail ». Grâce à ces groupes, les producteurs mutualisent leurs forces aux moments des pics de travail comme le labour, les semis ou la récolte. Ces groupes qui peuvent comprendre de

10 à plus de 100 personnes réalisent les activités agricoles en commun sur les parcelles de chaque membre. A chaque intervention, l'exploitation bénéficiaire du travail du groupe à la charge du repas des travailleurs mais ceux-ci ne reçoivent pas d'autres rémunérations (Anonyme, 2014). L'avantage de ces groupes de travail relève principalement de la motivation sociale et de l'émulation qu'ils permettent et qui accroissent la productivité du travail sur chaque parcelle. Comparativement à d'autres cultures comme le manioc ou l'igname, la culture manuelle du maïs est moins intensive en travail tant que le sarclage reste limité (pluviométrie inférieure à 1400 mm/an ou accès au désherbage chimique) et elle est donc considérée comme relativement « facile » (Nathalie, 2000).

### 1.7.2. Importances nutritionnelles

Le grain de maïs est essentiellement destiné à l'alimentation humaine, animale et comme matière première pour de nombreuses applications industrielles. Dans les régions du nord, le maïs est utilisé, comme le mil et le sorgho, pour la fabrication de la bière locale. La composition chimique du maïs peut varier en fonction de la variété du sol et des conditions climatiques (Bouis *et al.*, 2011), ce qui influence les caractéristiques nutritionnelles de maïs. Sur le plan nutritionnel, il a une teneur en protéines assez faible (en moyenne de 9 à 10 %) et une médiocre valeur biologique de ces protéines. Il en résulte que la qualité nutritionnelle du grain de maïs est relativement plus faible que celles de l'avoine (13 %) et du blé (12 %). Toutefois, la création des accessions de maïs hybride a permis d'avoir des accessions à teneur en protéines élevée (Smale *et al.*, 2011). Les différents composants chimiques sont indiqués dans le tableau suivant :

**Tableau I:** Pourcentages des composants chimique dans le maïs

<b>Composant chimique</b>	<b>Péricarpe (%)</b>	<b>Albumen (%)</b>	<b>Germe (%)</b>
<b>Protéine</b>	3,7	8,0	18,4
<b>Extrait à l'éther</b>	1,0	0,8	33,2
<b>Fibres brutes</b>	86,7	2,7	8,8
<b>Cendres</b>	0,8	0,3	10,5
<b>Amidon</b>	7,3	87,6	8,3
<b>Sucre</b>	0,34	0,62	10,8

Source : (Kakou, 2011)

### **1.7.3. Importances économique**

Le maïs, comme les autres céréales sont cultivés et commercialisés pour la nutrition des Hommes et les animaux. Dans l'alimentation, le maïs est consommé sous formes extrêmement variées sous les tropiques : en épis cueillis grillé avant maturation, en soupe ou en galette à base de la farine plus ou moins fine, après fermentation des grains sous forme de la bière du maïs. (Smale *et al.*, 2011). Il est commercialisé pour l'alimentation animale (volailles, porcs, bovins, etc.). Le maïs sert aussi de matière première dans les industries agroalimentaire, textile, pharmaceutique, etc. (Kakou, 2011).

### **1.7.4. Importance thérapeutique**

Le maïs est un puissant antioxydant qui protège le corps en neutralisant les radicaux libres. La soie de maïs améliore la pression artérielle et le fonctionnement du foie et de la bile. Les feuilles et la soie de maïs sont utilisées pour le traitement des estomacs. La soie de maïs est utilisée pour soigner les infections de voies urinaires et rénales (Lans, 2006).

## **1.8. Généralités sur les composés physiologiques et biochimiques**

Le maïs comme toutes les plantes contiennent des composés de différents ordres qui les caractérisent en fonction de différentes variétés. Parmi les composés les plus utilisés sont les composés physiologiques et biochimiques (Pigments chlorophylliens, les caroténoïdes, les sucres totaux, les protéines, les sucres réducteurs, les enzymes, les prolines, les composés phénoliques) chez plusieurs espèces végétales ; le maïs, le riz (Cazares *et al.*, 2011), la lentille de terre, l'arachide (Mberdoum *et al.*, 2020). Les composés dosés dans cette étude sont les pigments chlorophylliens, les caroténoïdes, les sucres totaux, les prolines, les enzymes et les composés phénoliques.

### **1.8.1. Pigments foliaires**

L'importance des pigments foliaires s'explique en premier lieu par leur rôle central dans la photosynthèse, qui permet la synthèse de matière organique constituant les parois cellulaires des cellules végétales. Cette réaction photochimique qui puise son énergie dans les photons émis par le soleil a lieu chez de très nombreux organismes allant des bactéries aux angiospermes (groupe de végétaux le plus récemment apparu sur terre et le plus évolué), en passant par tous les végétaux « intermédiaires » comme les mousses, les algues etc.. La transformation de l'énergie lumineuse en énergie chimique s'effectue dans la cellule, au sein

d'organites spécialisés appelés chloroplastes, en utilisant les propriétés oxydo-réductrices des pigments (Cazares *et al.*, 2011).

### **1.8.2 Chlorophylle a**

La chlorophylle (a) a un pigment vert responsable de l'absorption de la lumière et fournissant l'énergie nécessaire à la photosynthèse oxygénique, elle se fait dans toutes les parties de la plantes. Elle absorbe sur les longueurs d'ondes du spectre les plus efficacement sont 420 nm et 659 nm respectivement responsable des couleurs Violette-Bleu et Rouge-Orange. Elle reflète à la couleur Bleu-vert, qui est responsable de la couleur verte de la plupart de la plante terrestre. La chlorophylle a est le pigment le plus important de la photosynthèse. Qui sert de principal donneur d'électrons dans la chaîne de transport d'électrons de la photosynthèse .D'autre part, il transfère l'énergie lumineuse piégée dans le complexe d'antenne dans les photosystèmes P680 et P700 où les chlorophylles spécifiques sont présentes dans la membrane thylacoïdienne du chloroplaste (Inanc, 2011).

### **1.8.3. Chlorophylle b**

La chlorophylle b est un accessoire, qui capte la lumière du soleil et passe dans la chlorophylle a. Elle absorbe la lumière entre 450 nm et 650 nm qui sont responsables des couleurs violette et rouge. La longueur d'onde effectivement absorbée par la chlorophylle b est 470 nm Sa couleur absorbante orange-rouge du spectre et elle reflète à couleur jaune, la majeure partie de chlorophylle b se trouve dans une antenne piégeant la lumière dans le système photosensible P680 (Inanc, 2011).

### **1.8.4. Caroténoïdes**

Les caroténoïdes sont des pigments accessoires de la photosynthèse, qui ont deux rôles principaux : un rôle de collecteur de lumière (transfert à la chlorophylle de l'énergie lumineuse qu'ils absorbent dans les gammes du spectre situés entre le violet et le rouge) et rôle un photo protecteur (récupération de l'énergie de la chlorophylle en particulier en cas d'excès de lumière et d'ombre), ils appartiennent à la famille chimique des terpénoïdes. Comme pour la chlorophylle, certaines étapes de la synthèse des caroténoïdes sont induites par la lumière (verslues & Sharma, 2010).

### **1.9. Composés biochimiques**

#### **1.9.1. Proline**

La proline agit en tant que composé soluble compatible dans l'ajustement osmotique pouvant atteindre de fortes concentrations sans exercer d'effet toxique comme cas des ions.

La proline fait partie de ces composés et son accumulation dans les feuilles, les tiges et les racines est considérée comme une des réponses induites les plus répandues en cas de stress. Cela fait de la proline un excellent bio-détecteur de stress (verslues & Sharma, 2010).

### **1.9.2. Composés phénoliques**

Les plantes produisent, en plus des molécules de base, un grand nombre de composés qui ne sont pas issus directement de la photosynthèse, mais résultent des réactions chimiques ultérieures ; Les composés phénoliques ou polyphénols sont des métabolites secondaires qui sont fabriqués à partir de certains composés du métabolisme primaire tels que les sucres et les acides aminés. Ces composés sont souvent liés à des glucosides lorsqu'ils sont en solution dans les sucs vacuolaires. Ils régulent la croissance des cellules végétales. Par leur présence au niveau de la paroi cellulaire, les phénols peuvent intervenir dans les mécanismes de croissance des cellules donc stimulé l'induction des structures (Desender *et al.*, 2007).

### **1.9.3 Sucres totaux**

Ce sont les produits de base des différentes voies métaboliques au niveau cellulaire. Dans les végétaux, les glucides (sucre) synthétisés par les feuilles lors de la photosynthèse jouent en- 12 core le rôle de sucre d'énergie, de substance de soutien (cellulose, hémicellulose glucoprotéine etc.) et de réserves. La réserve de sucres totaux participe ainsi au développement de la surface foliaire, aux besoins énergétique (respiration), mais également à la défense et à la résistance de la plante aux agressions biotiques et abiotique (Murphy, 1994).

## **1.10. Enzymes**

### **1.10.1. Phénylalanine Ammonia-Lyase (PAL)**

La phénylalanine ammonia-lyase (PAL) appartient à la famille des lyases, plus spécifique à la famille des enzymes catalyseur. Elle est une enzyme dont l'activité varie avec l'état physiologique de la plante. Elle participe à cinq (5) voies métaboliques : métabolisme de la tyrosine, métabolisme de la phénylalanine. La PAL est stimulée par la blessure, les attaques fongiques ou l'élicitations des plantes, elle convertit la Phénylalanine en acide trans-cinnamique qui est le précurseur de la synthèse de la plupart des composés phénoliques tels que les lignines et l'acide salicylique, cycle de l'azote, biosynthèse des phenylpropanoïdes et la biosynthèse des alcaloïdes II (Cazares *et al.*, 2011).

### **1.10.2. Tyrosine ammonia-lyase et phénylalanine ammonia-lyase**

La Tyrosine ammonia-lyase et phénylalanine ammonia-lyase sont des enzymes de la biosynthèse des composés phénoliques. Elles participent aussi à la défense des plante (Desender *et al.*, 2007).

### **1.10.3. Polyphénoloxydase (PPO)**

Cette enzyme interviendrait dans la photosynthèse ou dans la régulation du niveau d'oxygène actif au sein des chloroplastes. C'est aussi une enzyme de dégradation des composés phénolique. De plus, la PPO joue un rôle dans la défense des plantes contre les agents pathogènes (Gümez *et al.*, 2004).

### **1.10.4. Peroxydases (POD)**

Elles interviennent dans la biosynthèse des lignines par polymérisation des unités constitutives et la détoxification des cellules par élimination des peroxydes d'hydrogène. Leur action est plus liée à la défense des plantes contre les agents pathogènes (verslues & Sharma, 2010).

### **1.10.5. Catalase et Ascorbate peroxydase (CAT et APx)**

La catalase et l'ascorbate peroxydase ont une action anti oxydante permettant de détoxifier l'eau oxygénée en produisant de l'eau et du dioxygène ( $H_2O$  et  $1/2O_2$ ), elle empêche l'oxydation de plusieurs substrats biologiques dont l'acide gras polyinsaturé des systèmes membranaire et stabiliser les complexe photosynthétique (verslues & Sharma, 2010).

## **1.11. Contrainte de la production du maïs en côte d'ivoire.**

Le principal inconvénient du maïs d'après la très grande majorité des producteurs interrogés est sa grande sensibilité à la qualité des sols et à la pluviométrie, qui occasionnent des rendements relativement aléatoires et nécessitent un apport important d'engrais minéraux sur les terres les plus pauvres, notamment en zone de savane. La sensibilité de la plante à la pluviométrie induit notamment une prise de risque importante pour l'intensification de la culture (Kakou *et al.*, 2011).

Les attaques sur les tiges qui freinent la productivité du maïs en Côte d'Ivoire sont avant tout mécaniques. Les oiseaux lors des semis puis les mammifères lors de la croissance et de la maturation des fruits constituent les principales sources d'attaques contre la production de

maïs. Les oiseaux (perdrix notamment) consomment les graines semées, tandis que les mammifères (bétail, agoutis, singes) consomment les jeunes pousses et les fruits en maturation (Kakou *et al.*, 2011).

La protection contre ces attaques mécaniques est complexe, les deux principaux investissements à réaliser (gardiennage et clôture) sont peu rentables pour les petites surfaces et seuls les grands producteurs ont les moyens de les mettre en œuvre. Les attaques d'insectes sont également citées par certains producteurs mais ne représentent pas une limite importante à la productivité du maïs grâce aux rotations de cultures qui limitent en général le développement des populations d'insectes nuisibles (CNS-Maïs, 2018).

Les principaux insectes qui s'attaquent au maïs sur pied sont : les foreur rose africain (*Sesamia calamistis*), foreur africain de canne à sucre (*Eldana saccharina*), foreur africain du maïs (*Busseola fusca*) Kakou *et al.* (2011).

### **1.12. Maladies et ravageurs**

- Les insectes et les Chenilles sont les principaux nuisibles du maïs qui limitent la production sont : *Sesamia calamistis*, *Ostrinia nubilalis*, *Macrotermes subhyalinus*, *Cicadulina spp*, *Rhaphalosiphum maidis* et la Chenille légionnaire d'automne (*Spodoptera frugiperda*) (Ahmadou, 2018)

- Les principales maladies *cryptogamiques* qui attaquent le maïs sont causées par : l'*Helmenthospirim maydis*, *Peronosclerospora scclerospora*, *Fusarium moniliforme var subglutmais* et *Macrophomina phaseoli*, striure du maïs. L'helminthosporiose la maladie la plus fréquente est du même type que la rouille. La contamination peut être précoce et évoluer en des taches desséchantes et parallèles aux nervures. Les spores sont pour la plupart des cas conservés dans les résidus de récolte. Il a été observé que cette maladie apparaît tard sur les cultures et a peu d'influence sur le rendement. Les rares pertes qui peuvent être enregistrées sont liées à une réduction du potentiel photosynthétique de la plante lors de la phase de remplissage des grains (Sy, 2004).

### **1.13. Méthode de lutte**

#### **1.13.1. Lutte biologique**

Même si, depuis quelques années, l'usage qui est fait de la lutte biologique englobe toute méthode d'élimination des ravageurs ayant un fondement biologique, la signification methode traditionnelle de cette expression est la manipulation des ennemis naturels des

ravageurs visant à réduire les populations de ces derniers à des niveaux rendant tolérables les pertes économiques qu'ils entraînent. Il existe souvent une profusion d'ennemis naturels empêchant une espèce donnée d'atteindre le statut de ravageur, et notamment au sein des milieux établis de longue date, comme les forêts. Qu'ils soient vertébrés ou invertébrés, les ennemis naturels sont habituellement des parasites, des prédateurs ou des agents pathogènes des insectes ravageurs Kakou *et al.* (2011).

Dans la nature, l'abondance d'une espèce est très largement fonction de ses relations avec d'autres organismes : concurrents et ennemis naturels, et un « équilibre naturel » tendant à conserver les populations de chaque espèce dans le cadre de certaines limites est généralement maintenu. Toutefois, comme décrit plus haut, il arrive souvent que l'agriculture moderne perturbe les équilibres qui se sont instaurés au fil de longues périodes (Kumar, 1991).

### **1.13.2. Lutte biotechnologique**

Les biotechnologies apportent, de diverses manières, leur contribution à la lutte contre les parasites. Le domaine de recherche le plus pointu est lié à la création de virus destinés à détruire des larves ou des insectes particuliers par pulvérisation sur les cultures. Inoffensifs pour les autres espèces, ces virus doivent « s'autodétruire » lorsque leur travail toxique est achevé (Ferrer, 2003).

### **1.13.3. Lutte chimique**

Tous les types d'agents chimiques utilisés dans la lutte contre les parasites sont des pesticides. Ils comprennent les fongicides, pour lutter contre les champignons, les herbicides, qui éradiquent les mauvaises herbes, les insecticides et les nématicides contre les nématodes (vers ronds). En 1993, dans le monde, 125 milliards de francs ont été dépensés en pesticides (Ferrer, 2003).

### **1.13.4. Lutte génétique**

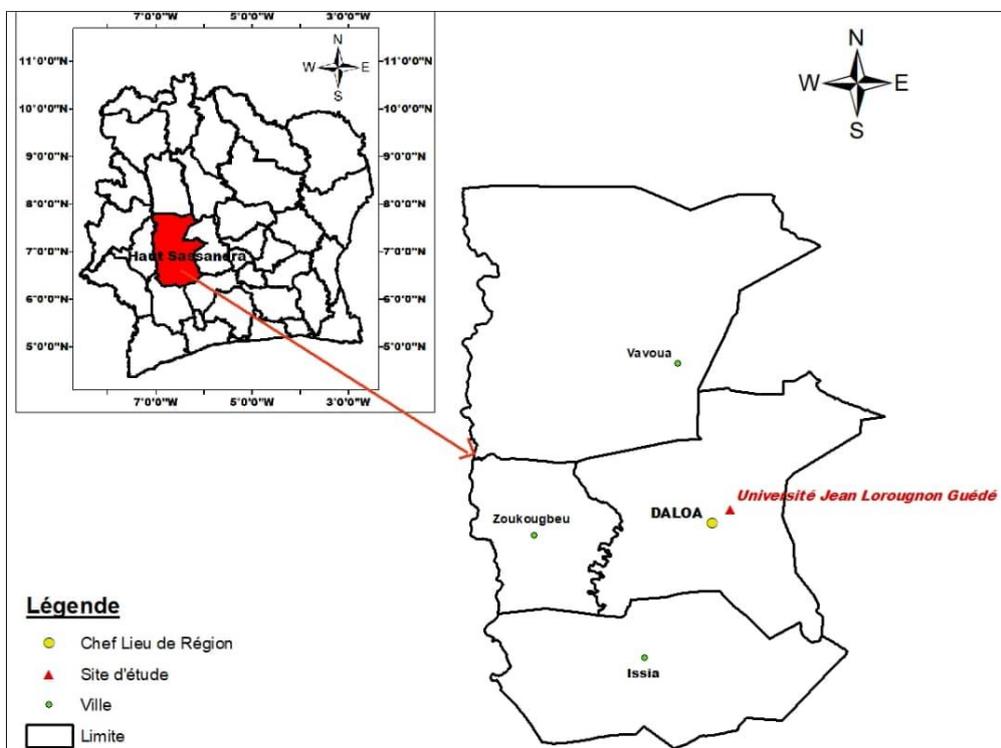
Cette forme de lutte, étape relativement récente dans les progrès de l'entomologie agricole, implique l'utilisation de ravageurs diminués génétiquement, afin de limiter la reproduction et la survie de leur propre espèce au sein de populations naturelles. Ces ravageurs font l'objet d'un élevage de masse au laboratoire suivi de leur irradiation et sont ensuite lâchés, en plein champ, parmi les populations sauvages, de sorte que leur accouplement avec des insectes normaux est stérile ou n'engendre que des descendants diminués (Kumar, 1991).



# **DEUXIÈME PARTIE : MATÉRIEL ET MÉTHODES**

## 2.1. Zone d'étude

Ce travail a été réalisé sur la parcelle expérimentale de l'Université Jean Lorougnon Guédé, située dans la ville de Daloa, au Centre-ouest de la Côte d'Ivoire (figure 2). La ville de Daloa est située entre 6°53'38 de latitude Nord et 6°27'0 de longitude Ouest et fait partie de la région du Haut-Sassandra. La végétation, autrefois constituée d'une forêt dense, a aujourd'hui disparu au profit de diverses cultures de rente. Les sols sont de types ferrallitiques. Le climat est tropical. La température moyenne est de 27,5 °C avec une pluviométrie comprise entre 1000 et 1500 mm de pluie par an. Le sol du site d'étude est prédominant de type ferrallitique (Dognimeton *et al.*, 2016).

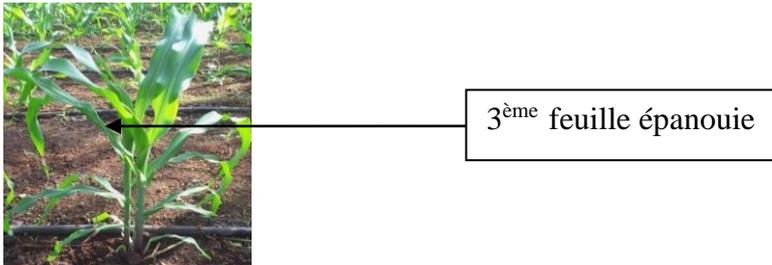


## 2. 2. Matériel

Le matériel qui a servi pour la réalisation des essais est constitué de matériel végétal et de matériel technique.

### 2.2.1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est constitué de feuilles (troisième à partir de l'apex, pour une homogénéité de l'échantillonnage) de quatre lignées (S116, S138, S143, S148) et du témoin des plantes de maïs âgés de trois semaines (Figure 3) . Les plantes sont obtenues après germination des semences de quatre lignées et une celle du témoin de la variété *EV8728*



**Figure 3:** Plante de maïs rouge âgée de trois semaines

### 2.2.2. Matériel technique

Les matériels technique et au laboratoire utilisés sont consignés dans le tableau II

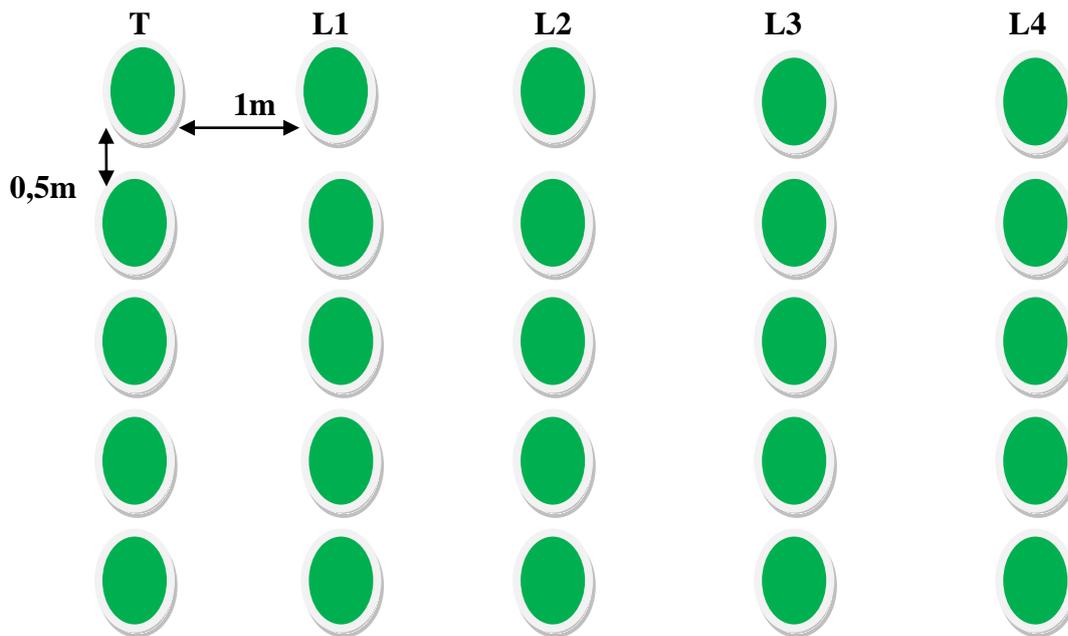
**Tableau II:** Matériel technique et laboratoire utilisés.

<b>OUTILS</b>	<b>Usages</b>
<b>Matériels de champs</b>	
<b>Une machette et une daba</b>	Sarclage de la parcelle
<b>Les pots</b>	Contenance des substrats de culture
<b>Une pelle</b>	Remplissage des pots,
<b>Matériels de laboratoire</b>	
<b>Une Balance</b>	réaliser les pesés,
<b>Un mortier</b>	broyer les feuilles,
<b>des Micropipettes</b>	prélever avec précision les solutions liquides,
<b>Une centrifugeuse</b>	utiliser pour la centrifugation des solutions,
<b>Agitateur magnétique</b>	utiliser pour homogénéiser les solutions,
<b>Spectrophotomètre</b>	Lire les Densité Optiques (DO),
<b>Bain-marie</b>	Catalyser les réactions métaboliques,
<b>Réfrigérateur</b>	Conservation des échantillons

## 2.3. Méthodes

### 2.3.1. Dispositif expérimental

Cette étude a été réalisée selon un dispositif expérimental simple constitué de cinq (5) lignes espacées entre elles de 1m. Chaque ligne représente une lignée y compris le témoin et contient 5 pots distants de 0,5 m entre eux. Chaque pot constitue une répétition soit cinq (5) traitements et cinq (5) répétitions pour ce dispositif expérimental.



**Figure 4:** Dispositif expérimentale

L: Ligne, T: témoin

### 2.3.2. Conduite de l'essai

L'expérimentation a été conduite sur le site expérimentale de l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa. Le semis a été réalisé avec les bonnes graines à raison de trois graines par pot. Un démariage a été effectué cinq jours après le semis. L'arrosage des plants s'est fait tous les deux jours.

### 2.3.3. Échantillonnage et conservation des feuilles

L'échantillonnage a consisté à prélever de façon simultanée, à l'aide d'une paire de ciseaux, la troisième feuille numérotée à partir de l'apex des plantes âgées de trois semaines. Ces échantillons ont été immédiatement mis dans de la glace puis transportés au laboratoire où ils sont conservés à -29 °C dans un réfrigérateur de marque « Liebherr ».

## **2.3.4. Extraction et dosages des composants**

### **2.3.4.1. Composants physiologiques**

Les composants physiologiques qui ont fait l'objet de cette étude sont uniquement des pigments chlorophylliens et des caroténoïdes. L'extraction et le dosage de ces pigments foliaires ont été réalisés selon la méthode décrite par Lichtenthaler (1987). Ainsi, une quantité de 0,1 g de feuille fraîche maïs a-t-elle été mise dans un volume de 10 mL d'acétone 95 %. L'ensemble a été par la suite conservé à l'obscurité à 4 °C pendant 48 heures. Un volume de 3 mL de surnageant a été ensuite prélevé pour la lecture de la densité optique (DO) à 663 nm et à 647 nm pour la chlorophylle et à 470 nm pour le caroténoïde. La détermination des différentes concentrations a été effectuée selon les formules suivantes :

$$\text{Chlorophylle a } (\mu\text{g/g MF}) = 12,25 \cdot \text{DO}_{663} - 2,79 \cdot \text{DO}_{647} \cdot (V/1000 \cdot m)$$

$$\text{Chlorophylle b } (\mu\text{g/g MF}) = 21,5 \cdot \text{DO}_{647} - 5,10 \cdot \text{DO}_{663} \cdot (V/1000 \cdot m)$$

$$\text{Chlorophylletotale } (\mu\text{g/g MF}) = 7,15 \cdot \text{DO}_{663} + 18,71 \cdot \text{DO}_{647} \cdot (V/1000 \cdot m)$$

$$\text{Caroténoïde } (\mu\text{g/g MF}) = (1000 \cdot \text{DO}_{470} - 182 \cdot \text{chl a} - 85,02 \cdot \text{chl b})/198$$

### **2.3.4.2. Composants biochimiques**

#### **2.3.4.2.1. Extraction et dosage des composés phénoliques**

L'extraction des composés phénoliques a été réalisée selon la méthode de Kouakou (2009). Un échantillon de 500 mg de feuilles fraîche de maïs des lignées été placé dans 10 mL de méthanol (96 %). Le mélange a été par la suite incubé à l'obscurité pendant 10 h à 4 °C. Après ce temps d'incubation, une centrifugation à 5000 tours/min pendant 10 min a été faite, le surnageant obtenu a été filtré sur une membrane Millipore (0,45 µm), ceci a constitué l'extrait phénolique brut. Le dosage des composés phénoliques a été réalisé selon la méthode de Singh (2000). Pour ce faire, 0,5 mL du réactif de folin-ciocalteu à 5 N ont été ajoutés à 0,9 ml d'eau distillée. Le tout a été additionné de 0,1 mL d'extrait phénolique. Le mélange a été agité à la température ambiante, puis 1,5 mL de carbonate de sodium à 17 % et 6 mL d'eau distillée ont été ajoutés à la solution. Les solutions obtenues ont été incubées pendant 30 minutes. L'intensité de la coloration (proportionnelle à la concentration en polyphénols) a été lue au spectrophotomètre à 765 nm. Le taux de phénols totaux a été déterminé à l'aide d'une courbe d'étalonnage réalisée avec différentes concentrations d'une solution mère d'acide gallique (200 µg/mL).

#### 2.3.4.2.2. Extraction et dosage des sucres totaux

L'extraction des sucres totaux a été réalisée comme celle des composés phénoliques. Le dosage des sucres totaux a été réalisé selon la méthode de Dubois *et al.* (1956). Cette méthode a été modifiée et adaptée à notre matériel végétal. Une solution d'acide sulfurique concentré (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) a permis de rompre les liaisons osidiques entre le D-glucose et le D-65 fructose mettant en solution tous les sucres présents qui ont-ils été par la suite révélés par le phénol. Ainsi, 0,2 ml de phénol 5 % et 0,2 mL d'extrait phénolique (E.B) ont-ils été prélevés et placés dans un tube à essai. Le mélange réactionnel a été complété à 1 mL avec de l'eau distillée auquel 1 mL d'acide sulfurique concentré (97 %) a été ajouté. La solution a été incubée pendant 5 min au bain bouillant, puis refroidie à l'obscurité pendant 30 min. L'intensité de la coloration produite par la réaction a été mesurée au spectrophotomètre (Shimadzu Spectrophotometer UV-120-02, Kyoto, Japon) à la longueur d'onde de 490 nm contre un témoin ne contenant pas de sucres. La densité optique a été convertie en quantité de sucres totaux puis exprimée en  $\mu\text{g.g}^{-1}$  de feuille fraîche de maïs grâce à une droite d'étalonnage (0,01 à 0,1  $\text{mg.mL}^{-1}$ ) construite à partir d'une solution de glucose ( $1\text{mg.mL}^{-1}$ ).

#### 2.3.4.2.3. Extraction et dosage de la proline

L'extraction et le dosage de la proline ont été réalisés selon la méthode de Dreir & Goring (1974). Ainsi, 100 mg de feuilles fraîche de maïs ont- elles été malaxées dans un volume de 3 mL de méthanol à 40 %. L'ensemble a été chauffé au bain-marie à 85 °C pendant 30 minutes. Après refroidissement dans de la glace fondante et centrifugation à 4000 tours pendant 10 mn, 1 mL du surnageant a été prélevé. 1 mL d'acide acétique glacial, 25 mg de ninhydrine et 1 mL du mélange (I) contenant (120 mL d'eau distillée, 300 mL d'acide acétique (CH<sub>3</sub>COOH) et 80 ml d'acide phosphorique (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)) ont été ajoutés. L'ensemble a été bien homogénéisé à l'aide d'un vortex et porté à l'ébullition à 100 °C, pendant 45 mn jusqu'au virage de la couleur rouge. Après refroidissement, 5 mL de toluène ont été ajoutés à la solution suivie d'agitation puis laissée au repos pendant 30 mn. Un volume de 3 mL du surnageant a été prélevé pour la lecture de la densité optique (DO) au spectrophotométrie à 528 nm.

Le calcul de la concentration (C) de la proline a été effectué selon la formule suivante :

$$C \text{ (mM/g MF)} = \frac{DO}{\epsilon * L}$$

$\epsilon = 0,9986 \text{ mM. L}^{-1}.\text{cm}^{-1}$ , L : Longueur du tube de spectrophotomètre en cm

### **2.3.4.3. Extraction et dosage des Activités enzymatiques**

L'étude quantitative des enzymes a porté sur trois types enzymes : la Phénylalanine-ammonia-lyase PAL et la tyrosine ammonia-lyase TAL (enzymes de biosynthèse des composés phénoliques), la Polyphénoloxydase PPO et la peroxydase POD (enzymes de dégradation des composés phénoliques), la catalase CAT et l'ascorbateperoxydase APX (enzymes antioxydantes)

#### **2.3.4.3.1. Extraction et purification enzymatiques**

L'extraction des enzymes a été réalisée selon la méthode de Kouakou (2003). 500 mg de feuilles fraîche de maïs ont été broyées dans 5 ml du tampon phosphate 0,1 M en présence de 0,05 g de PVP. Cela permet de fixer les composés phénoliques sur des substrats. Au cours du broyat, 0,1 ml d'une solution composée de 5 % de polyéthylèneglycol 6000 (pour fixer les polyphénols), de 0,25 % de thiosulfate de sodium (afin de protéger les sites enzymatiques), de 15 % de glycérol (pour la stabilité des systèmes enzymatiques), de l'EDTA 1 mM (pour éviter l'action inhibitrice des ions métalliques) et enfin de 15 mM de mercaptoéthanol (comme composés réducteurs pour prévenir les oxydations enzymatiques) ont été utilisés. Après centrifugation à 5000 tours/min pendant 20 min, le surnageant obtenu a constitué l'extrait brut d'enzymes.

La purification des extraits enzymatiques a eu lieu à l'aide de la colonne DOWEX. Le DOWEX est une résine échangeuse d'ion qui capte les particules de charges positives. La plupart des inhibiteurs des enzymes qu'on veut doser sont de nature ionique. Le DOWEX est homogénéisé dans l'extrait enzymatique. Après une incubation de 30 min au froid, on effectue une centrifugation à 5000 trs/min pendant 10 min. Le surnageant constitue l'extrait enzymatique purifié.

#### **2.3.4.3.2. Dosage des polyphénoloxydases**

Le dosage des polyphénoloxydases (PPO) a été réalisé selon la méthode de Zhou *et al.* (2003). Lors du dosage, un volume réactionnel de 3 mL de bouillie composé de 0,2 mL d'extrait enzymatique, de 1 mL de pyrocathécol et de 1,8 mL de tampon phosphate citrate 0,1 M pH 6,5 a été utilisée. L'oxydation du pyrocathécol a été lue au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 500 nm. L'activité des PPO a été exprimée en activité enzymatique par gramme de matière fraîche (mmol/min/g de feuille fraîche de maïs) en considérant que le coefficient d'extinction molaire du produit formé est égal à  $1400 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ .

#### **2.3.4.3.3. Dosage des peroxydases**

L'activité peroxydasique (POD) a été réalisée selon la méthode de Santimone (1973) modifiée et adaptée au matériel végétal. Le phosphate de sodium (0,1 M) au pH de 7,5 a été utilisé comme tampon phosphate. Lors du dosage, 0,1 mL de l'extrait enzymatique a été prélevé et mis dans des tubes à essai. À cet extrait, 2,9 mL d'un substrat composé d'une solution de gaïacol  $10^{-2}$  M et d'eau oxygénée ( $H_2O_2$ )  $10^{-2}$  M (v/v) ont été ajoutées. Le mélange réactionnel a été agité, puis incubé à l'obscurité pendant 10 min. Dans cette expérience, l'incubation des échantillons à l'obscurité empêche la destruction partielle par la lumière des produits d'oxydation formés par le gaïacol en présence de l'eau oxygénée. Lors de l'addition de l'extrait enzymatique au substrat, une minute d'intervalle a été laissée entre chaque tube. L'oxydation du gaïacol a été lue au spectrophotomètre à 470 nm et a été exprimée en activité enzymatique par gramme de matière fraîche (mmol/min/g de feuille fraîche de maïs). Un témoin a été réalisé dans lequel le substrat a été remplacé par le tampon phosphate de sodium 0,1 M pH 7,5.

#### **2.3.4.3.4. Dosage de la phénylalanine ammonia-lyase et de la tyrosine ammonia-lyases**

Le dosage de la phénylalanine ammonia-lyase (PAL) et de la tyrosine ammonia-lyase (TAL) a été réalisé selon la méthode de Regnier (1994) modifiée et adaptée à notre matériel végétal. Le tampon de base utilisé a été le borate de sodium 0,2 M à pH 8,8. Le dosage a été réalisé avec 0,1 mL d'extrait enzymatique, 1 mL de phénylalanine 0,1 M pour la PAL ou de tyrosine 0,1 M pour la TAL et 1,9 mL de tampon borate de sodium 0,2 M à pH 8,8. Le mélange réactionnel a été incubé à la température ambiante pendant 30 min et les activités de la PAL et de la TAL ont été lues au spectrophotomètre à 290 nm. Les activités de la PAL et de la TAL ont été exprimées en activité enzymatique par gramme de matière fraîche (mmol/min/g de feuilles fraîche de maïs) en considérant que le coefficient d'extinction molaire de l'acide cinnamique formé est égal à  $19600\text{ M}^{-1}\text{ cm}^{-1}$  et celui de l'acide p-coumarique est égal à  $17600\text{ M}^{-1}\text{ cm}^{-1}$ .

#### **2.3.4.3.5. Dosage de l'ascorbate peroxydase et de la catalase**

Les activités de la catalase et de l'ascorbate peroxydase ont été déterminées selon la méthode de Zhou *et al.* (2003). Celle-ci a été modifiée et adaptée à notre matériel végétal. Le dosage de l'ascorbate peroxydase a été réalisé avec 3 mL de volume réactionnel comprenant 0,1 mL d'extrait enzymatique et 2,9 mL de solution ascorbique. L'activité de l'ascorbate

peroxydase a été lue au spectrophotomètre à 290 nm contre un blanc réalisé avec le tampon tris-HCL. L'activité a été exprimée en nkat/min/g de matière fraîche.

Le dosage de la catalase a été réalisé avec le même milieu réactionnel dont 0,1 mL d'extrait enzymatique, 1 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, et 1,9 mL de tampon Tris-HCl. Un essai témoin a été réalisé où l'eau oxygénée (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) a été remplacée par le tampon Tris-HCl. L'activité de la catalase a été lue au spectrophotomètre à 240 nm et exprimée en mmol/min/ g de matière fraîche. Le coefficient d'extinction molaire du produit formé à la longueur d'onde de 240 nm est égal à  $36.10^{-6} \text{ M}^{-1}.\text{cm}^{-1}$ .

#### **2.4. Analyses statistiques**

Les données des différents paramètres physiologiques et biochimiques en relation avec chaque lignée sont traitées par le logiciel IBM.SPSS. STATISTICS (Version22). Les données ont été soumises à l'analyse de la variance (ANOVA) et en cas de significativité, le test Student Newman Keuls au seuil de 5% a été utilisé pour la classification des moyennes. En outre, le test de Sphéricité de Khi-deux approximatif a été utilisé pour la corrélation entre les variables.

# **TROISIÈME PARTIE : RÉSULTATS ET DISCUSSION**

### 3.1. Résultats

#### 3.1.1. Évaluation de la teneur en pigment chlorophylliens et caroténoïde

Les résultats relatifs aux teneurs en pigment chlorophylliens et caroténoïde sont consignés dans le tableau III. L'analyse statistique des résultats a révélé un effet très hautement significatif ( $P < 0,001$ ) au niveau de la chlorophylle a (CHLa) et un effet significatif ( $P < 0,011$ ) au niveau de la chlorophylle b (CHLb) et totale (CHLt) et de la caroténoïde (CARO). Les teneurs en CHLa ( $0,61\mu\text{g/g MF}$ ) et CHLt ( $0,92\mu\text{g/g MF}$ ) les plus élevées ont été enregistrées chez le témoin. Par contre, celles de la CHLb ( $0,55\mu\text{g/g MF}$ ) et la CARO ( $11,70\mu\text{g/g MF}$ ) ont été plus élevées chez la lignée S143. Les plus faibles teneurs en CHLa ( $0,25\mu\text{g/g MF}$ ) et CHLb ( $0,31\mu\text{g/g MF}$ ) ont été obtenues respectivement chez la lignée S143 et chez le témoin. Tandis que, les plus faibles teneurs en CHLt ( $0,74\mu\text{g/g MF}$ ) et CARO ( $8,46\mu\text{g/g MF}$ ) ont été enregistrées chez la lignée S148. La comparaison des moyennes à l'aide du test Student Newman Keuls au seuil de 5 % a révélé trois groupes au niveau de tous les paramètres évalués. Chez la CHLa le témoin représente le 1<sup>er</sup> groupe, les lignées (S116 et S143) le 2<sup>ième</sup> groupe et les lignées (S138 et S148) le 3<sup>ième</sup> groupe. Chez la CHLb la lignée S143 représente le 1<sup>er</sup> groupe, le témoin et la lignée S148 le 2<sup>ième</sup> groupe et les lignées (S116 et S138) le 3<sup>ième</sup> groupe. Ensuite Chez la CHL totale le témoin est 1<sup>er</sup> groupe, les lignées (S116 et S148) représentent le 2<sup>ième</sup> groupe et les lignées (S138 et S143) le 3<sup>ième</sup> groupe. Chez la caroténoïde la lignée S143 représente le 1<sup>er</sup>, la lignée S148 le 2<sup>ième</sup> groupe et les lignées (S116 et S138) représentent le 3<sup>ième</sup>.

**Tableau III:** Teneurs en pigments foliaires des feuilles des lignées et témoin du maïs

Variables en $\mu\text{g/g MF}$				
Lignée	CHLa	CHLb	CHLt	CARO
S116	$0,31 \pm 0,05^b$	$0,45 \pm 0,12^{ab}$	$0,76 \pm 0,15^b$	$9,51 \pm 1,59^{ab}$
S138	$0,43 \pm 0,09^{ab}$	$0,43 \pm 0,10^{ab}$	$0,86 \pm 0,19^{ab}$	$9,46 \pm 2,53^{ab}$
S143	$0,25 \pm 0,08^b$	$0,55 \pm 0,19^a$	$0,81 \pm 0,14^{ab}$	$11,70 \pm 1,49^a$
S148	$0,42 \pm 0,26^{ab}$	$0,34 \pm 0,16^b$	$0,74 \pm 0,13^b$	$8,46 \pm 2,75^b$
STO	$0,61 \pm 0,11^a$	$0,31 \pm 0,21^b$	$0,92 \pm 0,18^a$	$10,60 \pm 4,41^{ab}$
F	5,58	4,12	4,25	4,20
P	0,002	0,011	0,014	0,034

Dans une même colonne, les moyennes suivie de la même lettre ne sont pas significatif; **F** : la fréquence approximative aux tests ; **P** la probabilité approximative aux tests ; **CHLa** : Chlorophylle a ; **CHLb** : chlorophylle b ; **CHLt** : chlorophylle totale, **CARO** : caroténoïde et  **$\mu\text{g/g MF}$**  : microgramme par de matière fraîche

### 3.1.2. Évaluation des composés biochimiques

Les teneurs en composés phénoliques, sucres totaux et la proline dans les feuilles varient d'une lignée à une autre (tableau IV) des lignées étudiées. Cette variation montre une différence très hautement significative ( $P < 0,001$ ) au niveau des composés phénoliques et les sucres totaux, puis un effet significatif ( $P < 0,01$ ) au niveau de la proline. Ainsi, la teneur en composés phénolique la plus élevée a été obtenue chez la lignée S116 ( $1,24\mu\text{g/g MF}$ ) tandis que la plus faible teneur a été enregistrée chez le témoin ( $0,69\mu\text{g/g MF}$ ). Le test de student Newman keuls a permis de déterminer deux groupes distincts : Les lignées S116 et S143 constituent le premier groupe et les lignées S138, S148 ainsi que le témoin le deuxième groupe.

Au niveau des sucres totaux, la lignée S138 a enregistré la plus grande teneur ( $13,26 \mu\text{g/g MF}$ ), elle est suivie de la lignée S148 ( $10\mu\text{g/g MF}$ ). Le témoin a quant à lui enregistré la plus faible teneur ( $5.13\mu\text{g/g MF}$ ). Trois groupes distincts ont été observés à savoir la lignée S138 le premier groupe, les lignées S116, S143 et S148 le deuxième et enfin le STo troisième groupe. L'accumulation de la proline a été plus importante chez le STo ( $0.08\mu\text{g/g MF}$ ) et moins importante dans les lignées S116, S138, S143, S148 ( $0.05 \mu\text{g/g MF}$ ). Deux groupes distincts ont été obtenus à travers le test de student Newman Keuls au seuil de 5 %. Il s'agit du témoin qui constitue le premier groupe et les lignées S116, S138, S143 et S148 le deuxième groupe.

**Tableau IV:** Composés biochimiques des feuilles de lignées et témoin du maïs

Lignées	Variables en $\mu\text{g/g MF}$		
	C PHE.	Suc T.	Proline.
<b>S116</b>	$1,24 \pm 0,08^a$	$9,11 \pm 3,33^b$	$0,06 \pm 0,012^b$
<b>S138</b>	$0,84 \pm 0,15^b$	$13,26 \pm 0,85^a$	$0,05 \pm 0,02^b$
<b>S143</b>	$1,08 \pm 0,17^a$	$9,92 \pm 3,86^b$	$0,05 \pm 0,02^b$
<b>S148</b>	$0,86 \pm 0,22^b$	$10,00 \pm 3,86^b$	$0,05 \pm 0,008^b$
<b>S<sub>t0</sub></b>	$0,69 \pm 0,24^b$	$5,13 \pm 3,58^c$	$0,08 \pm 0,02^a$
<b>F</b>	8,28	11,81	7,01
<b>P</b>	0,001	0,001	0,013

Dans une même colonne, les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significatives ; **F** : la fréquence approximative aux tests ; **P** : la probabilité approximative aux tests ; **C PHE** : composés phénoliques ; **Suc T** : sucres totaux et  **$\mu\text{g/g MF}$**  : microgramme par de matière fraîche.

### **3.1.3. Évaluation de l'activité enzymatique**

L'activité des protéines enzymatiques étudiées est présentée dans le tableau V. Les résultats du tableau montrent une différence significative ( $P < 0,05$ ) sur l'activité des différentes enzymes étudiées. En effet, l'activité enzymatique diffère d'une lignée à l'autre. Ainsi, l'activité de la tyrosine ammonia-lyase (TAL) est-elle plus élevée chez le témoin ( $4,11\mu\text{mol}/\text{min}/\text{g MF}$ ) et moins élevée chez la lignée S148 ( $3,28\mu\text{mol}/\text{min}/\text{g MF}$ ). Au niveau de la phénylalanine ammonia-lyase, (PAL) les lignées S116 et S148 ont respectivement enregistré les plus fortes activités ( $0,39$  et  $0,36\mu\text{mol}/\text{min}/\text{g MF}$ ).

La lignée S138 a obtenu la plus faible activité. L'activité de la polyphénoloxydase (PPO) est plus accentuée dans le témoin ( $7,33\mu\text{mol}/\text{min}/\text{g MF}$ ) et moins dans la lignée S116 ( $4,65\mu\text{mol}/\text{min}/\text{g MF}$ ). Les quantités de peroxydase (POD), catalase (CAT) et ascorbate peroxydase (APx) sont plus élevées respectivement dans les lignées S138 ( $573,5 \mu\text{mol}/\text{min}/\text{g MF}$ ), S148 ( $2681,19\text{mmol}/\text{min}/\text{g MF}$ ) et S143 ( $3140,71 \mu\text{mol}/\text{min}/\text{g MF}$ ). Tandis que les lignées S143 ( $430,45\mu\text{mol}/\text{min}/\text{g MF}$ ), S138 ( $2872,86\mu\text{mol}/\text{min}/\text{g MF}$ ) et le témoin ( $1372,71\mu\text{mol}/\text{min}/\text{g MF}$ ) ont enregistré la plus faible quantité de POD, APx et CAT respectivement.

### **3.1.4. Relation entre les composés physiologiques et biochimiques**

Pour établir d'éventuelles relations entre les différents composés physiologique et biochimique étudiés, une matrice de corrélation a été réalisée (tableau VI). L'analyse de cette matrice a montré que l'ascorbate peroxydase a présenté une corrélation positive moyenne avec la chlorophylle b ( $r = 0,507$ ) et la caroténoïde ( $r = 0,541$ ). La chlorophylle a présente une corrélation négative avec les composés phénoliques ( $r = - 0,625$ ). La synthèse de la chlorophylle b et totale est moyennement aussi corrélé positivement avec la caroténoïde ( $r = 0,698$  et  $0,514$ ).



**Tableau V:** Quantités d'enzymes dans les feuilles de lignées et témoin du maïs

Lignée	TAL( $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{g}$ MF)	PAL( $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{g}$ MF)	PPO( $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{g}$ MF)	POD( $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{g}$ MF)	CAT( $\text{mmol}/\text{min}/\text{g}$ MF)	APx ( $\text{mmol}/\text{min}/\text{g}$ MF)
<b>S116</b>	3,80 $\pm$ 0,78 <sup>b</sup>	0,39 $\pm$ 0,06 <sup>a</sup>	4,65 $\pm$ 1,07 <sup>b</sup>	474,06 $\pm$ 62,20 <sup>ab</sup>	1706,42 $\pm$ 34,05 <sup>bc</sup>	3095,71 $\pm$ 20,75 <sup>a</sup>
<b>S138</b>	3,54 $\pm$ 0,73 <sup>b</sup>	0,23 $\pm$ 0,07 <sup>b</sup>	5,85 $\pm$ 2,27 <sup>ab</sup>	573,50 $\pm$ 73,73 <sup>a</sup>	1821,10 $\pm$ 28,26 <sup>bc</sup>	2872,86 $\pm$ 47,9 <sup>b</sup>
<b>S143</b>	3,63 $\pm$ 0,38 <sup>b</sup>	0,32 $\pm$ 0,08 <sup>ab</sup>	6,30 $\pm$ 1,03 <sup>ab</sup>	430,45 $\pm$ 10,03 <sup>b</sup>	2341,74 $\pm$ 57,56 <sup>b</sup>	3140,71 $\pm$ 57,56 <sup>a</sup>
<b>S148</b>	3,28 $\pm$ 0,37 <sup>b</sup>	0,36 $\pm$ 0,130 <sup>a</sup>	5,33 $\pm$ 1,28 <sup>ab</sup>	543,61 $\pm$ 38,37 <sup>a</sup>	2681,19 $\pm$ 10,86 <sup>a</sup>	3075,71 $\pm$ 13,78 <sup>a</sup>
<b>STO</b>	4,11 $\pm$ 0,91 <sup>a</sup>	0,29 $\pm$ 0,09 <sup>ab</sup>	7,33 $\pm$ 1,69 <sup>a</sup>	511,65 $\pm$ 20,46 <sup>ab</sup>	1372,71 $\pm$ 69,20 <sup>c</sup>	2953,03 $\pm$ 30,31 <sup>b</sup>
<b>F</b>	5,64	3,68	3,44	4,62	8,86	5,60
<b>P</b>	0,036	0,017	0,007	0,059	0,004	0,064

Dans une même colonne, les moyenne suivies de la même lettre ne sont pas significatif ; **F** : la fréquence approximative aux tests ; **P** la probabilité approximative aux tests ; **TAL** : tyrosine ammonia-lyase ; **PAL** :phénylalanine ammonia-lyase ; **PPO** : polyphénoloxydase ; **POD** : peroxydase ; **CAT** : catalase ; **APx** : ascorbate peroxydase,  $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{g}$  MF : micromole par minute par gramme de matières fraîche et (**mmol/min/g** : millimole par minute par gramme.



**Tableau VI:** Corrélation entre les variables quantitatives.

	TAL	PAL	PPO	POD	CAT	APx	CHLa	CHLb	CHLt	CARO	C PHE	SUC T	PROL
<b>TAL</b>	1												
<b>PAL</b>	0,01	1											
<b>PPO</b>	0,068	-0,318	1										
<b>POD</b>	0,115	0,119	0,124	1									
<b>CAT</b>	-0,138	0,296	-0,234	0,158	1								
<b>ApX</b>	-0,048	0,019	0,229	-0,033	0,216	1							
<b>CHLa</b>	0,019	-0,187	0,078	0,252	0,008	-0,282	1						
<b>CHLb</b>	-0,057	-0,188	-0,17	-0,425	-0,073	<b>0,507</b>	-0,57	1					
<b>CHLt</b>	-0,032	-0,436	-0,071	-0,218	-0,157	0,232	0,44	0,482	1				
<b>CARO</b>	0,026	-0,208	0,152	-0,42	-0,109	<b>0,541</b>	-0,247	<b>0,698</b>	<b>0,514</b>	1			
<b>C PHE</b>	0,021	0,27	-0,315	-0,291	0,05	0,089	<b>-0,625</b>	0,276	-0,373	0,147	1		
<b>SUC T</b>	-0,2	0,023	-0,167	0,034	0,346	-0,008	-0,371	0,116	-0,282	-0,102	0,317	1	
<b>PROL</b>	0,061	-0,089	0,233	-0,006	-0,414	0,106	0,393	-0,133	0,298	-0,009	-0,269	<b>-0,523</b>	1

**TAL** : tyrosine ammonia-lyase ; **PAL** :phénylalanineammonia-lyase ; **PPO** : polyphénoloxydase ; **POD** : peroxydase ; **CAT** : catalase ; **ApX** : ascorbate peroxydase ; **CHLa** : Chlorophylle a ; **CHLb** : chlorophylle b ; **CHLt**:chlorophylle totale ;**CARO** :caroténoïde ; **PROL** : proline ; **C PHE** : composé phénolique et **SUC T** : sucres totaux



### 3.2. Discussion

Les résultats relatifs aux différents variables physiologiques des nouvelles lignées de maïs ont été évalués. En effet, les paramètres physiologiques ont montré une différence significative au niveau des lignées étudiés. La teneur en pigments chlorophylliens et en caroténoïde varie d'une lignée à une autre. Les plus faibles teneurs en pigment chlorophylliens ont été observées chez les lignées S116 et S148. Cette variation des pigments chlorophylliens serait due à l'activité photosynthétique de chaque lignée. Selon Inanc (2011), la réduction ou l'augmentation de la teneur en pigments photosynthétiques est fonction de l'adaptabilité et la sensibilité des variétés étudiées. Des résultats similaires ont été obtenus par Ayolié *et al.* (2021) sur l'effet du stress hydrique chez le maïs. Ils ont révélés que la diminution en pigments chlorophylliens est liée à la faible quantité d'eau.

L'évaluation des composés biochimiques au niveau des lignées de maïs étudié a permis de mettre en évidence une augmentation significative de la teneur en composé phénolique chez la lignée S116 comparativement au témoin. En effet, les composés phénoliques participent à la croissance, au développement et à la protection de la plante. Ils interviennent chez la plante au cours d'une agression ou d'un stress. Cette augmentation de la teneur en composés phénolique chez la lignée S116 pourrait s'expliquer par sa résistance aux conditions environnementales. Nos résultats sont en accord à ceux de (Mberdoum *et al.*, 2020) qui ont révélés au cours de leur étude une quantité élevée de composés phénoliques dans les feuilles de manioc. Ces auteurs ont aussi mentionné que les composés phénoliques interviennent dans des rôles aussi variés que sont les réactions de défense contre les agresseurs, la croissance cellulaire, la différenciation organogène, la dormance des bourgeons, la floraison et la tubérisation.

Au niveau des sucres totaux qui sont les sources d'énergies et de métabolisme des plantes, nos résultats ont révélés que la lignée S138 et S148 ont enregistré la plus grande teneur par rapport au témoin. Cette augmentation des sucres totaux dans ces lignées serait provoquée par une activité métabolique très élevée chez ces différentes lignées. Plusieurs auteurs ont démontré que l'accumulation des sucres totaux, dans des conditions de stress de sécheresse, aide à maintenir la stabilité de la membrane, à protéger la fusion de la membrane et à conserver les protéines afin de rester fonctionnelle (Lisar *et al.*, 2012 ; Lipiec *et al.*, 2013).

Les activités enzymatiques des nouvelles lignées de maïs ont été évaluées, les résultats ont montrés que cette activité diffère d'une lignée à l'autre avec une différence significative.

L'activité de la PAL est plus élevée chez les lignées S116 et S148. Cette enzyme joue un rôle important dans la réaction de défense de la plante contre les agresseurs. Elle est impliquée dans la synthèse de l'Acide Salicylique (AS) et d'autres composés phénoliques comme les lignines intervenant dans le renforcement des parois pectocellulosiques (Chen & Clure, 2000). Concernant la PPO qui joue le rôle de signalisation contre les attaques biotiques et abiotiques, elle est plus élevée chez le témoin et la lignée S116. Ce qui révèle leur intervention dans la résistance de la plante. Au niveau de l'enzyme CAT sa présence est indispensable pour la plante, car elle agit pour oxyder la cellule et éliminer l'effet cytotoxique. Son activité a été élevée dans la lignée S138 et S148 et non dans les autres lignées. Cela démontre que la plante met en place un système pour résister à la sécheresse au niveau de la lumière qui est intense. Pan *et al.* (2020) ; Kim *et al.*(2020) affirment que les concentrations de l'enzyme catalase augmentent, la capacité des plantes à tolérer la lumière intense lorsqu'elles sont exposées à la sécheresse. En effet, la peroxyde d'hydrogène (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) est transféré des plastes au peroxysome grâce à la présence de l'enzyme CAT, ce qui permet de décomposer le peroxyde d'hydrogène sans aucun catalyseur dans le peroxysome, car le peroxysome est plus résistant que les plastes (Mayer A. (1987). Par ailleurs, la présence de l'activité élevée en CAT chez les S138 et S148 serait due à un stress oxydatif causé par la méthode d'irradiation dont sont issues ces lignées. Selon Mberdoum *et al.* (2020) dans leur étude sur les Semences de cultivars de maïs (*Zea mays* L.), affirme que les activités CAT et POD ont augmenté de façon remarquable dans les cultivars tolérants au sel (SC 129 & SC 13), alors qu'elles ont diminué dans le cultivar sensible (SC 155). Par ailleurs, le résultat des analyses ont montré une corrélation positive entre l'Ascorbate peroxydase, Chlorophylle b et le Caroténoïde. En effet, cette relation indique que la synthèse de ces variables varie l'une en fonction de l'autre dans le même sens. Contrairement, à la synthèse de la chlorophylle a et des composés phénoliques, qui ont présenté une corrélation négative. Cette relation entre ces variables montre que la synthèse des composés phénoliques et la chlorophylle a est indépendante l'une de l'autre. Ensuite, la synthèse de chlorophylle totale est corrélée positivement avec le caroténoïde. En effet, ces variables varient l'une en fonction de l'autre dans le sens.



# **CONCLUSION**

Ce travail a consisté à étudier le comportement agronomique de quatre (4) lignées, plus un témoin (Ev8728) de maïs (*zea mays* L.) dans la ville de Daloa. Les résultats ont révélé des différences significatives sur tous les paramètres physiologiques et biochimiques étudiés. Les faibles teneurs en pigments chlorophylliens a, b, totale et caroténoïde ont été enregistrées avec les lignées S116 (0,31 $\mu$ g/g MF) et S148 (0,34 $\mu$ g/g MF) et dans l'ensemble les fortes teneurs en pigments chlorophylliens ont été obtenues chez le témoin (0,92 $\mu$ g/g MF). Au niveau des composés biochimiques, la lignée S116 (1,24  $\mu$ g/g MF) a accumulé les plus fortes valeurs à l'exception du témoin, qui a obtenu seulement un taux élevé de proline. Ensuite, dans l'ensemble, la lignée S148 a une grande activité enzymatique au niveau des variables PAL (0,39 $\mu$ mol/min/g MF), POD (573,50  $\mu$ mol/min/g MF) CAT (2681,19 mmol/min/g) et APx (3095,71 mmol/min/g) que le témoin (0,29  $\mu$ mol/min/g MF). Au niveau de TAL et PPO, les activités les plus élevées ont été obtenues chez le témoin (7,33  $\mu$ mol/min/g MF).

Finalement, cette étude a permis de voir et d'apprécier les meilleures lignées (S116 et S148) dans la synthèse des pigments foliaires et les composés biochimiques, elle a montrée aussi que les activités enzymatiques sont plus élevées chez les lignées (S116, S138, S143 et S148) que le témoin de maïs rouge étudié.

Au terme de cette étude, quelques perspectives peuvent être envisagées. Ainsi, serait-il donc judicieux de:

- effectuer cette étude avec plusieurs lignées;
- étudier l'effet de la saison sur le comportement physiologique et biochimique;
- étudier d'autres paramètres physiologiques et biochimiques.

# RÉFÉRENCES

- Ahmadou B. S. (2018). Evaluation de variétés hybrides de maïs dans les conditions de culture du sud du bassin arachidier du Sénégal, mémoire de master en agriculture, département des productions végétales, Université de Thies, Dakar (sénégal), 49p.
- Akanvou L. (2003). Rapport etude des contrainte sur le maïs en cote d'Ivoire, document interne CNRA, cote d'ivoire, 2p.
- Akanvou L., Akanvou R., Toto K. (2006). Effets des variétés de maïs et de légumineuses dans la lutte contre *Striga hermontica* en zone de savane en Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 18(1): 13-21.
- Anonyme (2014). Cooperation union Eupeenne Republique de la cote d'ivoire programme. Diagnostic de la filière maïs en Côte d'Ivoire. 59p.
- Avalis (2012). Choisir le Maïs, Region Basse-normandie, pp 60 -67.
- Ayolié K. Kouassi N.J., Angaman D.M., Kouadio A.B., Soro D., Kouakou T.H. & Kouadio Y.J. (2016). Effect of water stress on morphological, physiological and biochemical parameters of three varieties of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivated in Côte d'Ivoire. *International Journal of Scientific Engineering and Applied Science (IJSEAS)*, 2 (11): 148-161.
- Ayolie K., Kouame N., Soro D., Ouattara S., Kouadio A. B., Kanga A. N. & Kouadio Y. J. (2021). Impact of drought on the foliar physiology of maize plants irradiated with gamma radiation. *International Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, 13(2): 30-37.
- Bassaler N. (2000). Le maïs et ses avenir. Cahier du LIPS n°13 GERPA (France), 47p.
- Benik L., Omari E.F., Dahan R., Van Damme P., Benkirane R. & Benyahia H. (2013). Évaluation de l'effet du stress hydrique et du porte-greffe sur la clémentine (*Citrus reticulata*) Swinglevar.Sidi Aissa. *Journal of Applied Biosciences*, 71 : 5692-5704.
- Bouis H.E., Hotz C., Mc Clafferty B., Meenakshi J.V. & Pfeiffer W.H. (2011). – Biofortification: a new tool to reduce micronutrient malnutrition. *Foot Nutr.*
- Carvalho K., Campos M.K.F., Domingues D.S., Perira L.F.P.(2013). The accumulation of endogenous proline induce changes in gene expression of several antioxidant enzymes in leaves of transgenic Swingle citrumelo. *Molecular Biology Reports*. 40(4): 3269-3279.

- Cazares X.B., Ramirez-Ortega F.A., Flores-Elenes L. & RuizMedrano R. (2011). Drought tolerance in crop plants. *American Journal of Plant Physiology*, 5(5) : 1-5.
- Chen M. & Mc Clure J.W. (2000). Altered lignin composition in phenylalanine ammonialyase inhibited radish seedlings: implication for seed derived sinapoyl esters as lignin precursors. *Phytochemistry*. 53: 365-370.
- Chen Y., Yu J., Huang B. (2015) Effects of elevated CO<sub>2</sub> concentration on water relations and photosynthetic responses to drought stress and recovery during watering in tallfescue. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 140: 19-26.
- CNRA. (2006). Bien cultiver le maïs en Côte d'Ivoire. Rapport, 4p.
- CNS-Maïs (2018). Impact de l'adoption des variétés améliorées de maïs sur le bien-être des maïsiculteurs au Bénin, au Burkina-Faso, en Côte d'Ivoire et au Mali. Rapport régional, 46p.
- Countrystat., 2013-http// : [www.countrystat.org/civ/cont/pxwebquery/ma/107spd080/fr](http://www.countrystat.org/civ/cont/pxwebquery/ma/107spd080/fr) consulte le 12/03/22
- Desender S., Andrivon D. & Val F. (2007). Activation of defence reactions in Solanaceae: where is the specificity, *Cell Microbiology*, 9: 21-30.
- Doffangui K. (1997). Fiche technique du maïs. Institut Agricole de Bouaké (IAB), Côte d'Ivoire, 40p.
- Dreir W. & Goring M. (1974). Der einfluss hoher salzkonzentrationen auf verschiedene physiologische parameter von maïswurzeln, *Win Z, der HU Berlin, Nath. Naurrwiss Revue*, 23: 641-644.
- Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Rebers P.A. & Smith F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances, *Annalical Chemistry*, 28: 350- 356
- Ellis R.H., Summerfield R.J., Edmeades G.O. & Roberts E.H. (1992). Photoperiod, Temperature, and the interval from sowing to tassel initiation in diverse cultivars of maize, *Crop Science*, 32(5): 1225-1232.
- FAO STAT. (2020). Agricultural production, crop primary database. Food and agricultural organization of the United Nations, Rome. <http://faostat.fao.org/faostat/>. Consulté le 22/02/22
- Ferrer A. 2003. Pesticide poisoning. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 26(1): 155-171.

- Foyer C. H. & Noctor G. (2011). Ascorbate and Glutathione : The Heart of the Redox Hub  
*Plant Physiological*.
- Gay J. P., 1984. –Fabusleux mais : histoire et avenir d'une plante, AGPM, Infocompo, Pau, 295p.
- GNIS, (2015). Le maïs: son origine et ses caractéristiques. gnis-pedagogie, 6p.  
<http://www.gnis-pedagogie.org/mais-origine-et-caracteristiques.html>. Consulté le 25/02/22.
- Gümez-Vásquez R., Day R., Buschmann H., Randles S., Beeching J.R. & Cooper R. (2004). phenylpropanoids, phenylalanine ammonia-lyase and peroxidases in elicitor-challenged cassava (*Manihot esculenta* Crantz) suspension cells and leaves. *Annals of Botany*, 94: 87-97.
- Hitchcock A.S. & Chase A., 1971.-Manual of the grasses of the United States Volume. *Dover publications*: N.Y 2:790-796.
- Hoopen M.E.T. & Maïga A. (2012). Production et transformation du maïs. Collection Pro-agro. Cameroun, 29p.  
<https://www.yumpu.com/en/document/read/53932597/bien-cultiver-le-mais-en-cote-divoire>. Consulté le 12/05/22.
- Inanc A.L. (2011) Chlorophylle : propriétés structurelles, avantages pour la santé et son occurrence dans les huiles d'olive vierges. *Akademik Gida*, 9 : 26-32.
- INRA. (2006). Sécheresse et agriculture: réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Synthèse du rapport d'expertise scientifique collective, 76p.
- Kakou M.A (2011). Analyse et amélioration de la production et de la commercialisation du maïs à Daloa, Côte d'Ivoire. Mémoire de Master, Université de Liège, 60p.
- Kanazawa S., Sano S., Koshiha T. & Ushimaru T. (2000). Changes in antioxidative in cucumber cotyledons during natural senescence comparison with those during dark-induced senescence. *Plant physiology*, 109: 211-216.
- Kim Y.N., Khan M.A., Kang S.M., Hamayun M. & Lee I.J. (2020). Enhancement of Drought Stress Tolerance of Brassica oleracea var. italica L. by Newly Isolated

- Variovorax sp. YNA59. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 30(10) : 1500-1509.
- Kouakou C., Akanvou L., Konan Y & Mahyao A. (2010). Stratégies paysannes de maintenir et de gestion de la biodiversité du maïs (*Zea mays* L.) dans le département de Katiola, Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 33 : 2100-2109.
- Kouakou T.H. (2003). Contribution à l'étude de l'embryogenèse somatique chez le cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.) : Evolution de quelques paramètres biochimiques au cours de la callogénèse et de cultures de suspensions cellulaires. Thèse de Doctorat 3è cycle, Université de Cocody, (Abidjan, Côte d'Ivoire), 144p.
- Kouakou T.H. (2009). Embryogenèse somatique chez le cotonnier (*Gossypium hirsutum* L. (Malvaceae)) : variation des composés phénoliques au cours de la callogénèse et de la culture des suspensions cellulaires. Thèse de Doctorat d'Etat, Université d'Abobo-Adjamé, (Abidjan, Côte d'Ivoire), 149p.
- Kouamé Y., Konan A., Kouassi K. & Koffi G. (2020). Alimentation de rue et risques sanitaires à Daloa (Côte d'Ivoire). *Revue Espace, Territoires, Société et Santé*, 3(5) : 25-40.
- Kumar D & Aditya N. (2013). Nutritional, Medicinal and Economical importance of Corn : A Mini Review Research. *Journal of pharmaceutical Sciences*, 2. 115-123.
- Kumar R. (1991). La Lutte Contre les Insectes Ravageurs. Karthala et CTA : Paris ; 10- 311.
- Lans C.A. (2006). Ethnomedicines used in Trinidad and Tobago for urinary problems and diabetes mellitus. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*. 2(45): 1-11.
- Latifa R., Hadi S. & Nurrohman E. (2019). The exploration of chlorophyll content of various plants in City Forest of Malabar Malang. *Bioedukasi*, 17(2): 50-62.
- Laura R.D.B. (2021). Drought increases chlorophyll content in stems of *Vitis* interspecific hybrids. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 1: 69-78.
- Lichtenthaler H.K. (1987). Chlorophyll and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes, *Methods in Enzymology*, 148: 350-382.
- Lipiec J., Doussan C., Nosalewicz A. & Kondracka K, (2013). Effect of drought and heat stresses on plant growth and yield: A review. *International Agrophysics*, 27(4): 463-477.

- Lisar S. Y. S., Motafakkerzad R., Hossain M. M. & Rahman I. M. M. (2012). Water Stress in Plants: Causes, Effects and Responses. *Water Stress*, 5: 1-16.
- Lobell D.B., Bänziger M., Magorokosho C. & Vivek B. (2011). Nonlinear heat effects on African Maize as evidenced by historical yield trials. *Nature Climate Change*, 1: 42-45
- Marchand J., Berthaud., Dintinger J., Reynaud B. & Ozido J. (1997). Le maïs et l'amélioration des plantes tropicales, CIRAD, ORSTOM, pp 401-427.
- Mayer A. (1987). Polyphenoloxidases in plants, recent progress. *Phytochemistry*, 26: 11-20..
- Mberdoun N., Rasmata N., Alain D. & Zoumbiessé T. (2020). Quelques paramètres physiologiques et constituants biochimiques des organes de la lentille de terre (*Macrotyloma geocarpum*) en conditions de stress hydrique. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*. 14(4) : 1228-1240.
- Mberdoun N., Rasmata N., Alain D. & Zoumbiessé T. (2020). Quelques paramètres physiologiques et constituants biochimiques des organes de la lentille de terre (*Macrotyloma geocarpum*) en conditions de stress hydrique. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*. 14(4) : 1228-1240.
- Murphy D.J. (1994). Biogenesis, function and biotechnology Of plant storage lipids. *Progress in Lipid Research*, 33(1): 71-85.
- Nathalie B. (2000). – Le maïs et ses avenir, Cahier du LIPS n°13 47p.
- Nguinambaye M.M. (2010). Etude de quelques paramètres physiologiques chez la Lentille de terre (*Macrotyloma geocarpum* H.) en conditions de stress hydriques. Mémoire de diplôme d'études approfondies (DEA). Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 55P.
- Pan R., Liu J., Wang S. & Hu J. (2020). Peroxisomes: versatile organelles with diverse roles in plants. *New Phytologist*, 225(4) : 1410-1427.
- Pandey V.P., Awasthi M., Singh S., Tiwari S. & Dwivedi U.N. (2017). A comprehensive review on function and application of plant peroxidases. *Biochemistry and Analytical Biochemistry*, 6(1): 1-16.
- Poda E. (1979). L'amélioration du maïs pour la productivité et la valeur nutritionnelle. Etude de la prolificité en épis et des facteurs de richesse en lysine du grain. Mémoire de fin d'études, DESTOM, INRA, (Montpellier, France), 106p.

- Regnier T. (1994). Composés phénoliques du blé dur (*Triticum turgidum* L. var *durum*) ; Variation au cours du développement et de la maturation du grain relation avec l'apparition de la moucheture. Thèse de sciences et technique de langue doc, base de la production végétale, Université. Montpellier II, France, 177p.
- Santimone M. (1973). Mécanismes des réactions d'oxydation peroxydasique. Thèse d'Etat, Université d'AIX Marseille II. N° AO. 8321 (France), 2343p.
- Singh. (2000). Biochemistry of phenolic compounds. (ed). Academic press. London-New York, 25p.
- Smale. M., Byerlee D. & Jayne T. (2011). Maize revolution in sub Saharan Africa. Document de travail sur la recherche polique N°- 5659, Washington Dc Banque mondiale, 45p.
- Sy A.A. (2004). Conduite de la culture du maïs en zone cotonnière sénégalaise. Analyse pratiques paysannes dans le département de Vélingiara. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome spécialité production végétale. Ecole Nationale Supérieur d'Agriculture (ENSA), Thiès, Sénégal, 76 p.
- Verslues P. E & Sharma S. (2010). Proline metabolism and its implacation for plant-environment interaction. *The Arabidopsis Book / American Society of plant Biologists*, 8: 1-8.
- Wititsuwannakul D., Chareonthiphakorn N., Pace M. & Wititsuwannakul R. (2002). Polyphenol oxidases from latex of *Hevea brasiliensis*: purification and characterization. *Phytochemistry*. 61: 115-122.
- Zhou Y., Dahier J.M., Underhill S.J.R. & Wills R.B.H. (2003). Enzymes associated with blackheart development in pineapple fruit. *Food Chemistry*, 80: 565-572.

## **Résumé**

Le maïs est une céréale cultivée dans des conditions très variées allant du climat tropical au climat tempéré. Cependant, le changement climatique et la perte de la fertilité des sols sont des facteurs réduisant la production. Ainsi, pour améliorer cette plante, est-il important de connaître son comportement agronomique. C'est dans cette optique, cette étude a été initiée sur la parcelle expérimentale de l'université Jean Lorougnon Guédé avec pour objectif général est de connaître le comportement agronomique et biochimique de quatre (4) lignées de maïs cultivées. Les méthodologies ont concerné l'extraction et le dosage des pigments foliaires, des composés biochimiques et des enzymes à partir des feuilles de maïs âgées de trois semaines. À l'issue de cette expérience, les résultats ont révélé un effet significatif au niveau des paramètres physiologique et biochimiques. En effet, la lignée S143 et le témoin (STo) ont accumulé de forte teneur en pigments chlorophylliens. La lignée S116 a eu de forte teneur en composés biochimiques. Ensuite, la lignée S148 a emmagasiné de grandes quantités enzymatiques au niveau des variables PAL, POD CAT et ASCOB. Cependant au niveau de TAL et PPO, les quantités les plus élevées ont été obtenues chez le témoin. Enfin, la lignée S143, a obtenu en moyenne de bonnes valeurs dans l'ensemble des paramètres évalués.

**Mots-clés :** Lignée, témoin, dosage, pigments, enzyme.

## **Abstract**

Maize is a cereal grown in a wide range of conditions from tropical to temperate climates. However, climate change and loss of soil fertility are factors that reduce production. Thus, to improve this plant, it is important to know its agronomic behavior. It is in this perspective, this study was initiated on the experimental plot of the University Jean Lorougnon Guédé with the general objective to know the agronomic behavior of four (4) lines of cultivated corn. The metrology involved the extraction and determination of leaf pigments, biochemical compounds and enzymes from three-week-old corn leaves. At the end of this experiment, the results revealed a significant effect on the physiological and biochemical parameters. Indeed, line S143 and the control (STo) accumulated on average high levels of chlorophyll pigments. The line S116 had a high content of biochemical compounds. Then, the S148 line stored large amounts of enzyme at the level of PAL, POD CAT and ASCOB variables. However, for TAL and PPO, the highest amounts were obtained in the control. Finally, the line S143, obtained on average good values in all the parameters evaluated.

**Keywords:** Line, control, assay, pigments, enzyme.

