

BURKINA FASO

\*\*\*\*\*

Unité-Progrès-Justice

\*\*\*\*\*

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE ET DE L'INNOVATION (MESRSI)

\*\*\*\*\*

UNIVERSITE NAZI BONI(UNB)

\*\*\*\*\*

INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL (IDR)



MEMOIRE DE FIN DE CYCLE

*En vue de l'obtention du*

DIPLOME D'INGENIEUR DU DEVELOPPEMENT RURAL

OPTION : AGRONOMIE

Thème :

Evaluation de la performance *per se* et en combinaison des lignées tempérées de maïs Ex-PVP au Burkina-Faso

Présenté par: SANON Diane Rolande

Maître de stage : Dr Abdalla DAO

Directeur de mémoire : Pr Irénée SOMDA

Co-maître de stage: Dr Jacob SANOU

Co-directeur de mémoire: M. Begue Dao

N : .....2017/AGRO

Juillet 2017

## Table des matières

Dédicace .....	iii
Remerciements .....	iv
Sigles et abréviations.....	v
Liste des tableaux .....	vi
Liste des figures.....	vii
Résumé.....	viii
Abstract .....	ix
Introduction.....	1
I. Synthèse bibliographique.....	3
1. 1. Production du maïs au Burkina-Faso.....	3
1.1.1. Evolution de la production, de la superficie et du rendement .....	3
1.1.2. Contraintes de la production du maïs .....	4
1.2. Germplasm de maïs.....	6
1.2.1. Maïs tempéré .....	6
1.2.2. Maïs tropical .....	9
1.3. Paramètres génétiques .....	11
1.3.1. Notion de testeur .....	11
1.3.2. Notions d'aptitude à la combinaison .....	12
1.3.3. Notion d'hétérosis.....	13
II. Matériel et méthodes.....	16
2.1. Zones d'étude.....	16
2.1.1. Site de Farako-Bâ.....	16
2.1.2. Site de la Vallée du Kou .....	17
2.2. Matériel végétal .....	17

2.2.1. Lignées Ex-PVP.....	17
2.2.2. Création des hybrides top-cross et régénération des lignées Ex-PVP.....	19
2.3. Méthodes .....	20
2.3.1. Dispositif expérimental .....	20
2.3.2. Conduite de l'essai .....	20
2.3.3. Variables étudiées .....	21
2.3.4. Analyse des données.....	24
III. Résultats et discussion .....	26
3.1. Résultats.....	26
3.1.1. Evaluation agro-morphologique des lignées Ex-PVP en saison humide .....	26
3.1.2. Evaluation agro-morphologique des lignées Ex-PVP en saison sèche .....	37
3.1.3. Evaluation des hybrides top-cross en saison sèche .....	41
3.2. Discussion.....	48
3.2.1. Réaction des lignées tempérées Ex-PVP face aux maladies tropicales.....	48
3.2.2. Performance agronomique des lignées Ex-PVP et des hybrides top-cross.....	48
3.2.3. Manifestation de l'hétérosis chez les hybrides top-cross issus du croisement entre les lignées Ex-PVP et les testeurs tropicaux.....	51
3.2.4. Exploitation du maïs tempéré dans les programmes d'amélioration du maïs des zones tropicales.....	51
Conclusion et perspectives.....	53
Références bibliographiques.....	55

## **Dédicace**

*Je dédie ce mémoire :*

*-A ma tendre famille ;*

*-Et à tous ceux qui m'ont soutenue durant tout mon parcours scolaire.*

## **Remerciements**

Ce mémoire est le fruit de dix mois de stage passé au sein du programme céréales traditionnelles de la DRREA-O à Farako-Bâ. Son élaboration a été possible grâce aux concours de plusieurs personnes à qui nous désirons témoigner toute notre gratitude. Nos remerciements vont à :

**Dr BACYE Bernard** le Directeur de l'Institut du Développement Rural (IDR), ainsi qu'à tous les enseignants dudit institut pour l'encadrement technique et scientifique dont nous avons bénéficié au cours de notre formation.

**Dr OUEDRAOGO Ibrahima**, Directeur régional de la DRREA-Ouest pour nous avoir accordé ce stage à l'INERA.

**Dr DAO Abdalla**, notre maître de stage qui nous a toujours écouté et guidé durant tout le stage. Nous avons bénéficié de son expérience et de sa rigueur dans le travail. Qu'il trouve ici l'expression de notre profonde gratitude.

**Dr SANOU Jacob**, chef du programme céréales traditionnelles section maïs et notre Co-maître de stage pour nous avoir reçus dans son laboratoire et pour sa disponibilité pour l'élaboration du document.

**Pr SOMDA Irénée**, pour avoir accepté être notre directeur de mémoire.

**M. DAO Begue**, notre co-directeur de mémoire pour ses conseils, ses encouragements et surtout sa rigueur scientifique qui nous a été très bénéfique.

**Dr Nofou OUEDRAOGO, Dr Zara NIKIEMA, M. Pascal PARE et Mme Jeanne SIB/KABORE** pour leurs soutiens, assistance et conseils durant les expérimentations et pour la bonne ambiance de travail qu'ils ont su créer.

Mes amis, camarades de classe et collègues stagiaires. Je leur adresse mes sincères remerciements pour leurs soutiens multiformes.

Mes parents, pour leur patience et pour toute leur affection durant tout mon parcours scolaire

Enfin, tous ceux dont les noms n'ont pu être cités, qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

## **Sigles et abréviations**

**AGC** : Aptitude Générale à la Combinaison

**ASC** : Aptitude Spécifique à la Combinaison

**CIMMYT** : Centro International De Mejoramiento de Maiz Y Trigo (Centre International pour l'amélioration du maïs et du blé)

**CML** : CIMMYT Maize Line

**DGESS** : Direction Générale des Etudes et des Statistiques Sectorielles

**DGPER** : Direction Générale de la Promotion de l'Economie Rurale

**DPSAA** : Direction de la Prospective et des Statistiques Agricoles et Alimentaires

**DRREA** : Direction Régionale des Recherches environnementales et agricoles

**Ex-PVP** : Expired Plant Variety Protection

**FAOSTAT** : Food and Agriculture Organisation Statistic

**IITA** : International Institute of Tropical Agriculture

**INERA** : Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles

**K** : potassium

**MAAF** : Ministère de l'Agriculture de l'Agroalimentaire et de la Forêt

**MSV** : Maize Streak Virus

**NCRPIS** : North Central Regional Plant Introduction Station

**NPK** : Azote Phosphore Potassium

**NSS** : Non-Stiff-Stalk

**PVPA** : Pant Variety Protection Act

**SS** : Stiff-Stalk

**T** : Tropicale

**TA** : Tempéré Adapté

## Liste des tableaux

Tableau I: Liste des lignées Ex-PVP .....	18
Tableau II: Liste des lignées Ex-PVP ressemées avec les 10 lignées tropicales .....	19
Tableau III: Groupage des lignées selon la sensibilité aux maladie.....	22
Tableau IV: Carré moyen de l'incidence et de la sévérité des maladies au stade montaison.....	26
Tableau V: Carré Moyen de l'incidence et de la sévérité des maladies au stade post-floraison .....	27
Tableau VI: Carré Moyen des caractères agro-morphologiques .....	28
Tableau VII: Indices de la sévérité et de l'incidence des maladies au stade montaison (34 JAS) et post-floraison (62 JAS). .....	29
Tableau VIII: Moyenne par groupe de la sévérité et de l'incidence des maladies au stade montaison	33
Tableau IX: Moyenne par groupe de la sévérité et de l'incidence des maladies au stade post-floraison .....	34
Tableau X : Moyenne par génotype des caractères agro-morphologiques combinée au résultat du test de DUNNET .....	35
Tableau XI: Moyenne par groupe des caractères agro-morphologiques combinée au résultat du test de Student-Newman-Keuls (SNK).....	37
Tableau XII: Analyse de variance des variables phénotypiques et du cycle des lignées. ....	38
Tableau XIII: Résultats du test de Dunnett .....	39
Tableau XIV: Moyenne par groupe des caractères agro-morphologiques combiné au test de student-Newman-Keuls.....	41
Tableau XV: Analyse de variance des variables de l'architecture et du cycle des hybrides. ....	42
Tableau XVI: Minimum, maximum, moyenne, coefficient de variation et carré moyen de quelques variables de la productivité et des caractéristiques biométriques de l'épi. ....	43
Tableau XVII: Données moyennes des hybrides combiné au test de Dunnet.....	44
Tableau XVIII: Résultat de l'hétérosis moyenne de 11 hybrides (exprimé en %).....	45
Tableau XIX: Résultat du test de Duncan pour le rendement .....	46
Tableau XX: Corrélation entre le rendement et quelques variables. ....	46
Tableau XXI: Pourcentage de supériorité des meilleurs hybrides par rapport aux témoins.....	47

## Liste des figures

- Figure 1: Evolution de la production de maïs au Burkina Faso de 1995 à 2015 ..... 4
- Figure 2: Evolution de la pluviométrie et des températures mensuelles de la station de Farako-Bâ .... 16

## Résumé

Le succès d'un programme de sélection dépend en grande partie de la disponibilité de la variabilité génétique au sein du matériel de travail. C'est dans ce cadre que notre étude a envisagé l'évaluation de la performance *per se* et en combinaison des lignées tempérées de maïs (*Zea mays L.*) Ex-PVP au Burkina-Faso. L'objectif de cette étude était d'augmenter la variabilité génétique du germplasm de maïs du programme d'amélioration variétale de l'INERA, pour la création à moyen et à long terme d'hybrides performants. Deux expérimentations ont été conduites. L'une pendant la saison humide sur le site de la station expérimentale de Farako-Bâ (d'aout à novembre 2016) et l'autre pendant la saison sèche froide sur le site expérimental de la vallée du Kou (de décembre 2016 à avril 2017). Au total, 106 lignées dont 96 Ex-PVP d'origine américaine ont été concernées par l'évaluation en saison humide. Le matériel étudié en saison sèche froide est constitué de 23 hybrides et de 40 lignées. Le dispositif utilisé pour les deux expérimentations est un bloc Fisher complètement randomisé. En général, les lignées Ex-PVP ont présenté une résistance aux maladies et une performance agronomique inférieure à celle des lignées tropicales. Face à l'helminthosporiose, elles ont été sensibles avec une note moyenne avoisinant 3,7 et une incidence moyenne de près de 80%. Pour ce qui concerne la curvulariose et la striure, face à ces maladies les lignées Ex-PVP ont été pour la plupart résistantes avec des moyennes respectives de 1,1 et 1,6. Pendant la saison humide, les lignées Ex-PVP ont été en moyenne caractérisées par de petites tailles (60 cm pour les NSS et 66 cm pour les SS). Au terme de l'évaluation les meilleures lignées Ex-PVP retenues par rapport à leur résistance aux maladies et à la proportion de plantes portant au moins un épi sont : LH127, LH213, PHB47, PHT55, 6M502, PHW52 et PHK29. Les croisements entre le matériel tempéré Ex-PVP et tropical ont généré des gains significatifs de précocité (allant jusqu'à 9 jours) et de taille (jusqu'à 48 cm). Les hybrides TZEI17×78004, TZEI17×F42, TZEI17×PHR47, TZEI17×PHT77 et e-ESPOIR×PHB47 ont obtenu un rendement excédent de plus de 60% celui de l'hybride témoin Komsaya. Ces résultats constitueront une base pour l'orientation des croisements en vue de l'obtention à long terme d'hybrides performants et à fort potentiel de rendement au Burkina Faso.

**Mots clés :** lignées tempérées, lignées tropicales, Burkina Faso, Ex-PVP, *Zea mays L.*

## **Abstract**

The success of a breeding program depends on a large extent on the availability of genetic variability within the germplasm collection. It is within this framework that our study consider the evaluation of the performance per se and in combination of the temperate maize lines Ex-PVP in Burkina Faso. The aim of this study was to increase the genetic variability of the maize germplasm of INERA's varietal breeding program for the medium and long-term creation of high performing hybrids. Two experiments were conducted. One during the wet season at the experimental station of Farako-Bâ, from August to November 2016 and the other during the cold dry season at the experimental site of “*Vallée du Kou*”, from December 2016 to April 2017. A total of 106 lines, including 96 Ex-PVPs of American origin, were included in the wet season trial. The material studied in the cold dry season consisted of 23 hybrids and 40 lines. The experimental design used for both experiments was a fully randomized Fisher block. In general, the Ex-PVP lines showed disease resistance and lower agronomic performance than tropical lines. They were susceptible to helminthosporia with an average score of around 3.7 and an average incidence of nearly 80%. With regard to curvularia and Maize Streak Virus, the Ex-PVP lines were mostly resistant with averages of 1.1 and 1.6 respectively. During the wet season, Ex-PVP lines were on average characterized by lower heights (60cm for NSS and 66cm for SS). At the end of the evaluation, the best Ex-PVP lines retained with respect to their disease resistance and their proportion of plants bearing at least one ear were: LH127, LH213, PHB47, PHT55, 6M502, PHW52 and PHK29. The crosses between temperate Ex-PVP and tropical material generated significant gains of precocity (up to 9 days) and height (up to 48cm). The TZEI17 × 78004, TZEI17 × F42, TZEI17 × PHR47, TZEI17 × PHT77 and e-Esprit × PHB47 hybrids obtained a yield exceeding that of the control hybrid Komsaya by more than 60%. These results will provide a basis for the orientation of crosses in order to obtain long-term hybrids with high yield potential in Burkina Faso.

**Key words:** temperate lines, tropical lines, Burkina-Faso, Ex-PVP, *Zea mays L.*

## **Introduction**

Base de l'alimentation des populations, les céréales occupent une place importante dans l'agriculture mondiale. Selon la FAO (2013) cité par Cornec (2017), 720 millions d'hectares de céréales sont cultivés dans le monde, soit 51% des terres arables, 14,6% de la surface agricole mondiale et 5,5 % des terres émergées du monde. Parmi les céréales, le maïs est l'une des plus importantes et la plus produite au monde. Il représente 40% de la production mondiale suivi du blé (29%) et du riz blanchi (19%) (USDA, 2014/2015 cité par Cornec 2017). Le maïs est très important dans l'alimentation humaine et animale du fait de sa richesse en glucides, en fibres, en vitamine B9, en magnésium et en phosphore. Les antioxydants de ses cellules sont des composés qui protègent les cellules du corps humain des dommages causés par les radicaux libres impliqués dans le développement des maladies cardiovasculaires, de certains cancers et autres maladies liées au vieillissement (FAO, 2011).

Au Burkina Faso, les superficies totales occupées par les cultures céréalières (mil, maïs, sorgho, riz et fonio) hors plaines durant la campagne agricole 2015/2016 s'élevaient à 3.523.526 hectares avec une production nationale de 4 189 665 tonnes (DGESS, 2016). Pour le maïs, il a été enregistré une production de 1 469 612 tonnes contre 1 433 085 tonnes pour la campagne agricole 2014/2015, soit une hausse de 2,55%. Cette hausse de la production serait imputable à l'augmentation des superficies qui a été de 9,36% par rapport à la campagne 2014/2015. Le maïs demeure la troisième céréale tant du point de vue de la superficie que de la production, après le sorgho et le mil, avec lesquels il constitue la base de l'alimentation (Ouédraogo, 2004).

Le succès de cette céréale est beaucoup lié aux efforts des institutions de recherche à travers la création de variétés améliorées. Ainsi pour soutenir le développement de la filière maïs, les programmes d'amélioration variétale devraient continuellement créer et mettre à la disposition des consommateurs, de nouvelles variétés adaptées aux conditions agro-écologiques et aux besoins des utilisateurs. Par ailleurs, le succès d'un programme de sélection dépend en grande partie de la disponibilité de la variabilité génétique du matériel de travail. L'introduction de nouveau germplasm est une voie efficace pour créer la variabilité. En effet, des études antérieures ont montré que le maïs tempéré peut contribuer à améliorer la variabilité du matériel tropical en apportant des gènes favorables. Les lignées élites américaines protégées des compagnies privées deviennent de plus en plus disponibles après

expiration de leurs licences. Ces lignées dénommées Ex-PVP constituent une nouvelle source de germplasm que toutes les institutions publiques et privées de recherche peuvent utiliser. L'enjeu maintenant est de développer une stratégie pour exploiter ces lignées pour qu'elles puissent générer une diversité génétique additionnelle et ou entrer dans des combinaisons pour créer des hybrides performants. C'est dans ce cadre que s'inscrit notre étude qui a pour thème : « Evaluation de la performance *per-se* et en combinaison des lignées tempérées de maïs Ex-PVP au Burkina-Faso ». Nous visons à travers cette étude à augmenter la variabilité génétique du maïs du programme d'amélioration variétale de l'INERA pour la création à moyen et à long terme d'hybrides performants afin de faire face aux défis de production actuels et futurs.

Spécifiquement, cette étude a pour objectifs de:

- Evaluer la sensibilité des lignées Ex-PVP aux maladies tropicales ;
- Evaluer la performance agronomique des lignées Ex-PVP et des hybrides top-cross ;
- Estimer l'effet hétérosis des hybrides top-cross issus du croisement entre les lignées Ex-PVP et les testeurs tropicaux.

Les hypothèses considérées pour la réalisation de notre travail sont :

- Les lignées Ex-PVP sont sensibles aux maladies tropicales ;
- Les lignées Ex-PVP et les hybrides top-cross ont une bonne performance agronomique ;
- Les hybrides issus du croisement entre les lignées Ex-PVP et les testeurs tropicaux ont une bonne vigueur hétérosis.

Pour mieux aborder le sujet, ce document est réparti en quatre parties :

- La première partie aborde la synthèse bibliographique ;
- La deuxième partie présente l'introduction, le matériel et les méthodes utilisées dans notre étude ;
- La troisième partie porte sur les résultats, la discussion et la conclusion.

## **I. Synthèse bibliographique**

### **1. 1. Production du maïs au Burkina-Faso**

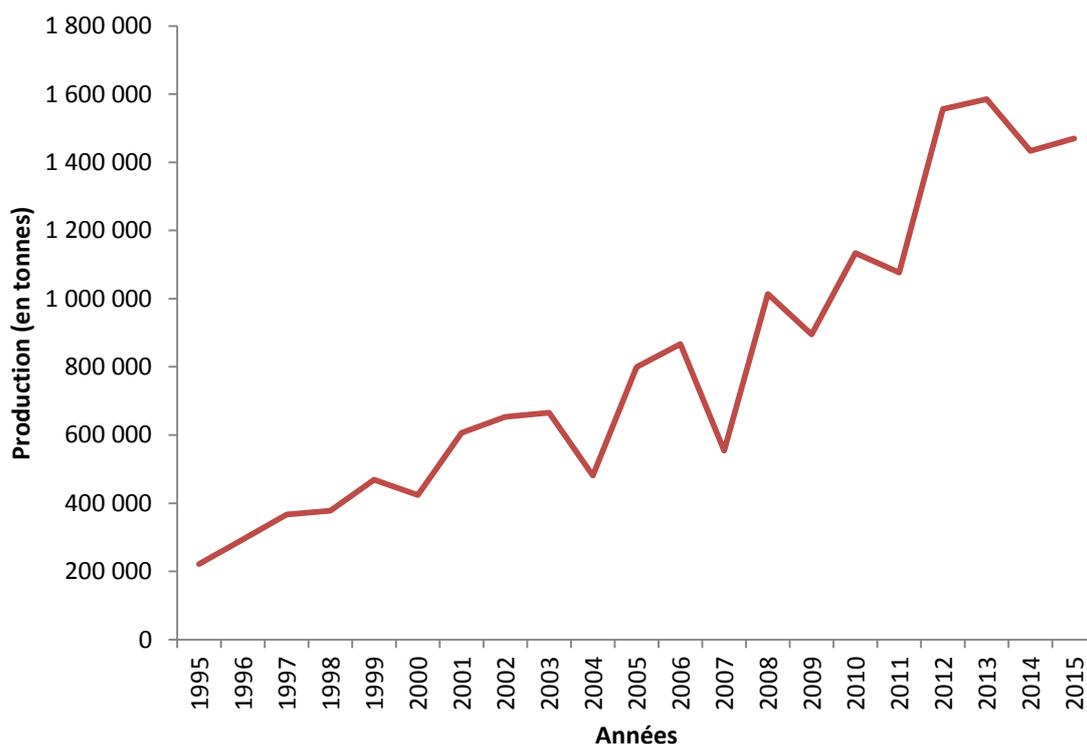
#### **1.1.1. Evolution de la production, de la superficie et du rendement**

La campagne agricole 2015/2016 a enregistré une production définitive nationale des cultures céréalières (mil, maïs, sorgho, riz et fonio) de 4 189 665 tonnes (DGESS, 2016). Comparée à celle de 2014/2015 qui était de 4 469 300 tonnes, elle est en baisse de 6,26%. Le maïs quant à lui, a enregistré une production de 1 469 612 tonnes contre 1 433 085 tonnes pour la campagne agricole 2014/2015, soit une hausse de 2,55%. Cette hausse de la production serait imputable à l'augmentation des superficies qui a été de 9,36% par rapport à la campagne 2014/2015 (DGESS, 2016).

En comparant la production actuelle à celle des vingt dernières années (1995 à 2015), on observe une augmentation continue avec cependant des fluctuations au cours des années. En effet, en 1995 la production enregistrée était de 212 493 tonnes (FAOSTAT, 2017). Elle était sept fois moins que celle enregistrée en 2015. Au fil des années elle a évolué bien que connaissant des baisses à certains moments. La plus grande baisse de production fut observée entre les années 2006 et 2007 au cours desquelles la production chûta de 866 604 à 553 874 tonnes. Cette baisse fut causée par la mauvaise pluviométrie survenue au cours de la campagne agricole 2006/2007. En effet la campagne fut caractérisée par une pluviométrie qui s'est installée tardivement (fin-juin 2007) et qui s'est interrompue brutalement (mi-septembre 2007). Cette interruption a entraîné une sécheresse sur l'ensemble du territoire pendant le bouclage de la phase critique de développement de certaines cultures comme le maïs (DPSAA, 2011).

La plus grande évolution de production fut observée entre les années 2011 et 2012 au cours desquelles la production passa de 1 076 753 à 1 556 316 tonnes (FAOSTAT, 2017). Cette augmentation s'explique par le fait que la campagne agricole 2012/2013 fut caractérisée par une installation précoce de la pluie et par un cumul pluviométrique en majorité similaire à très excédentaire par rapport à la normale (DGPER, 2013).

La figure 1 illustre l'évolution de la production du maïs au Burkina Faso de 1995 à 2015.



**Figure 1:** Evolution de la production de maïs au Burkina Faso de 1995 à 2015

(Source : FAOSTAT, 2017)

La superficie totale emblavée pour la production du maïs au cours de la campagne agricole 2015/2016 se chiffre à 820 117 ha (DGESS, 2016). Elle se répartit entre la production hors plaines et celle dans les plaines et les bas-fonds aménagés. La surface occupée par la production hors plaines est de 813 345 ha contre 6 772 ha pour celle occupée par la production dans les plaines et les bas-fonds aménagés (DGESS, 2016). Concernant la production, hors plaines elle s'est chiffrée à 1 441 464 tonnes contre 28 060 tonnes (20 121 tonnes en saison pluvieuse, 7 939 tonnes en saison sèche) pour la production dans les plaines et les bas-fonds aménagés (DGESS, 2016).

Le rendement définitif du maïs en pure (hors plaines et bas-fonds aménagés) de la campagne agricole 2015/2016 était de 1798 tonnes/ha.

### **1.1.2. Contraintes de la production du maïs**

Selon Dao *et al.* (2015), la production agricole est dépendante en particulier des conditions climatiques, du sol, mais aussi de la situation socio-économique et des moyens techniques du producteur. Le non remplissage de ces conditions peut constituer des contraintes pour la

production. On distingue essentiellement les contraintes biotiques, abiotiques et celles d'ordre socio-économiques.

Les contraintes biotiques concernent les attaques des animaux ravageurs, la présence des mauvaises herbes (notamment le striga), et les maladies. Les principales maladies qui attaquent le maïs au Burkina Faso sont :

La curvulariose : c'est une maladie fongique causée par les espèces *Curvularia lunata* et *C. pallescens*. Elle est répandue dans les régions chaudes et humides et se manifeste sur les feuilles par la formation de petites taches nécrotiques ou chlorotiques cernées d'un halo pâle. Les taches atteignent un diamètre d'environ 0,5 cm (De Léon, 1978).

L'helminthosporiose: elle est causée par *Helminthosporium turcicum* et *Bipolaris maydis*. Appelée maladie de brûlure des feuilles, son agent causal est transmis par les semences. Elle se manifeste par la présence de petites taches humides de forme ovale sur les feuilles. Les taches s'agrandissent jusqu'à produire des grandes lésions en forme de fuseau allongé. Les taches apparaissent d'abord sur les feuilles basales. Leur nombre et leur dimension augmentent avec la croissance de la plante-hôte, jusqu'à la brûlure totale du feuillage.

La rouille : il existe trois principales sortes de rouille des feuilles à savoir la rouille commune, la rouille américaine et la rouille tropicale. La plus répandue dans les régions chaudes et humides est la rouille américaine. Elle est causée par *Puccinia polysora*. La maladie se manifeste par l'apparition de pustules circulaires de coloration brune pâle sur les deux faces foliaires. A l'approche de la maturité de la plante-hôte, les pustules revêtent une teinte brune foncée. On ne connaît pas d'hôte intermédiaire. La rouille se manifeste clairement au moment du dégagement de la panicule.

La striure du maïs ou maize streak: l'agent pathogène, le virus de la striure du maïs (MSV) est un petit virus isométrique de 20 nanomètres de diamètre souvent associé par paire et appartenant au groupe des Gemini virus (Bock, 1974 cité par Konaté et Traoré, 1992). Ce virus est transmis aux plantes par la piqûre de cicadelles, dont *Cicadulina mbila* est le principal agent vecteur au Burkina-Faso. La maladie se manifeste par des lignes étiolées et translucides, longeant les nervures de façon plus ou moins continue.

Les contraintes abiotiques regroupent les éléments tels que la faible fertilité des sols ainsi que l'insuffisance, l'irrégularité et la mauvaise répartition des pluies. La pauvreté des producteurs et le manque d'accompagnement par les services de vulgarisation pour l'appui conseil constituent les contraintes d'ordre socio-économique.

## **1.2. Germplasm de maïs**

Le maïs présente une importante variabilité en ce qui concerne la couleur, la texture, la composition et l'apparence du grain. Il peut être classifié en fonction de la constitution du grain et de l'endosperme (Hallauer, 1994), la couleur du grain, l'environnement dans lequel il pousse (Paliwal *et al.*, 2002), la maturité et les utilisations. Concernant la classification en fonction de l'environnement elle est d'abord basée sur les régions climatiques majeures correspondant à l'altitude où le maïs est cultivé. Le maïs cultivé sous des climats chauds, entre l'équateur et 30° de latitude nord ou sud, est appelé maïs tropical tandis que celui cultivé sous des climats plus froids, au-delà de 34° de latitude nord ou sud est classé comme maïs tempéré (Paliwal *et al.*, 2002).

### **1.2.1. Maïs tempéré**

Le germplasm de maïs tempéré est adapté à des photopériodes longues ( $\geq 13,4$  heures d'ensoleillement) (Taba et Twumasi-Afriyie, 2008). Il est divisé en groupes génétiques appelés groupes hétérotiques. Le concept de groupes hétérotiques fut premièrement développé par les sélectionneurs du maïs. Ces derniers ont observé que les lignées issues de certaines populations tendaient à produire des hybrides de performance supérieure quand elles étaient hybridées avec des lignées appartenant à une autre population.

Le concept selon lequel on choisit les lignées en fonction de l'hétérosis fut premièrement introduit par Shull (1908- 1909). C'est ce concept qui est à la base de la formation des groupes hétérotiques. Il a amené les sélectionneurs à choisir les lignées en fonction de leur aptitude à la combinaison pour la création des hybrides. Cette pression de sélection a entraîné une divergence entre les bases génétiques complémentaires entraînant ainsi la formation des groupes hétérotiques qui occupent une place centrale dans la sélection moderne du maïs (Goldman, 1999 ; Tracy et Chandler, 2006).

Par définition, les groupes hétérotiques représentent des groupes sources de germplasm, qui lorsqu'ils sont croisés entre eux produisent un meilleur résultat que lorsque le croisement est effectué au sein du même groupe (Hallauer et Carena, 2009). Selon Acqaah (2007), ce sont des groupes de génotypes qui sont liés ou pas, issus de la même population ou de populations différentes et affichant une aptitude à la combinaison similaire quand ils sont croisés avec les génotypes appartenant à d'autres groupes de germplasm.

Les principaux groupes hétérotiques et leurs origines sont : "corné" précoce (origine Européenne), "corné" plata (origine sud-américaine), "corné" canadien (origine canadienne),

"denté" iodent (origine nord-américaine), "denté" Lancaster (origine nord-américaine), "denté" Stiff-Stalk Synthétique (origine nord-américaine) et "denté" Minnesota (origine nord-américaine) (Bordes, 2006). Les caractères "corné" et "denté" concernent la forme et la texture du grain. Le grain "corné" possède un albumen vitreux important et un albumen farineux réduit. C'est l'inverse pour le grain "denté" qui en plus a la forme d'une incisive.

Actuellement aux Etats unis, les groupes hétérotiques de première importance sont les Stiff Stalk (SS), les Non-Stiff stalk (NSS) et les Iodent (Nelson *et al.*, 2008). Certains sont classés SS/ non-SS faute de pouvoir leur attribuer un groupe spécifique.

La connaissance des groupes et des paires hétérotiques, est utile pour la sélection du maïs. Elle permet aux sélectionneurs d'utiliser leur germplasm de la manière la plus efficace et la plus logique à travers l'exploitation de la complémentarité entre les lignées. Les sélectionneurs devraient utiliser les informations sur les groupes hétérotiques pour cataloguer la diversité, diriger les processus d'introgession et créer de nouveaux groupes hétérotiques.

Le maïs est de plus en plus produit sous forme d'hybrides et ces derniers sont obtenus à partir du croisement de deux lignées parentales (Bari, 2014). Il existe des systèmes de protection variétale à travers lesquels les obtenteurs peuvent obtenir des droits de propriété intellectuelle leur permettant de protéger ces hybrides ainsi que leurs parents.

Aux Etats-Unis, le PVPA ou U.S. Plant Variety Protection Act fait partie de ces systèmes. Le brevet de protection des variétés américaines (PVPA) fut approuvé en 1970 par le congrès des Etats-Unis. Il déclare que le sélectionneur (ou son successeur), a le droit durant la protection de ses variétés d'exclure les autres de sa commercialisation, de les empêcher de l'offrir pour la vente, de les empêcher de la reproduire, de l'importer, de l'exporter ou de l'utiliser pour la production d'hybrides ou d'autres variétés et cela partout où ce brevet de protection sera valable (Nelson *et al.*, 2008).

A l'origine, le PVPA garantit la protection des variétés pour une durée de 18 ans à partir de la date d'établissement du certificat. Une fois le certificat de protection périmé, les lignées deviennent accessibles et représentent une nouvelle source de germplasm pour les programmes de sélection privés et publics (Nelson *et al.*, 2008). Elles sont alors transférées à la North central regional plant introduction station (NCRPIS) à Ames, Iowa pour être distribuées.

Bien que datant de 20 ans, ces lignées représentent un potentiel génétique que les programmes qui n'y avaient pas accès au départ peuvent exploiter (Mikel, 2006). Elles peuvent permettre

d'ajouter de la valeur aux sources de germplasm des programmes de sélection. Le challenge pour les sélectionneurs qui n'avaient pas accès à ces lignées, est de trouver de nouvelles voies pour les utiliser afin de générer des gains de variabilité génétique et/ou de trouver de nouvelles combinaisons hybrides.

La production de maïs aux Etats-Unis fonctionne comme un système relativement clos et ainsi une baisse de la variabilité génétique pour plusieurs caractères agronomiques intéressants est inévitable. En effet, selon Mikel (2008), une conséquence directe de la sélection dans un système de production fermé est la baisse de la variabilité génétique pour les traits agronomiques sur lesquels la sélection est menée directement ou indirectement. Des auteurs comme Sprague (1971) ont conclu que la production de semences d'hybrides devenait de plus en plus dépendante d'un nombre réduit de lignées et que de nouvelles sources de gènes devaient être développées. Zuber (1975) fit remarquer que des efforts devaient être faits pour élargir les bases du germplasm de maïs Américain et préconisa pour cela l'utilisation du germplasm exotique.

Selon Adabassi *et al.* (1998), l'introgression de matériel exotique pour améliorer du matériel tempéré adapté a été tenté par plusieurs auteurs (Griffing et Lindstrom ,1954 ; Kramer et Ullstrup, 1959 ; Oyervides-Garcia *et al.*, 1985 ; Gutierrez-Gaitan *et al.*, 1986 ; Albrecht et Dudley, 1987 ; Bridges et Gardner, 1987 ; Crossa et Gardner, 1987 ; Crossa *et al.*, 1987 ; Mungoma et Pollak ,1988 ; Eagles *et al.*, 1989 ; Eagles et Hardacre, 1990 ; Tracy, 1990 et Beck *et al.*, 1991).

Nelson *et al.* (2006, 2008) aux Etats-Unis ont également étudié la possibilité de combiner le matériel tropical avec le matériel tempéré des Etats-Unis. Ils ont trouvé que le germplasm de maïs tropical se combinait très bien avec celui des Etats-Unis. Ils ont aussi trouvé que l'introduction du germplasm tropical rendrait facile aux sélectionneurs les prises de décisions pour l'introgression. Cela est dû au fait que le germplasm tropical représente un nouveau groupe hétérotique (pour les Etats-Unis) avec généralement une bonne aptitude à la combinaison avec les SS (Stiff-Stalk) et les NSS (Non Stiff-Stalk). Albrecht et Dudley (1987) et Eagles et Hardacre (1990) ont noté des réductions de rendement en grains dans des essais d'introgression de matériel exotique dans du matériel tempéré adapté.

### 1.2.2. Maïs tropical

Dans les zones tropicales, il existe plusieurs types de grains de maïs. Les plus importants que l'on peut citer sont : les types cornés, perlés (pop-corn), dentés, tendres, cireux et tuniqués (ou vêtus) (Paliwal *et al.*, 2002).

La classification du maïs tropical en groupes hétérotiques n'est pas encore assez bien élaborée. Elle requiert beaucoup d'années de sélection. Si cette activité est pratiquée depuis 100 ans pour le matériel tempéré, elle est beaucoup plus récente pour ce qui concerne le matériel tropical. C'est Wellhausen qui mena au début des années 60, en collaboration avec les sélectionneurs-maïs du Mexique, d'Amérique centrale et d'Amérique du sud, les premières tentatives d'identification systématique de complexes raciaux élités et de groupes hétérotiques chez le maïs tropical (Wellhausen, 1978). La meilleure paire hétérotique fut *Tuxpeño* croisé avec ETO. Paliwal *et al.* (2002) indiquent que *Tuxpeño* se combine bien avec *Cuban flints* et *Coastal tropical flints*. Ces paires et leurs divers dérivés ont été largement utilisés pour la production d'hybrides pour les basses terres tropicales.

Peu de pays tropicaux ont cherché à classer systématiquement leurs germplasms (locaux, localement adaptés, et germplasms de programmes de sélection) en des groupes hétérotiques distincts. En Afrique centrale et en Afrique de l'ouest, les principaux groupes hétérotiques utilisés sont du type maïs tropicaux × lignées tempérées, convertis pour leur adaptation au milieu tropical, et *Tuxpeño* × TZB, une population tropicale semblable à *Tuxpeño* (Kim, 1990).

Dans la moitié des années 1980 le CIMMYT a commencé à développer des groupes hétérotiques au sein desquels ils ont essayé de classer les lignées CML. Plusieurs lignées CML dérivait d'un groupe large de germplasm, de populations et de variétés à pollinisation libre ; seulement plus récemment des CML libres ont été créés à partir du croisement de deux parents en utilisant la méthode de sélection généalogique. Généralement, on distingue deux groupes hétérotiques chez les lignées CML : le groupe A qui correspond au maïs de type denté et le groupe B correspondant au maïs de type corné (Wu *et al.*, 2016).

Au Burkina Faso, Dao *et al.* (2015) ont examiné les relations hétérotiques parmi 24 lignées blanches du CIMMYT et de l'INERA, 26 lignées jaunes de l'IITA et de l'INERA pour le rendement grain et les ont classées en groupes hétérotiques complémentaires. Deux lignées testeurs du CIMMYT à savoir VL0511298 et VL054881 de groupes hétérotiques respectifs A et B ont été utilisées pour croiser les lignées blanches. Deux autres de l'IITA TZEI17 (groupe

A) et TZEI10 (groupe B) ont servi à croiser les lignées jaunes. Les deux testeurs du CIMMYT n'ont pu séparer que 54% des lignées blanches du CIMMYT et de l'INERA en deux groupes hétérotiques opposés tandis que les testeurs de l'IITA ont pu affecter toutes les lignées jaunes de l'IITA et de l'INERA dans les groupes hétérotiques. Sur cette base deux groupes hétérotiques complémentaires ont été formés avec VL0511298 et T02058 comme testeurs pour les lignées blanches et TZEI17 et ELN45-1-1-1 comme testeur pour les lignées jaunes.

Cependant, le maïs tropical est caractérisé par une faible productivité. Cette faiblesse est due à plusieurs facteurs qui sont : les facteurs climatiques (jours courts, les courtes périodes de croissance, la faible intensité des radiations due à la couverture nuageuse et les hautes températures), la sévérité du stress biotique et abiotique et la faiblesse des efforts des programmes d'amélioration sous les tropiques.

Les stress biotiques concernent en général les maladies et les attaques des insectes. En effet, le maïs tropical est attaqué par un grand nombre d'agents pathogènes, responsables des maladies dont le développement et la diffusion sont favorisés par les climats chauds et humides des régions tropicales. Cela engendre des pertes économiques importantes.

Concernant les stress abiotiques, ils regroupent les éléments tels que la sécheresse, les stress liés à une basse fertilité des sols, les basses et hautes températures, l'acidité et la saturation élevée de l'aluminium dans les sols, l'inondation et la salinité (Paliwal *et al.*, 2002).

Pour pallier ces problèmes, des populations tropicales de maïs amélioré ont été mises au point par des structures comme l'Institut International d'Agriculture Tropicale (IITA), le Centre International d'Amélioration du maïs et du blé (CIMMYT) et des stations nationales de recherche. Elles sont cultivées dans plusieurs pays tropicaux. Selon Adabassi *et al.* (1998), ces populations sont généralement bien adaptées aux zones de culture mais présentent parfois des défauts qui motivent leur faible adoption par les paysans. Parmi ces défauts, on peut citer un cycle trop long (où la précocité est recherchée), des hauteurs de plantes et d'épis trop élevés (favorisant la casse et la verse), un mauvais recouvrement de l'épi par les spathes (favorisant l'attaque des épis par les maladies et les ravageurs), un potentiel de rendement en grains relativement faible, un indice de récolte faible et une sensibilité à la sécheresse et à certaines maladies.

Des travaux tentent de corriger certains défauts signalés chez les variétés tropicales de maïs. Mais ces travaux ont rarement fait appel à l'utilisation du germplasm tempéré bien que ce

matériel présente une variabilité génétique et des caractéristiques propres complémentaires de celles du matériel tropical (Gracen,1986).

L'introgession du matériel tempéré dans le but d'améliorer les variétés tropicales de maïs fut essayée par quelques chercheurs. Parmi ceux-ci figurent Avila (1985), Efron (1985), Kim *et al.* (1986), Sauvaire et Sanou (1989) et Adabassi *et al.* (1998). Adabassi *et al.* (1998), Efron (1985) et Sauvaire et Sanou (1989) ont obtenu des gains de précocité, des réductions de hauteurs de plante et d'épi et des réductions de la résistance à la rouille et à l'helminthosporiose par suite de l'introgession du matériel tempéré dans le maïs tropical. Adabassi *et al.* (1998) ont trouvé que cette introgession entraînait une réduction du niveau de résistance à la striure, du degré de recouvrement de l'épi par les spathes, du nombre d'épis par plant et du rendement en grain. Il a également observé des augmentations ou réductions significatives du nombre de grains par épi et du poids de 1000 grains. Sauvaire et Sanou (1989) ont signalé une augmentation du nombre d'épis par plant après l'introgession de matériel tempéré dans le composite tropical IRAT 85.

### **1.3. Paramètres génétiques**

#### **1.3.1. Notion de testeur**

Selon Gallais (2009), un testeur peut être défini comme une population à base génétique plus ou moins étroite, destinée à estimer la valeur en combinaison hybride de géotypes (lignées) candidats à la sélection. Le testeur pour la création variétale doit avoir plusieurs qualités : avoir une base étroite, réduite à un géotype homozygote si possible ; bien se combiner en moyenne au matériel sélectionné et avoir une bonne valeur propre (en particulier s'il est utilisé comme femelle, c'est-à-dire comme porte graine).

Il est aussi nécessaire que les testeurs d'un programme de développement d'hybrides répondent aux différents besoins que l'on a. Ces besoins sont l'établissement du comportement hétérotique, l'amélioration inter-population, la formation et l'amélioration de nouveaux groupes hétérotiques, l'évaluation de l'aptitude à la combinaison des lignées et l'identification des combinaisons hybrides spécifiques (Paliwal *et al.*, 2002).

Le but de l'utilisation d'un testeur pour la création variétale est de limiter, voire supprimer complètement l'étude des combinaisons entre lignées (Gallais, 2009). Il a été estimé qu'un cultivar hétérogène, comme une variété en pollinisation libre à large base, serait un bon testeur pour mesurer l'aptitude générale à la combinaison, tandis qu'un testeur à base génétique étroite, comme une lignée ou un hybride simple, mettrait en évidence l'aptitude

spécifique à la combinaison (Paliwal *et al.*, 2002). Selon Paliwal *et al.*, (2002), une lignée testeur sera utile pour évaluer l'aptitude à la combinaison et pour identifier des combinaisons spécifiques d'hybrides simples. Un testeur hybride simple sera utile pour identifier des combinaisons hybrides trois voies et hybrides doubles. Un testeur non lignée sera nécessaire pour l'identification de combinaisons hybrides mixtes (lignée × non lignée).

### **1.3.2. Notions d'aptitude à la combinaison**

C'est dans les années 1930-1940 qu'est apparu le concept d'aptitude à la combinaison ou valeur hybride, comme critère de sélection des parents d'un hybride (Bordes, 2006). Plus précisément en 1942, Sprague et Tatum proposèrent une méthode d'évaluation des lignées utilisées dans la production d'hybrides de maïs (Acquaah, 2007). Appelée aptitude à la combinaison, cette méthode consiste à l'évaluation des séries de croisements entre les parents sélectionnés pour constater l'ampleur avec laquelle les variances entre les croisements sont attribuables à l'effet additif des caractéristiques des parents et qu'est ce qui peut être considéré comme l'effet des interactions résiduelles (Acquaah, 2007). Selon Bordes (2006), l'aptitude à la combinaison peut être définie comme l'aptitude à une certaine complémentarité pour engendrer une très bonne vigueur hybride.

C'est grâce à l'observation au cours du temps de "bonnes aptitudes à la combinaison" entre populations de diverses origines, qu'on a pu définir plusieurs groupes hétérotiques. Les maïs de type corné se combinaient bien avec tous les groupes de maïs "denté", les "dentés Iodent" avec tous les autres groupes de maïs "denté" et les "Stiff Stalk Synthétique" avec les "Lancaster" et les "Minnesota" (Bordes, 2006).

Au Brésil, Naspolini *et al.* (1981) étudièrent l'aptitude à la combinaison entre populations de maïs tropicaux locaux et introduits. Ils trouvèrent que *Composto PBF* et *Mezcla Tropical Blanca* constituaient une paire pour l'amélioration inter-population.

Kim et Ajala (1996) firent un rapport sur l'aptitude à la combinaison des germplasms de maïs tropicaux d'Afrique de l'Ouest. Les meilleures aptitudes à la combinaison étaient TZB (mélange des caraïbes) × *Across 7721 (tuxpeño)* et *suwan I* × *Across 7728* (denté tropical).

Au Burkina Faso, Millogo (2015) a mené des études sur la performance en combinaison des lignées extraites d'Espoir, de FBC6 et de KEJ. Il a trouvé que par rapport au témoin Bondofa, la plupart des lignées se caractérisaient par une mauvaise ou une faible aptitude spécifique à la combinaison. Par contre, par rapport au témoin Komsaya, il trouva 16 lignées présentant de bonnes aptitudes spécifiques à la combinaison pour le rendement.

En général, on distingue deux types d'aptitude à la combinaison : l'AGC ou aptitude générale à la combinaison et l'ASC ou aptitude spécifique à la combinaison. Selon Gallais (2011), au sein d'une population panmictique, l'aptitude générale à la combinaison (AGC) d'une lignée est estimée par la valeur moyenne de ses descendants (enfants) en fécondation libre ; c'est donc une notion très biologique. Elle correspond aux effets moyens des gènes transmis par les gamètes. Concernant l'aptitude spécifique à la combinaison (ASC), elle est utilisée quand on croise deux plantes d'une même population et est le résultat de l'interaction entre les gènes apportés par les deux parents. C'est la différence entre la valeur observée du croisement et sa valeur prévue sur la base de l'additivité des AGC des deux parents (Gallais, 2011).

Selon le memento de l'agronome (2006), le rôle des aptitudes à la combinaison est d'apporter des éléments précis quant à la qualité de la transmission des caractères d'un parent à sa descendance. La performance d'un hybride est liée à l'aptitude générale et spécifique à la combinaison des lignées impliquées dans le croisement (Sprague et Tatum, 1942). Selon Qu *et al.* (2012), l'aptitude à la combinaison et ses effets sont d'importants paramètres génétiques à considérer dans les programmes de sélection.

Des études ont montré que l'aptitude générale à la combinaison est liée aux effets additifs des gènes pendant que l'aptitude spécifique à la combinaison (ASC) est liée aux effets épistatiques et dominants (effets non additifs) des gènes. Aguiar *et al.* (2003) analysèrent l'aptitude à la combinaison des lignées de maïs et trouvèrent que l'Aptitude Générale à la Combinaison et l'Aptitude Spécifique à la Combinaison étaient tous deux importants pour le rendement en grain, pendant que les effets additifs étaient importants pour la hauteur des plantes, la hauteur d'insertion de l'épi, la disposition des épis et la prolificité. Dao *et al.* (2015) dans des études ont trouvé que la contribution de l'AGC à la variance génétique totale était plus élevée que l'ASC pour le rendement en grain et les caractères secondaires dans les conditions de stress hydrique et de non stress hydrique. Cependant, ils constatèrent aussi que la contribution de l'ASC pour le nombre d'épis par plante et d'enroulement des feuilles était prédominante en condition de stress hydrique.

### **1.3.3. Notion d'hétérosis**

Le terme "hétérosis" fut inventé par Shull (Acquaah, 2007). C'est le synonyme du terme vigueur hybride. Il désigne le fait que le croisement de lignées ou de populations donne une descendance aux performances supérieures à celles des parents pour de nombreux caractères : vigueur, rendement, résistance aux maladies et à la verse, précocité. Ces performances seront

d'autant plus importantes que les parents (lignées, population) sont éloignés génétiquement. Acquaah (2007) définit la vigueur hybride comme étant l'augmentation de la taille, de la fertilité et de la productivité d'un hybride, par rapport à la performance moyenne de ses deux parents.

Paliwal *et al.*, (2002) définissent l'hétérosis en rendement exprimé par les lignées, comme étant le produit de la performance propre des lignées et de leurs aptitudes générales et spécifiques en combinaison hybride.

Plusieurs études ont été menées sur l'hétérosis. Des auteurs comme Krug *et al.* (1954) trouvèrent que le cultivar introduit *Tuxpan* (issu de *Tuxpeño*) présentait une hétérosis importante avec le cultivar denté *Paulista*, qui présentait lui-même une bonne hétérosis avec *Cateto*. Ces cultivars furent autofécondés pour produire des lignées qui furent largement utilisées pour créer une nouvelle série d'hybrides doubles.

Dans les hautes terres du Kenya, on a exploité l'hétérosis entre deux populations améliorées. Une population locale dérivée de *Tuxpeño* KSII et la population *Ecuador 573*, sélectionnée à partir d'une collection de maïs corné des hautes terres de l'Equateur pour créer une série d'hybrides (Paliwal *et al.*, 2002).

Au Burkina Faso, des études ont également été menées sur l'hétérosis. Millogo (2015) a obtenu une bonne vigueur hybride en combinant TZEI17 avec 24 lignées. Cette bonne vigueur s'est traduite par un gain de précocité et un accroissement des dimensions pour les caractères agro-morphologiques. Dabiré (2012) a travaillé sur des hybrides top-cross dont les lignées parentales sont extraites de FBC6. Il a trouvé une bonne valeur hybride pour toutes les variables. L'INERA a mis au point un hybride appelé Sanem issu du croisement d'une lignée pure tropicale, FBML10 et d'une lignée pure tempérée, B73. Ce croisement a permis un gain de rendement (Sanou et Dao, 2015).

Concernant les croisements entre les maïs tropicaux et tempérés, Brewbaker (1974) à travers des études a signalé que l'hétérosis issue de ces croisements était souvent élevée. Ce type de croisement fut très utilisé dans les programmes d'amélioration du maïs à Hawaï. Efron (1985) et Kim (1990), dans leurs études sur le programme de développement du maïs hybride à l'Institut International pour l'Agriculture Tropicale (IITA) au Nigéria, insistèrent sur le besoin d'adapter les lignées tempérées aux conditions tropicales, pour utiliser le niveau élevé d'hétérosis entre les germplasm tropicaux et tempérés. Avila (1985) a signalé les résultats de croisements de neuf races boliviennes avec cinq lignées tempérées des USA. Trois de ces

rares étaient originaires des hautes vallées (les races *Huillcarparu*, *Kellu*, *Morocho*), trois d'environnements subtropicaux (les races *Cordillera*, *Tucumano* et *Bayo*) et les trois autres d'environnements tropicaux (les races *Perola*, *Duro beniano* et *Cubano*). Cette étude a montré que les lignées tempérées en combinaison avec le germplasm local peuvent être utiles au développement de germplasm à rendement élevé pour les hautes vallées. Darrah *et al.* (1987), ont réalisé les top- crosses de pools et populations du CIMMYT avec B73 et Mo17. Le rendement du croisement de la population 29 du CIMMYT avec B73 était significativement supérieur à celui du croisement avec Mo17. Le pool 26 et les populations 22 et 43 ont présenté une hétérosis élevée avec les deux lignées tempérées.

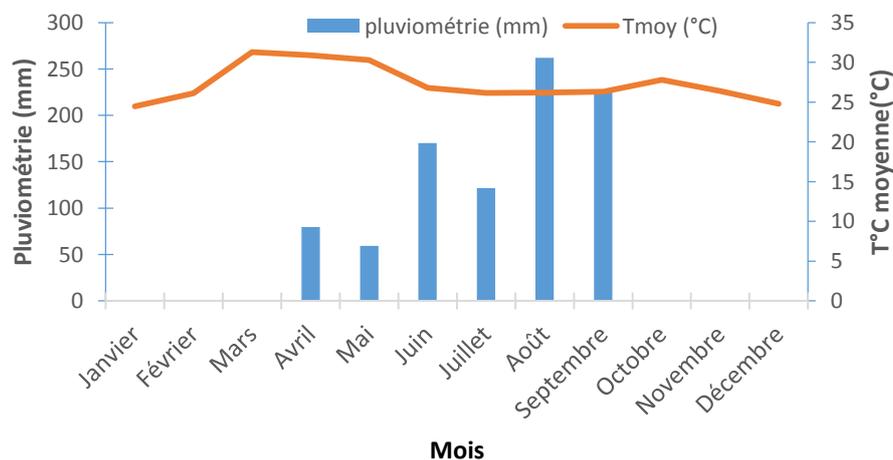
L'hétérosis permet de déterminer les groupes hétérotiques. Le CIMMYT a entrepris une des études les plus détaillées jamais réalisée pour déterminer les modèles hétérotiques et les réponses des populations de maïs tropicaux. Ils ont trouvé que les croisements de la population thaïlandaise *Suwan I* par *Antigua* et par *Veracruz-181* (population 24) montraient le maximum d'hétérosis. Ils ont considéré que l'hétérosis importante entre la population 24 et la population 36 (*Cogollero*) pouvait être utilisée dans des programmes de sélection récurrente inter-population (Paliwal *et al.*, 2002).

## II. Matériel et méthodes

### 2.1. Zones d'étude

#### 2.1.1. Site de Farako-Bâ

L'évaluation des lignées de maïs Ex-PVP a été menée sur la station expérimentale de la DRREA-Ouest contiguë au village de Farako-Bâ (latitude : 11°10'54''N, longitude 4°16'21''O) situé à 10 km au Sud-Ouest de Bobo-Dioulasso sur l'axe Bobo-Dioulasso-Banfora. Selon Pallo et Sawadogo (2010), les sols de Farako-Bâ sont de type ferrallitique lessivé, profonds et non graveleux. La texture est sablo-limoneuse en surface à argilo-sableuse en profondeur et le pH se situe entre 5 et 5,5 avant la mise en culture. Le climat de la zone est du type sud-soudanien avec une seule saison pluvieuse. Les données météorologiques enregistrées sur la station de Farako-Bâ en 2016, indiquent une pluviosité totale de 917,8mm d'eau d'avril à septembre 2016, répartie en 57 jours de pluie. Le mois d'août a été le plus pluvieux avec 262 mm d'eau de pluie tombée en 15 jours. Concernant les températures, elles ont varié de 24,45 à 31,3°C. Durant l'évaluation des lignées, les quantités totales de pluie enregistrées étaient de 487,6 mm correspondant à la période d'aout-septembre. Les températures ont varié entre 26,2 et 27,8°C (figure 2).



**Figure 2:** Evolution de la pluviométrie et des températures mensuelles de la station de Farako-Bâ

(Source : station météorologique de Farako-Bâ, 2016)

### **2.1.2. Site de la Vallée du Kou**

L'évaluation des hybrides issus des croisements avec les lignées Ex-PVP fut menée sur le site expérimental de la Vallée du Kou. La plaine aménagée du Kou se trouve à 25 km de Bobo-Dioulasso sur la route de Faramana. Cette localité se situe à 10°20' de latitude Nord et 4°20' de longitude Ouest et est à une altitude de 300 m au-dessus du niveau de la mer. Selon Fontes et Guinko (1995) cette plaine aménagée se trouve dans la zone sud-soudanienne avec un climat du type soudano-guinéen comprenant une saison sèche et une saison pluvieuse. Les sols sont de type ferrugineux tropicaux, hydromorphes et acides. Ce sont des sols à texture limono-sableux à argilo-sableux avec un lessivage actif des éléments nutritifs causant d'énormes problèmes de fertilité. Bado (1991), souligne la bonne concentration de ces sols en bases échangeables (avec une capacité d'échange cationique de 5 meq/100g) et leur faible teneur en phosphore.

## **2.2. Matériel végétal**

### **2.2.1. Lignées Ex-PVP**

Le matériel végétal utilisé est composé de 106 lignées parmi lesquelles 96 sont d'origine tempérée américaine, 2 d'origine tempérée mais adaptées au climat tropical et 8 d'origine tropicale.

Les lignées américaines sont des lignées Ex-PVP, obtenues de North Central Regional Plant Introduction Station située à Ames dans l'état d'Iowa. Elles étaient autre fois protégées par une licence de protection. Ces lignées sont divisées en deux groupes hétérotiques à savoir les stiff stalk (SS) et les Non-stiff stalk (NS). Au total le matériel comporte 45 stiff stalk et 50 Non-stiff stalk. La lignée PHK42 est de groupe hétérotique inconnu.

Les lignées tempérées mais adaptées au climat tropical sont B73 et DE811. Ces lignées ont plusieurs fois été évaluées en milieu tropical.

Les 8 lignées tropicales sont FBML10, TZEI17, ELN45-1-1-1, TZI18, TZEI10, ELN41-9-4-1, ELN40-4-5-3, TZEI23. Ces lignées sont pour la plupart résistantes à la striure du maïs et à la curvulariose. Concernant l'helminthosporiose, seule la lignée ELN40-9-4-1 y est sensible.

**Tableau I:** Liste des lignées Ex-PVP

Lignées	Groupes	Lignées	Groupes	Lignées	Groupes	Lignées	Groupes
LH 195	SS	LH 132	SS	IBC2	NSS	PHT60	NSS
LH 205	SS	207	NSS	LH59	NSS	PHW52	SS
LH 127	NSS	PHB47	SS	PHK29	SS	PHW79	NSS
LH 196	SS	F42	SS	PHV78	NSS	WIL901	NSS
LH 220 Ht	SS	G80	SS	LH149	SS	WIL903	NSS
LH 190	SS	LH123HT	NSS	LH65	NSS	WIL500	NSS
LH 194	SS	LH82	NSS	PHK42	?	L127	NSS
LH 202	SS	DJ7	SS	PHN11	SS	L135	NSS
LH 192	SS	78004	SS	PHT55	SS	L139	NSS
LH 193	SS	5707	NSS	PHT77	NSS	4N506	SS
LH 128	NSS	78002A	SS	PHV63	NSS	PHJ33	NSS
LH 208	SS	LH57	NSS	PHW65	NSS	PHJ70	SS
LH 213	NSS	PHG47	NSS	2MA22	NSS	PHM10	SS
PHN 66	SS	PHG84	NSS	6M502	NSS	PHN29	SS
PHR 55	NSS	PHZ51	NSS	78551S	NSS	PHN73	NSS
PHR 58	NSS	LH52	NSS	87916W	SS	PHN82	NSS
LP1 NRHT	SS	PHR36	NSS	HB8229	SS	PHP55	NSS
LP1CMS HT	SS	PHW17	SS	PHT10	SS	PHR62	NS
FR 19	SS	LH156	NSS	4676A	SS	PHT22	NSS
LH 38	NSS	NS701	SS	IBB14	SS	PHV37	SS
LH 39	NSS	78371A	NSS	MBST	NSS	PHW03	SS
LH 119	SS	FBHJ	SS	PHH93	NSS	PHW20	NSS
MDF-13D	NSS	MBPM	NSS	PHPO2	NSS	PHW43	NSS
LH 74	SS	PB80	SS	PHR47	SS	2FACC	SS

SS : groupe hétérotique stiff-stalk ; NSS : groupe hétérotique non-stiff-stalk ; ?: groupe hétérotique inconnu

### 2.2.2. Création des hybrides top-cross et régénération des lignées Ex-PVP

Les hybrides top-cross ont été obtenus en effectuant des croisements entre les 96 lignées Ex-PVP et 4 variétés tropicales (2 lignées et 2 composites). Les deux lignées et les deux composites étaient respectivement TZEI17, TZEI10 et e-Espoir, e-Wari. Les croisements ayant réussi à fournir des épis contenant des grains ont été recensés, récoltés, égrainés et comptés. Des autofécondations ont également été effectuées sur les lignées Ex-PVP. Les bons épis issus de cette opération ont aussi été recensés, récoltés, égrainés et comptés. Les grains ainsi obtenus à l'issue des croisements top-cross et de l'autofécondation ont été semés à la Vallée du Kou en vue de l'évaluation des hybrides et des lignées sélectionnées. Environ 23% des lignées parentales des hybrides ont fait partie des lignées sélectionnées. Au total 18 hybrides top-cross et 31 lignées Ex-PVP ont été retenues : 4 hybrides proviennent du croisement entre le composite e-Espoir et quatre lignées (PHT77, 78004, PHR58, PHB47), trois proviennent du croisement entre le composite e-Wari et trois lignées (PHB47, PHT77, PHR58), 9 proviennent du croisement entre TZEI17 et 9 lignées (78004, F42, PHJ33, PHR47, PHT55, PHT77, PHW52, WIL903, 4676A) et 2 hybrides proviennent du croisement entre TZEI10 et deux lignées (78004, PHW17). Les hybrides ont été évalués avec 4 témoins (e-Espoir, e-Wari, bondofa et komsaya). Les lignées Ex-PVP ont été évaluées avec 8 lignées tropicales et une lignée tempérée (DE811).

**Tableau II:** Liste des lignées Ex-PVP ressemées avec les 10 lignées tropicales

Lignées Ex-PVP			Lignée tempérée	Lignées tropicales
WIL 903	PHB 47	G80	DE811	FBML10
87916W	PHR 58	NS 701		TZEI 17
LH 202	PHN 66	FR19		ELN45-1-1-1
PHT 77	WIL 901	DJ7		TZI 18
PHV 63	LH 57	LH74		TZEI 10
PHT 55	5707	PHW43		ELN40-9-4-1
PHH93	L 139	LH 128		ELN43-4-5-3
78371A	PHN11	LH 205		TZEI23
PHW52	PHR 47	2FACC		
PHN82	PHM 10			
PHK29	LH 213			

## **2.3. Méthodes**

### **2.3.1. Dispositif expérimental**

#### **2.3.1.1. Evaluation des lignées Ex-PVP**

L'évaluation des lignées Ex-PVP a été effectuée à Farako-Bâ. Le dispositif expérimental utilisé est un bloc Fisher complètement randomisé avec trois répétitions. La parcelle utile est égale à la parcelle élémentaire et correspond à une ligne de 5 m. Les semis ont été effectués aux écartements de 0,8 m entre les lignes et de 0,20 m entre les poquets à raison d'une graine par poquet. Trois variétés (TZEI17, e-Wari, e-Espoir) sur les 4 variétés tropicales ayant servi à effectuer les croisements ont été semés en 2 périodes : une semaine avant et pendant l'implantation de l'essai ; cela dans le but d'avoir du pollen en permanence pendant les croisements.

#### **2.3.1.2. Evaluation des hybrides top-cross et des lignées parentales**

Pour ces évaluations, deux essais ont été mis en place à la Vallée du Kou. Dans chacune d'elles, le dispositif utilisé est un bloc Fisher complètement randomisé. La parcelle utile est égale à la parcelle élémentaire et correspond à une ligne de 4 m. Les semis ont été réalisés aux écartements de 0,8 m entre les lignes et de 0,25 m entre les poquets à raison d'un grain par poquet.

### **2.3.2. Conduite de l'essai**

L'essai pour l'évaluation des lignées Ex-PVP a été mené du mois d'août à novembre 2016 à la station de recherche de Farako-Bâ. L'évaluation des hybrides et leurs parents a été menée de décembre 2016 à Avril 2017 à la Vallée du Kou. Pour chacun de ces essais, la préparation du lit de semis a consisté en un labour suivi d'un hersage et d'un planage manuel. Les semis ont été réalisés manuellement à l'aide de bâtons de semis. Les autres opérations telles que le sarclage, le binage, le buttage, la fertilisation, le traitement phytosanitaire ont été réalisées comme suit :

- 2 sarclage ont été effectués manuellement suivant le niveau d'enherbement des essais pris individuellement ;
- Le binage a été combiné au premier apport d'urée (urée 1), tandis que le buttage a été combiné dans chaque essai au second apport d'urée (urée 2) ;

- La fertilisation dans chaque essai a consisté en un apport d'éléments minéraux à travers l'application d'engrais chimiques. L'engrais NPK a été appliqué pendant les semis à la dose de 200 Kg/ha. L'urée 1 a été appliqué à la dose de 100 Kg/ha 29 jas (jours après semis) (pour l'expérimentation de Farako-Bâ) et 28 jas (pour l'expérimentation de la vallée du Kou). L'urée 2 a été appliqué à la dose de 50 Kg/ha 41 jas dans toutes les deux expérimentations. La fertilisation fut réalisée manuellement ;
- L'herbicide de pré-levée Glyphader à base de glyphosate a été utilisé pour le désherbage chimique avant la levée, suivi d'un sarclage manuel après constatation du niveau d'enherbement des essais ;
- Dans les essais de la Vallée du Kou, le K optimal a été utilisé deux fois pour traiter les plantes qui avaient subi les attaques de la chenille *Spodoptera frugiperda* ;
- Un dispositif d'irrigation gravitaire a été utilisé pour l'essai de la Vallée du Kou. A Farako-Bâ l'irrigation d'appoint a été utilisée.

### 2.3.3. Variables étudiées

#### 2.3.3.1. Evaluation des lignées Ex-PVP

**La notation des maladies :** les maladies retenues dans notre étude sont : l'helminthosporiose (**HELM**), la curvulariose (**CURV**) et la striure (**MSV**) qui sont les plus courantes chez le maïs. Les notations ont été faites sous infestation naturelle à deux périodes : avant (34 jas) et après (62 jas) la floraison. Les symptômes de ces différentes maladies ont été observés et notés sur 7 plantes de la parcelle utile suivant des échelles proposées par le CIMMYT (1985) graduées de 1 à 5. Les détails de cette notation sont les suivantes :

1 : infection nulle ou très légère ; très peu de lésions foliaires qui ne se situent généralement que sur les premières feuilles (0-10%).

2 : infection légère ; nombre faible à modéré de lésions sur les feuilles situées en dessous de l'épi et pas de lésions sur les feuilles situées au-dessus de l'épi (11 à 25%).

3 : infection modérée ; nombre modéré à important de lésions situées en dessous de l'épi et peu de lésions au-dessus de l'épi (26 à 50%).

4 : infection forte ; nombre important de lésions sur les feuilles situées en dessous de l'épi et nombre important à modéré de lésions sur les feuilles situées au-dessus de l'épi (51 à 75%).

5 : infection très forte ; toutes les feuilles présentent un nombre important de lésions. La plante dépérit prématurément et les grains sont partiellement remplis (76 à 100%).

**L'incidence des maladies** : c'est le rapport entre le nombre de plantes malades sur la parcelle utile et la densité à la levée correspondant à la même parcelle utile.

**La densité à la levée** : c'est le comptage du nombre de plantes ayant poussé 10 à 15 jours après semis par unité de surface.

**La floraison mâle (FM) à 50%**: c'est une estimation de la période d'anthèse d'au moins 50% des plantes.

**La hauteur des plantes (HP)** : c'est la mesure de la hauteur des plants, du sol jusqu'à la base de la panicule. Cette mesure est exprimée en centimètres (cm). Les mesures étant faites sur 10 plantes de la parcelle utile.

**La hauteur d'insertion de l'épi principal (HIE)** : elle correspond à la mesure en cm de la hauteur d'insertion de l'épi depuis la base de la plante jusqu'au nœud d'insertion de l'épi.

**La chlorophylle (CHLORO)** : il s'agit de la mesure de la teneur en chlorophylle présente dans les feuilles. Elle a été effectuée à l'aide d'un chlorophylle-mètre sur 10 plantes.

**La densité à la récolte (DR)** : elle correspond au nombre de plantes présentes sur la parcelle utile au cours de la récolte.

**Le nombre d'épis (NE)** : il correspond au nombre d'épis présents sur la parcelle utile.

**Proportion de plantes portant au moins un épi (PPEPI)** : c'est le rapport entre le nombre de plantes ayant porté au moins un épi et la densité à la récolte. Il est exprimé en pourcentage.

En ce qui concerne la classification de différentes lignées par rapport à leur comportement face à la striure, l'helminthosporiose et la curvulariose, Sanou (2003) a proposé une méthode de séparation consignée dans le tableau 3.

**Tableau III:** Groupage des lignées selon la sensibilité aux maladies.

Groupes	Notes moyennes
Lignées résistantes	$1 \leq \text{Notes} \leq 2,5$
Lignées tolérantes	$2,6 \leq \text{Notes} \leq 3,5$
Lignées sensibles	$3,6 \leq \text{Notes} \leq 5$

### **2.3.3.2. Evaluation des hybrides top-cross et leurs parents**

**La floraison femelle (FF) à 50%** : c'est une estimation de la période de floraison de l'épi marquée par une émission des stigmates (ou soies) par au moins 50% des plantes de la parcelle.

**La floraison mâle (FM) à 50%** : c'est une estimation de la période d'anthèse d'au moins 50% des plantes.

**Le nombre total de feuilles (NTF)** : c'est le comptage du nombre total de feuilles.

**Le nombre de feuilles supérieures à l'épi (NFSE)** : c'est le comptage du nombre de feuilles situées au-dessus de l'épi.

**La hauteur des plantes (HP)** : c'est la mesure de la hauteur des plantes, du sol jusqu'à la base de la panicule. Cette mesure est exprimée en centimètres (cm). Les mesures sont faites sur 10 plantes de la parcelle utile.

**La hauteur d'insertion de l'épi principal (HIE)** : elle correspond à la mesure en centimètre de la hauteur d'insertion de l'épi depuis la base de la plante jusqu'au nœud d'insertion de l'épi.

**La densité à la récolte (DR)** : elle correspond au nombre de plantes présentes sur la parcelle utile au cours de la récolte.

**La densité à la levée** : c'est le comptage du nombre de plantes ayant poussé 10 à 15 jours après semis.

**L'Anthesis-Silking-Interval (ASI)** : C'est le nombre de jours séparant la floraison mâle et femelle.

**La longueur de l'épi (LE)** : mesurée en centimètre à l'aide d'une règle de la base au niveau d'insertion du dernier grain de l'épi.

**La section moyenne de l'épi (SM)** : mesurée en (cm) avec un pied à coulisse.

**Le poids des épis (PE)** : Le poids (en kg) des épis récoltés sur la parcelle utile.

**Le poids des grains (PG)** : Le poids (en kg) des grains issus des épis récoltés sur la parcelle utile.

**Le rendement (RDT)** : il est estimé en tonne/ha et correspond à la quantité de maïs grain produite par parcelle d'expérimentation à partir de la formule suivante

$$\text{RDT (t/ha)} = \text{PG} \times (100-\text{H})/85 \times 10/\text{S}$$

Avec :

**PG** : Le poids (en kg) des grains issus des épis récoltés sur la parcelle utile

**H** : taux d'humidité des grains à la récolte

**S** : surface de la parcelle élémentaire (3,36 m<sup>2</sup>)

#### **2.3.4. Analyse des données**

##### **2.3.4.1. Evaluation des lignées**

Les données ont été collectées sur les fiches d'observation, saisies et traitées avec le tableur Excel 2010. Un filtrage des données a été réalisé afin de pouvoir les vérifier avant leur analyse. Les lignées ayant une densité à la levée < 5 dans au moins deux répétitions ont été supprimées. Le logiciel XLSTAT a été utilisé pour effectuer le test de normalité sur les données collectées. Les variables ne suivant pas une distribution normale ont été transformées. Toujours avec le logiciel XLSTAT, des analyses de covariance (ANCOVA) ont été faites avec la densité à la levée (DL) comme la covariable. Cette analyse a permis de faire ressortir les différents effets des facteurs (génotypes, répétition et densité à la levée) pour chaque variable étudiée. La variable densité à la levée a été utilisée comme covariable à cause de certains problèmes survenus, notamment les attaques d'animaux, dans certains endroits de l'expérimentation. Ces attaques ont affecté la densité à la levée. Pour les variables agromorphologiques le test de Dunnett a été réalisé pour comparer le matériel étudié à un témoin. Le test de Student Newman Keuls (SNK) au seuil de 5% pour la comparaison des moyennes fut utilisé pour voir les différences existant entre les différents groupes hétérotiques.

##### **2.3.4.2. Evaluation des hybrides**

Les données ont été analysées par le logiciel XLSTAT. Des analyses de variance (ANOVA) ont été faites pour faire ressortir les effets des facteurs (génotypes et répétition) sur les variables étudiées. Le test de DUNNETT a permis de comparer les hybrides à komsaya. Le test de Duncan a été utilisé pour faire une comparaison entre les différents génotypes sur la base de leur rendement. La matrice de corrélation de Pearson a révélé des rapports de liaison entre le rendement et certaines variables. L'hétérosis moyenne a été calculée pour 12 hybrides à travers la formule :

-  $Hm (\%) = ((F1 - Pm) / Pm) \times 100 ;$

**F1** : moyenne de l'hybride ;

**Pm** : moyenne des deux parents ;

**Hm** : hétérosis moyen.

### III. Résultats et discussion

#### 3.1. Résultats

##### 3.1.1. Evaluation agro-morphologique des lignées Ex-PVP en saison humide

Pour l'analyse des données, six lignées à savoir PHW65, PHW79, LH38, G80, PHG84 et FBHJ ont été supprimées car n'ayant pas eu une bonne densité à la levée. Les 100 lignées restantes ont été utilisées pour les analyses.

##### 3.1.1.1. Analyses de covariance

Les résultats des analyses de covariance sont consignés dans les tableaux IV, V et VI.

##### 3.1.1.1.1. Analyse de covariance des observations de maladies au stade montaison (34 JAS)

Au stade montaison, les lignées n'ont pas présenté de variabilité pour la sévérité et l'incidence de la curvulariose de même pour la sévérité de la striure. Par contre, pour l'incidence et la sévérité de l'helminthosporiose ainsi que l'incidence de la striure, elles ont montré qu'une grande variabilité génétique existait en leur sein. Le coefficient de variation a été > à 15% pour toutes les variables sauf pour la variable sévérité de la curvulariose (Tableau IV).

**Tableau IV:** Carré moyen de l'incidence et de la sévérité des maladies au stade montaison

Source de variation	SevMSV1	SevHELM1	SevCURV1	IMSV1	IHELM1	ICURV1
Densité à la Levée	0,189 NS	5,717 ***	0,006 NS	0,464 ***	0,082 NS	0,056 NS
Répétition	1,064 **	14,142 ***	0,018 NS	0,511 ***	0,335 **	0,062 NS
Génotype	0,219 NS	1,420 ***	0,008 NS	0,096 ***	0,276 ***	0,030 NS
Moyenne	1,44	2,79	1,00	0,34	1,43	0,02
CV (%)	31	32	9	75	26	716

\*, \*\*, \*\*\* respectivement significatif à 5%, 1% et 0,1% ; NS : non significatif ; SevMSV1, sevHELM1, sevCURV1 respectivement sévérité du MSV, de l'helminthosporiose et de la curvulariose au stade montaison ; IMSV1, IHELM1, ICURV1 respectivement incidence de la striure, de l'helminthosporiose et de la curvulariose au stade montaison; CV : coefficient de variation.

### 3.1.1.1.2. Analyse de covariance des observations de maladie au stade post-floraison (62 JAS)

Au stade post-floraison, les lignées ont présenté une très grande variabilité génétique pour la sévérité et l'incidence des trois maladies (striure du maïs, helminthosporiose, curvulariose). Cela a démontré que la manifestation des symptômes de chacune de ces maladies ainsi que leur ampleur différaient d'une lignée à l'autre. La variation de la densité à la levée n'a eu d'effet que sur l'expression de la variable sévérité de l'helminthosporiose. D'une répétition à une autre, la sévérité de la striure a le plus varié (Tableau V).

**Tableau V:** Carré Moyen de l'incidence et de la sévérité des maladies au stade post-floraison

Source de variation	SevMSV2	SevHELM2	SevCURV2	IMSV2	IHELM2	ICURV2
<b>DL</b>	0,540	29,318	0,014	0,000	0,079	0,262
	NS	***	NS	NS	NS	NS
<b>Répétition</b>	3,088	1,989	0,583	0,004	0,127	0,289
	***	*	*	NS	NS	**
<b>Génotype</b>	0,744	1,331	0,479	0,165	0,204	0,160
	***	***	***	***	***	***
<b>Moyenne</b>	1,64	3,74	1,13	0,42	1,01	0,07
<b>CV(%)</b>	39	25	45	70	35	380

\*, \*\*, \*\*\* respectivement significatif à 5%, 1%, 0,1% ; NS : non significatif ; CV : coefficient de variation ; sevMSV2, sevHELM2, sevCURV2 respectivement sévérité de la striure, de l'helminthosporiose et de la curvulariose au stade post-floraison ; IMSV2, IHELM2, ICURV2 respectivement incidence de la striure, de l'helminthosporiose et de la curvulariose au stade post-floraison.

### 3.1.1.1.3. Analyses de covariance des caractères agro-morphologiques

Une grande variabilité a été observée entre les lignées pour la teneur en chlorophylle, la floraison mâle, la hauteur des plantes et la proportion de plantes portant au moins un épi. Il existe donc une hétérogénéité entre les lignées pour chacune de ces variables (Tableau VI).

**Tableau VI:** Carré Moyen des caractères agro-morphologiques

Source de variation	CHLOROPH	FM	HP	PPEPI
Densité à la levée	62,164 NS	8,682 *	368,627 NS	0,872 ***
Répétition	177,248 **	9,016 **	2026,420 ***	0,417 **
Génotype	79,553 ***	5,213 ***	653,144 ***	0,350 ***
Moyenne	14,23	50,02	66,45	0,30
CV(%)	48	4	28	100

\*,\*\*,\*\*\* respectivement significatif à 5%, 1% et 0,1% ; CV : coefficient de variation ; **CHLOROPH** : chlorophylle, **FM** : floraison mâle, **HP** : hauteur de la plante, **PPEPI** : proportion de plantes portant au moins un épi.

### 3.1.1.2. Criblage des lignées aux maladies

Au stade montaison, toutes les lignées ont été résistantes à la striure du maïs et à la curvulariose. Les notes ont varié de 1 à 2,1 pour la striure et de 1 à 1,4 pour la curvulariose. Concernant l'helminthosporiose, les notes ont varié de 1 à 4. Pour cette maladie, 54% des lignées ont été tolérantes, 31% ont été résistantes et 15% ont été sensibles. La lignée PHR55 (génotype 15), a été la plus sensible et a eu une incidence de 100%. Cette incidence montre que toutes les lignées PHR55 ont manifesté les symptômes de la maladie. La lignée 6M502 (génotype 62) a été la plus résistante à l'helminthosporiose et a eu une incidence nulle pour cette maladie (Tableau VII).

Contrairement au stade antérieur (montaison), au stade floraison toutes les lignées n'ont pas été résistantes à la striure et à la curvulariose. Pour le cas de la striure, les notes ont varié entre 1 et 3. Les lignées PHN66, PHR58, 78004, PHR47 et WIL901 de génotypes respectifs (14, 16, 33, 72 et 76) sont passées de résistantes lors des premières observations à tolérantes au cours des deuxième observations.

Les notes de la curvulariose ont fluctué entre 1 et 3,4. Pour cette maladie, les lignées DE811 et ELN40-9-4-1 de génotypes respectifs (98 et 104) sont passées de résistantes à la première observation à tolérantes à la deuxième. Toutes les autres lignées sont restées résistantes à ces deux maladies.

Les notes de l'helminthosporiose ont varié entre 1,9 et 4,8. Les lignées LH195, PHK29, 4N506, FBML10, ELN45-1-1-1, TZEI10 et TZEI23 de génotypes respectifs (1, 51, 82, 99,101, 103, 105 et 106) ont été résistantes à la maladie. Les lignées LH128, LH127, LH213,

LH39, LH119, MDF-13D, PHB47, LH123HT, LH82, 78004, LH57, NS701, LH65, PHN11, PHN63, 87916W, PHT10, MBST, PHR47, PHW52, WIL901, WIL903, PHT22, B73, TZEI17, TZEI18 et ELN43-4-5-3 de géotypes respectifs (3,11, 13, 21, 22, 23, 27, 30, 31, 33, 36, 44, 54, 56, 57, 59, 62, 64, 66, 69, 72, 74, 76, 77, 91, 97, 100, 102, 105) ont été tolérantes à la maladie. Tout le reste des lignées ont quant à elles été sensibles à l'helminthosporiose. Les lignées FR19, PHR55, LH52 et LH59 (de géotypes respectifs 19, 15, 40 et 50) ont été les plus sensibles (Tableau VII).

**Tableau VII:** Indices de la sévérité et de l'incidence des maladies au stade montaison (34 JAS) et post-floraison (62 JAS).

MONTAISON							POST- FLORAISON						
G	MS	HE	CU	IMS %	IHE %	ICU %	G	MS2	HE2	CU2	IMS2 %	IHE2 %	ICU2 %
1	1,7 R	2,9 T	1,0 R	40	100	0	1	1,1 R	2,1 R	1,0 R	10	29	0
2	1,4 R	3,1 T	1,0 R	38	100	0	2	1,1 R	4,3 S	1,0 R	25	85	0
3	1,0 R	2,0 R	1,0 R	18	89	0	3	1,7 R	2,6 T	1,0 R	30	90	0
4	1,9 R	3,2 T	1,0 R	47	100	0	4	1,8 R	4,7 S	1,0 R	38	76	0
5	1,2 R	2,2 R	1,0 R	19	100	0	5	1,0 R	3,9 S	1,0 R	13	85	0
6	1,3 R	3,5 T	1,0 R	38	100	0	6	1,6 R	4,6 S	1,0 R	45	73	0
7	1,7 R	2,9 T	1,0 R	48	100	0	7	2,2 R	4,1 S	1,0 R	55	81	0
8	1,6 R	2,5 R	1,0 R	36	100	0	8	1,2 R	4,0 S	1,3 R	44	80	33
9	2,0 R	3,0 T	1,0 R	47	100	0	9	2,0 R	4,4 S	1,0 R	47	73	0
10	1,8 R	3,1 T	1,0 R	42	100	0	10	1,1 R	3,7 S	1,2 R	19	46	10
11	1,1 R	2,9 T	1,0 R	14	100	0	11	1,6 R	3,0 T	1,0 R	40	74	0
12	1,5 R	2,9 T	1,0 R	46	100	0	12	1,9 R	4,2 S	1,0 R	50	58	0
13	1,1 R	2,8 T	1,0 R	18	93	0	13	1,9 R	3,3 T	1,0 R	53	84	0
14	1,8 R	3,0 T	1,0 R	52	92	3	14	3,0 T	3,7 S	1,0 R	72	92	0
15	1,5 R	4,0 S	1,0 R	33	100	0	15	1,4 R	4,8 S	1,0 R	35	54	0
16	1,6 R	3,4 T	1,0 R	39	100	0	16	2,6 T	4,3 S	1,1 R	65	93	12
17	1,4 R	3,1 T	1,0 R	18	100	0	17	1,9 R	4,0 S	1,0 R	54	86	0
18	1,8 R	3,0 T	1,0 R	45	100	0	18	2,0 R	4,2 S	1,0 R	61	81	0
19	1,6 R	3,1 T	1,0 R	31	97	0	19	1,3 R	4,8 S	1,0 R	21	91	0
21	1,3 R	2,9 T	1,0 R	28	100	0	21	1,0 R	3,5 T	1,0 R	0	42	0
22	1,4 R	3,0 T	1,0 R	17	100	0	22	1,3 R	3,5 T	1,0 R	21	61	0
23	1,4 R	3,0 T	1,0 R	11	100	0	23	2,4 R	3,1 T	2,1 R	66	79	48
24	1,7 R	2,4 R	1,0 R	32	95	0	24	1,6 R	4,1 S	1,0 R	38	77	0
25	1,5 R	3,6 S	1,0 R	37	100	0	25	1,6 R	4,6 S	1,0 R	53	82	0

MONTAISON							POST- FLORAISON						
G	MS	HE	CU	IMS	IHE	ICU	G	MS2	HE2	CU2	IMS2	IHE2	ICU2
				%	%	%					%	%	%
26	1,5 R	3,5 T	1,0 R	43	100	0	26	1,0 R	4,6 S	1,9 R	18	79	24
27	1,3 R	2,7 T	1,0 R	33	89	0	27	2,1 R	3,4 T	1,0 R	49	96	0
28	1,6 R	2,7 T	1,0 R	35	100	0	28	1,2 R	4,5 S	1,0 R	29	74	0
30	1,2 R	2,3 R	1,0 R	36	98	0	30	2,4 R	3,3 T	1,0 R	58	82	0
31	2,1 R	2,3 R	1,0 R	39	81	0	31	1,0 R	3,1 T	1,0 R	0	37	0
32	1,7 R	2,4 R	1,0 R	60	94	0	32	2,4 R	4,2 S	1,0 R	67	77	0
33	1,4 R	2,8 T	1,0 R	23	100	0	33	2,6 T	3,1 T	1,0 R	67	90	0
34	1,4 R	2,8 T	1,0 R	43	94	0	34	1,9 R	3,6 S	1,0 R	55	76	6
35	1,3 R	2,8 T	1,0 R	49	95	0	35	2,1 R	4,3 S	1,0 R	35	71	0
36	1,3 R	1,3 R	1,0 R	11	88	0	36	1,0 R	2,8 T	1,0 R	9	83	0
37	1,3 R	3,4 T	1,0 R	31	100	0	37	1,3 R	3,7 S	1,0 R	32	69	0
39	1,1 R	2,6 T	1,0 R	19	100	0	39	1,3 R	3,8 S	1,0 R	19	89	0
40	1,6 R	3,0 T	1,0 R	63	98	0	40	1,3 R	4,8 S	1,0 R	32	74	0
41	1,6 R	3,8 S	1,0 R	50	97	0	41	1,2 R	4,7 S	1,3 R	40	85	12
42	1,5 R	3,2 T	1,0 R	28	100	0	42	1,7 R	4,1 S	1,0 R	44	76	0
43	1,3 R	3,7 S	1,0 R	42	97	0	43	1,7 R	3,8 S	1,0 R	35	60	0
44	1,9 R	3,5 T	1,0 R	35	100	0	44	1,4 R	2,9 T	1,0 R	23	40	0
45	1,5 R	1,8 R	1,0 R	60	95	0	45	1,9 R	3,9 S	2,0 R	54	90	31
47	1,1 R	2,9 T	1,0 R	5	100	0	47	1,9 R	4,4 S	1,0 R	49	91	0
48	1,7 R	3,2 T	1,0 R	50	100	0	48	1,6 R	4,5 S	1,0 R	44	68	0
49	1,2 R	3,6 S	1,0 R	13	100	0	49	1,0 R	4,0 S	1,0 R	33	85	0
50	1,1 R	1,3 R	1,0 R	44	47	0	50	1,3 R	4,8 S	1,0 R	39	93	0
51	1,0 R	1,9 R	1,0 R	11	100	0	51	1,6 R	2,4 R	1,0 R	30	92	0
52	1,1 R	3,5 T	1,0 R	31	94	0	52	1,8 R	4,2 S	1,0 R	66	60	0
53	1,8 R	2,6 T	1,0 R	34	100	0	53	1,2 R	4,6 S	1,0 R	21	93	3
54	1,1 R	1,6 R	1,0 R	35	100	0	54	1,8 R	3,1 T	1,0 R	76	94	0
55	1,5 R	3,0 T	1,0 R	53	96	27	55	1,7 R	4,1 S	2,5 R	61	84	38
56	1,3 R	2,5 R	1,0 R	20	100	0	56	1,1 R	3,2 T	1,0 R	26	87	0
57	1,3 R	3,0 T	1,0 R	27	97	0	57	2,2 R	2,6 T	1,0 R	61	97	0
58	1,4 R	2,3 R	1,0 R	31	100	22	58	2,2 R	3,6 S	1,0 R	56	90	0
59	1,0 R	2,2 R	1,0 R	5	100	0	59	1,7 R	3,5 T	1,0 R	19	95	0
61	1,1 R	4,0 S	1,0 R	19	100	0	61	1,3 R	4,6 S	1,0 R	17	63	0
62	1,7 R	1,0 R	1,0 R	48	0	0	62	2,5 R	2,6 T	1,0 R	79	86	0
63	1,0 R	1,7 R	1,0 R	5	60	0	63	1,4 R	3,7 S	1,0 R	23	90	0
64	1,6 R	3,4 T	1,0 R	25	100	0	64	1,7 R	3,5 T	1,0 R	38	56	0
65	1,8 R	2,6 T	1,0 R	39	100	33	65	2,1 R	3,9 S	1,4 R	65	85	29
66	1,5 R	2,2 R	1,0 R	37	87	0	66	2,5 R	2,8 T	1,5 R	58	84	25
67	2,0 R	3,0 T	1,0 R	32	100	0	67	1,6 R	3,7 S	1,0 R	45	83	0
68	1,6 R	3,7 S	1,0 R	23	100	0	68	1,0 R	4,1 S	1,0 R	7	56	0

MONTAISON							POST- FLORAISON						
G	MS	HE	CU	IMS	IHE	ICU	G	MS2	HE2	CU2	IMS2	IHE2	ICU2
				%	%	%					%	%	%
69	1,0 R	2,4 R	1,0 R	10	100	0	69	1,1 R	3,3 T	1,0 R	25	79	0
70	1,4 R	2,6 T	1,0 R	23	67	0	70	1,1 R	4,3 S	1,0 R	7	88	0
71	1,3 R	3,5 T	1,0 R	20	100	0	71	1,1 R	4,5 S	1,0 R	16	73	0
72	1,6 R	2,6 T	1,0 R	55	100	0	72	2,9 T	3,2 T	1,0 R	73	84	0
73	1,3 R	3,7 S	1,0 R	27	100	0	73	1,7 R	4,2 S	1,0 R	32	81	0
74	1,2 R	2,8 T	1,0 R	11	100	0	74	2,1 R	3,0 T	1,0 R	59	93	0
76	1,7 R	1,9 R	1,0 R	37	100	0	76	3,0 T	3,1 T	1,0 R	74	89	0
77	1,5 R	1,4 R	1,0 R	50	76	0	77	2,1 R	3,4 T	1,0 R	53	88	0
78	1,1 R	3,6 S	1,0 R	21	100	0	78	1,2 R	3,8 S	1,0 R	20	67	0
79	1,3 R	3,7 S	1,0 R	37	100	0	79	1,0 R	4,4 S	1,0 R	12	96	0
80	1,6 R	3,4 T	1,0 R	34	100	0	80	1,0 R	4,4 S	1,0 R	17	80	0
81	1,2 R	3,7 S	1,0 R	27	100	0	81	1,0 R	4,6 S	1,0 R	22	88	0
82	1,6 R	2,0 R	1,0 R	78	93	0	82	2,3 R	2,4 R	1,0 R	63	63	0
83	1,4 R	1,8 R	1,0 R	28	100	0	83	2,1 R	3,8 S	1,0 R	53	93	0
84	1,2 R	3,3 T	1,0 R	26	100	0	84	2,1 R	4,4 S	1,0 R	48	77	0
85	1,3 R	3,2 T	1,0 R	27	100	0	85	2,1 R	4,2 S	1,0 R	61	87	0
86	2,0 R	3,8 S	1,0 R	59	100	0	86	1,1 R	4,8 S	1,0 R	21	77	0
87	1,6 R	3,3 T	1,0 R	66	100	0	87	1,6 R	4,2 S	1,0 R	57	80	0
88	1,8 R	2,9 T	1,0 R	47	100	0	88	1,3 R	4,4 S	1,0 R	56	79	0
89	1,5 R	3,2 T	1,0 R	30	100	0	89	1,7 R	4,0 S	1,0 R	48	89	0
90	1,6 R	3,1 T	1,0 R	53	100	27	90	1,6 R	4,4 S	1,0 R	48	80	0
91	1,5 R	3,8 S	1,0 R	31	100	0	91	1,5 R	3,2 T	1,0 R	35	56	0
92	2,0 R	3,0 T	1,0 R	44	100	0	92	2,2 R	3,8 S	1,0 R	58	81	0
93	1,8 R	2,7 T	1,0 R	55	100	0	93	1,0 R	4,0 S	1,0 R	13	61	0
94	1,2 R	3,6 S	1,0 R	29	100	0	94	1,7 R	4,3 S	1,0 R	38	91	0
95	1,3 R	3,8 S	1,0 R	38	100	0	95	1,6 R	4,5 S	1,3 R	53	92	31
96	1,6 R	3,5 T	1,0 R	39	100	0	96	1,0 R	3,9 S	1,0 R	29	65	0
97	1,2 R	2,6 T	1,0 R	16	100	0	97	1,4 R	3,5 T	1,0 R	54	93	0
98	1,9 R	2,5 R	1,3 R	37	100	33	98	2,4 R	3,6 S	3,4 T	74	95	95
99	1,2 R	2,0 R	1,0 R	6	100	0	99	1,8 R	2,4 R	1,0 R	63	100	0
100	1,1 R	1,9 R	1,0 R	10	64	0	100	1,0 R	3,5 T	1,5 R	0	88	29
101	1,0 R	2,6 T	1,0 R	0	100	0	101	1,3 R	2,5 R	1,0 R	15	93	0
102	1,0 R	2,1 R	1,0 R	9	100	0	102	1,4 R	3,5 T	1,7 R	29	97	30
103	1,0 R	1,0 R	1,0 R	2	2	0	103	1,2 R	1,9 R	1,0 R	19	93	0
104	1,0 R	2,5 R	1,4 R	0	93	33	104	1,1 R	3,6 S	3,2 T	3	96	96
105	1,1 R	1,4 R	1,0 R	16	51	0	105	1,6 R	2,6 T	1,5 R	31	100	33
106	1,2 R	1,0 R	1,0 R	16	25	0	106	1,9 R	1,7 R	1,0 R	37	96	0
ET	0,3	0,7	0,1	16,1	18,0	7,1	ET	0,5	0,7	0,4	20,1	14,7	16,5
Moy	1,4 R	2,8 T	1,0 R	32,0	93,4	1,8	Moy	1,6 R	3,7 S	1,1 R	39,5	79,8	5,9

MONTAISON							POST- FLORAISON						
G	MS	HE	CU	IMS	IHE	ICU	G	MS2	HE2	CU2	IMS2	IHE2	ICU2
				%	%	%					%	%	%
<b>Min</b>	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	<b>Min</b>	1,0	1,9	1,0	0,0	28,6	0,0
<b>Max</b>	2,1	4,0	1,4	77,8	100,0	33,3	<b>Max</b>	3,0	4,8	3,4	79,3	100	96,3
<b>CV%</b>	19	25	5	50	19	396	<b>CV%</b>	31	19	35	51	18	282

**G** : géotype ; **MS** : sévérité de la striure du maïs pendant le stade montaison ; **HEL** : sévérité de l'helminthosporiose pendant le stade montaison ; **CUR** : sévérité de la curvulariose pendant le stade montaison ; **IMS** : incidence de la striure pendant le stade montaison ; **IHEL** : incidence de l'helminthosporiose pendant le stade montaison ; **ICUR** : incidence de la curvulariose pendant le stade montaison ; **MS2** : sévérité de la striure au stade post-floraison ; **HEL2** : sévérité de l'helminthosporiose au stade post-floraison ; **CUR2** : sévérité de la curvulariose au stade post-floraison ; **IMS2** : incidence de la striure pendant le stade post-floraison ; **IHEL2** : incidence de l'helminthosporiose pendant le stade post-floraison ; **ICUR2** : incidence de la curvulariose pendant le stade post-floraison ; **R** : résistant, **T** : tolérant ; **S** : sensible ; **ET** : écart-type ; **Moy** : moyenne ; **Min** : minimum ; **Max** : maximum ; **CV** : coefficient de variation

En regroupant les lignées par groupe hétérotique, on constate qu'au stade montaison, face à la striure du maïs et à la curvulariose, tous les groupes (NSS, SS, TA, T) ont été résistants. En ce qui concerne l'helminthosporiose, les lignées du groupe tropical (T) et ceux du groupe tempéré adapté (TA) se sont révélées résistantes tandis que les lignées des groupes stiff-stalk (SS) et non stiff-stalk (NSS) se sont montrées tolérantes. Concernant l'incidence des différentes maladies, les différents résultats ont été obtenus :

Pour la striure du maïs, les lignées stiff-stalk (SS) et les lignées non stiff-stalk (NSS) ont eu le plus grand nombre de plantes présentant la maladie.

L'helminthosporiose a beaucoup plus touché les lignées stiff-stalk (SS), les lignées non stiff-stalk (NSS) et les lignées tempérées adaptées (TA).

La curvulariose quant à elle, on l'a beaucoup plus observé sur les lignées tempérées adaptées (Tableau VIII).

**Tableau VIII:** Moyenne par groupe de la sévérité et de l'incidence des maladies au stade montaison

<b>GROUPE</b>	<b>SevMSV1</b>	<b>SevHELM1</b>	<b>SevCURV1</b>	<b>IMSV1%</b>	<b>IHELM1%</b>	<b>ICURV1%</b>
<b>NSS</b>	1,37 <b>R</b>	2,86 <b>T</b>	1,00 <b>R</b>	32	93	1
<b>SS</b>	1,58 <b>R</b>	2,92 <b>T</b>	1,00 <b>R</b>	37	99	1
<b>TA</b>	1,55 <b>R</b>	2,57 <b>R</b>	1,17 <b>R</b>	26	100	17
<b>T</b>	1,10 <b>R</b>	1,82 <b>R</b>	1,05 <b>R</b>	7	67	4

**SevMSV1** : sévérité de la striure ; **SevHELM1** : sévérité de l'helminthosporiose ; **SevCURV** : sévérité de la curvulariose ; **IMSV1** : incidence de la striure ; **IHELM1** : incidence de l'helminthosporiose ; **ICURV1** : incidence de la curvulariose ; **NSS** : non stiff-stalk ; **SS** : stiff-stalk ; **T** : tropical ; **TA** : tempéré adapté

Au stade post-floraison, les lignées des groupes stiff-stalk (SS), non stiff-stalk (NSS), tempérés adaptés (TA) et tropicaux (T) sont restées résistantes à la striure et à la curvulariose comme au stade montaison. Par contre concernant l'helminthosporiose, les lignées des groupes tropicaux (T) et tempérés adaptés (TA) sont passées de résistantes (au stade montaison) à tolérantes (au stade post- floraison) et celles des groupes stiff-stalk (SS) et non stiff-stalk (NSS) sont passées de tolérantes (au stade montaison) à sensibles au (stade post-floraison) (Tableau IX).

Les lignées du groupe tempéré adapté ont obtenu les incidences les plus élevées pour la striure et la curvulariose suivies des lignées stiff-stalk pour la striure et des lignées tropicales pour la curvulariose (Tableau IX).

**Tableau IX:** Moyenne par groupe de la sévérité et de l'incidence des maladies au stade post-floraison

GROUPE	SevMSV2	SevHELM2	SevCURV2	IMSV2(%)	IHELM2(%)	ICURV2(%)
NSS	1,58R	3,86S	1,08R	38	80	4
SS	1,74R	3,82S	1,03R	42	76	2
TA	1,90R	3,52T	2,19R	64	94	48
T	1,42R	2,71T	1,48R	25	95	24

**SevMSV2** : sévérité de la striure ; **SevHELM2** : sévérité de l'helminthosporiose ; **SevCURV2** : sévérité de la curvulariose ; **IMSV2** : incidence de la striure ; **IHELM2** : incidence de l'helminthosporiose ; **ICURV2** : incidence de la curvulariose ; **NSS** : non stiff-stalk ; **SS** : stiff-stalk ; **T** : tropical ; **TA** : tempéré adapté

### 3.1.1.3. Description agro-morphologique et comparaison des lignées

Le tableau X nous montre que la date de floraison mâle des lignées a varié de 48 à 55 jours après semis. La teneur en chlorophylle quant à elle oscillait entre 5,87 et 35% signalant une faible activité photosynthétique. La majeure partie des lignées étaient de petite taille et leur hauteur variait entre 35 et 115 cm. Concernant la proportion de plantes portant des épis sa valeur minimale était de 0% contre une valeur maximale de 100%. Les lignées LH127, LH213, PHB47, PHK42, PHT55, 6M502, PHH93, PHW52, PHG47, PHK29, DE811, FBML10, TZEI17, ELN45-1-1-1, TZI18, TZEI10, ELN40-9-4-1, ELN43-4-5-3, TZEI23 ont obtenu une proportion de plante portant au moins un épi supérieur à 50%.

Le test de DUNNETT réalisé au seuil de 5%, nous a permis de comparer toutes les lignées à la lignée fbml10 qui a été choisie comme témoin. Ce test a révélé que pour la variable floraison, toutes les lignées ont fleuri au même moment que le témoin, sauf la lignée WIL901 (génotype 76) qui a fleuri plus tardivement.

Pour la variable teneur en chlorophylle, à l'exception des lignées LH220HT, MDF13D, F42, 6M502, PHW03, TZI18, ELN40-9-4-1, TZEI23, 78002A et ELN43-4-5-3 (de génotypes respectifs 5, 23, 28, 62, 93, 102, 104, 106, 105, 35) n'ayant pas présenté de différence significative par rapport au témoin, toutes les autres lignées ont présenté une différence significative par rapport au témoin.

Pour la variable hauteur des plantes, les lignées L135, WIL500, LH220Ht, LH82, LH156, PHR55, MBST, PHR62, PHN82, 78371A, PHN11, LH192, PHG47, L127, LH74, PHT60 et

LH59 (de géotypes respectifs 80, 78, 5, 31, 43, 15, 69, 90, 88, 45, 56, 9, 37, 79, 24, 73, 50) ont présenté une différence significative par rapport au témoin. Ces lignées ont présenté des hauteurs inférieures à celle de FBML10.

Concernant la variable proportion des plantes portant des épis, mis à part les lignées TZI18, ELN43-4-5-3, PHH93, PHG47, ELN45-1-1-1, 6M502, PHK42, DE811, TZI10, ELN40-9-4-1, TZEI17, PHK29 et TZEI23 qui n'ont pas présenté de différence significative par rapport au témoin, toutes les autres lignées ont présenté une différence significative. Comparées au témoin, elles ont eu moins de plantes portant au moins un épi.

**Tableau X** : Moyenne par géotype des caractères agro-morphologiques combinée au résultat du test de DUNNET

<b>G</b>	<b>FM</b>	<b>CHLO</b>	<b>HP</b>	<b>PPEPI%</b>	<b>G</b>	<b>FM</b>	<b>CHLO</b>	<b>HP</b>	<b>PPEPI%</b>
1	50,33	8,90 *	50,25	0 *	27	49,33	13,20 *	88,82	53 *
2	49	17,30 *	57,76	3 *	28	49	22,03	68,83	4 *
3	49	9,47 *	70,39	50 *	30	49	12,77 *	63,29	7 *
4	51	11,87 *	78,36	33 *	31	49	7,97 *	41,75 *	0 *
5	49,33	20,57	47,55 *	22 *	32	49,67	10,60 *	52,91	9 *
6	52,33	14,90 *	56,08	4 *	33	49	18,80 *	68,13	39 *
7	52	10,97 *	55,94	9 *	34	50,67	7,07 *	68,52	28 *
8	50,33	15,50 *	68,16	25 *	35	49,67	22,47	62,56	0 *
9	50,33	13,70 *	49,49 *	4 *	36	49	18,53 *	59,46	31 *
10	49	15,80 *	69,94	0 *	37	49,33	12,87 *	50,46 *	50
11	51,33	10,37 *	65,91	20 *	39	49,33	10,00 *	69,73	13 *
12	50	15,70 *	56,98	20 *	40	49	16,70 *	76,92	23 *
13	52	11,17 *	88,13	69 *	41	49,67	14,03 *	49,97	42 *
14	49,67	20,23 *	69,3	20*	42	54	15,37 *	74,08	11 *
15	51	9,37 *	49,71*	0 *	43	50,67	11,13 *	41,47 *	17 *
16	53	12,73 *	73,7	25 *	44	50	8,83 *	58,42	6 *
17	49,67	8,40 *	63,95	30 *	45	51,33	7,13 *	47,75 *	20 *
18	49	11,03*	73,64	30 *	47	50	17,00 *	50,33	8 *
19	49	14,67 *	70,58	30 *	48	50,67	13,40 *	64,67	5 *
21	49,33	5,90 *	59,3	0 *	49	49	11,67 *	57,84	0 *
22	49,67	9,43*	82	0 *	50	49,33	15,23 *	51,35 *	7 *
23	51	20,7	55,06	13 *	51	51	12,07 *	80,7	77
24	49,67	14,27 *	50,60 *	6 *	52	51	11,25 *	45,64	0 *
25	49	11,83 *	79,21	11 *	53	49	15,03 *	64,38	24 *
26	48,33	12,23 *	54,98	28 *	54	49	13,05 *	67,85	39 *

<b>G</b>	<b>FM</b>	<b>CHLO</b>	<b>HP</b>	<b>PPEPI%</b>	<b>G</b>	<b>FM</b>	<b>CHLO</b>	<b>HP</b>	<b>PPEPI%</b>
<b>55</b>	49	19,70 *	64,38	67	<b>84</b>	50,33	8,77 *	70,53	8 *
<b>56</b>	49,33	5,87 *	48,00 *	39 *	<b>85</b>	48,33	10,77*	58,91	23 *
<b>57</b>	52,67	14,00 *	97,92	51 *	<b>86</b>	50	15,00 *	61,06	7 *
<b>58</b>	49	12,23 *	78,28	32 *	<b>87</b>	48,33	15,43 *	60,7	18 *
<b>59</b>	50	14,40 *	73,39	51 *	<b>88</b>	53	13,07 *	47,18 *	22 *
<b>61</b>	50,33	14,63 *	59,14	6 *	<b>89</b>	49	9,50 *	64,93	32 *
<b>62</b>	49,67	22,47	59,42	61	<b>90</b>	52	12,80 *	51,18 *	10 *
<b>63</b>	49,5	11,80 *	67,82	9 *	<b>91</b>	50,33	9,27 *	56,13	25 *
<b>64</b>	53,33	13,70 *	63,78	44 *	<b>92</b>	49,67	15,33 *	55,99	20 *
<b>65</b>	51	15,03 *	61,49	37 *	<b>93</b>	49	23,17*	61,74	0 *
<b>66</b>	49	15,23 *	93,19	36 *	<b>94</b>	49,33	15,61 *	70,34	29 *
<b>67</b>	51	14,10 *	67,73	46 *	<b>95</b>	49	11,13 *	68,47	13 *
<b>68</b>	49	8,40 *	58,31	14 *	<b>96</b>	49	12,60*	73,25	38 *
<b>69</b>	49,67	11,93 *	44,06 *	11 *	<b>97</b>	51,33	13,97 *	71,38	0 *
<b>70</b>	49	15,57 *	69,63	57	<b>98</b>	49,67	15,70 *	91,83	69
<b>71</b>	49	14,20 *	55,85	19 *	<b>99</b>	51,33	33,83 *	88,86	94 *
<b>72</b>	50,33	15,57 *	76,32	44 *	<b>100</b>	49	18,57 *	82,4	74
<b>73</b>	49,33	12,27 *	51,96 *	2 *	<b>101</b>	53	13,33 *	81,18	69
<b>74</b>	49,33	11,73 *	75,09	53 *	<b>102</b>	49	21,2	101,5	100
<b>76</b>	55,67 *	12,90 *	73,29	38 *	<b>103</b>	49	19,67 *	95,07	78
<b>77</b>	49,67	16,80 *	94,07	40 *	<b>104</b>	49,67	31,23	115,19	75
<b>78</b>	51	7,17 *	41,57 *	7 *	<b>105</b>	49,67	35,00	102,27	100
<b>79</b>	50,33	16,67*	50,99 *	7 *	<b>106</b>	48,33	27,57	73,04	85
<b>80</b>	51	8,27 *	35,10 *	3 *	<b>Min</b>	48,33	5,87	35,10	0,00
<b>81</b>	48,33	10,97 *	68,17	27 *	<b>Max</b>	55,67	35,00	115,19	1,00
<b>82</b>	51	14,27*	64,2	25 *	<b>Moy</b>	50,04	14,27	65,95	0,28
<b>83</b>	49	9,35 *	76,2	39 *	<b>ET</b>	1,35	5,28	15,00	0,25

\*, Lignées présentant une différence significative par rapport au témoin **FBML10** ; **FM**: floraison mâle ; **HP** : hauteur des plantes ; **CHLO** : chlorophylle ; **PPEPI** : proportion de plantes portant au moins un épi, **Min** : minimum, **Max** : maximum, **Moy** : moyenne, **ET** : écart-type.

Le test de Student-Newman-Keuls réalisé avec un intervalle de 95% a permis de voir les différences et les similitudes existantes entre les différents groupes (SS, NSS, TA, et T) pour les caractères agro-morphologiques. Pour la variable floraison mâle (FM), ce test a regroupé tous les groupes dans une même classe montrant ainsi qu'il n'existait pas de différence entre les différents groupes pour ce caractère. En moyenne tous les groupes ont fleuri entre 49 et 50 jours après semis. Pour les variables chlorophylle (CHLOROPH) et proportion de plantes portant au moins un épi (PPEPI), deux classes ont pu être dégagées :

- Les lignées Non Stiff-Stalk (NSS), Stiff-Stalk (SS) et Tempérées Adaptées (TA) d'un côté caractérisées par une plus faible teneur en chlorophylle et une faible proportion de plante portant au moins un épi (Tableau XI) ;
- Les lignées tropicales caractérisées par une plus grande teneur en chlorophylle et une grande proportion de plante portant au moins un épi.

Pour ce qui est de la variable hauteur des plantes (HP), trois classes ont été observées. La première classe comprend les lignées Tropicales (T) et les lignées Tempérées Adaptées (TA). La deuxième classe comprend les lignées Stiff-Stalk (SS) et la troisième les lignées Non Stiff-Stalk (NSS). Les lignées T et TA ont eu les plus grandes tailles. Les lignées SS ont eu des tailles intermédiaires et les lignées NSS les plus petites tailles (Tableau XI).

**Tableau XI:** Moyenne par groupe des caractères agro-morphologiques combinée au résultat du test de Student-Newman-Keuls (SNK)

<b>GROUPE</b>	<b>FM</b>	<b>CHLOROPH</b>	<b>HP</b>	<b>PPEPI%</b>
<b>NSS</b>	50,05 <b>a</b>	12,54 <b>b</b>	60,27 <b>c</b>	23 <b>b</b>
<b>SS</b>	50,07 <b>a</b>	13,95 <b>b</b>	66,50 <b>b</b>	23 <b>b</b>
<b>TA</b>	50,50 <b>a</b>	14,83 <b>b</b>	81,61 <b>a</b>	35 <b>b</b>
<b>T</b>	49,88 <b>a</b>	25,05 <b>a</b>	92,44 <b>a</b>	84 <b>a</b>

**FM** : floraison mâle, **CHLOROPH** : chlorophylle, **HP** : hauteur de la plante ; **PPEPI** : proportion de plantes portant au moins un épi ; **NSS** : non stiff-stalk ; **SS** : stiff-stalk ; **TA** : tempéré adapté ; **T** : tropical

A l'issue de cette évaluation, les meilleures lignées Ex-PVP étaient : LH127, LH213, PHB47, PHT55, 6M502, PHW52, PHK29 de géotypes respectifs (3, 13, 27, 57, 62, 74, et 51). Ces lignées ont eu un bon comportement face aux maladies, ont eu une hauteur avoisinant ou dépassant celle du témoin et une proportion de plantes portant au moins un épi supérieure à 50%.

### **3.1.2. Evaluation agro-morphologique des lignées Ex-PVP en saison sèche**

A l'issue de l'évaluation en saison humide, les lignées Ex-PVP ayant fourni assez de grains ont été ressemées en saison sèche pour une seconde évaluation.

### 3.1.2.1. Description agro-morphologique des lignées

Une grande variabilité morphologique a été observée au sein des lignées pour toutes les variables de l'architecture de la plante et du cycle. Concernant l'architecture, en moyenne, les lignées ont eu une hauteur de la plante de  $98,47 \pm 14$  cm, une hauteur d'insertion de l'épi de  $37,20 \pm 9$  cm, un nombre total de feuilles de  $5,04 \pm 0,4$  et un nombre de feuilles supérieures à l'épi de  $10,23 \pm 1$ . En moyenne, la floraison mâle a eu lieu à  $74,91 \pm 2$  jours et la floraison femelle à  $77,75 \pm 3$  jours. Le nombre de jours séparant ces deux floraisons est de  $2,84 \pm 2$ . Le coefficient de variation est assez élevé pour les variables ASI, PE et PG traduisant une disparité des données collectées pour ces variables. De grands écarts entre les valeurs minimales et maximales ont été observés pour les variables HP, HIE, FM et CHLORO. Pour la variable CHLORO aucune différence significative n'a été observée entre les différents génotypes. La teneur moyenne en chlorophylle était  $39,34 \pm 10\%$ . Pour les variables concernant les caractères biométriques de l'épi, une différence très hautement significative a été notée au sein des lignées. Le poids moyen des grains était de  $0,06 \pm 0,1$  kg avec un minimum de 0 kg et un maximum de 0,74 kg. En moyenne, les épis ont eu un poids de  $0,13 \pm 0,2$  kg (Tableau XII).

**Tableau XII:** Analyse de variance des variables phénotypiques et du cycle des lignées.

Source de variation	HP	HIE	NTF	NFSE	FF	FM	CHLORO	ASI	PE	PG
<b>Répétition</b>	322,962 **	181,481 **	12,446 ***	0,196 NS	27,397 *	40,975 ***	210,710 NS	4,416 NS	0,040 *	0,179 NS
<b>Génotype</b>	431,647 ***	168,270 ***	1,440 ***	0,363 ***	18,579 ***	7,481 **	83,854 NS	5,216 ***	0,051 ***	0,149 ***
<b>Moyenne ± écart- type</b>	98,47 ± 14	37,20 ± 9	5,04 ± 0,4	10,23 ± 1	74,91 ± 2	77,75 ± 3	39,34 ± 10	2,84 ± 2	0,13 ± 0,2	0,061 ± 0,1
<b>Minimum</b>	63,50	15,00	3,67	7,25	70,00	68,00	18,60	-6	0	0
<b>Maximum</b>	130,71	54,00	6,00	12,50	82,00	86,00	67,50	8	0,983	0,740
<b>CV(%)</b>	14	24	8	10	3	4	26	61	119	185

\*, \*\*, \*\*\* respectivement significatif à 5%, 1% et 0,1% ; **HP** : hauteur de la plante ; **HIE** : hauteur d'insertion de l'épi ; **NTF** : nombre total de feuilles ; **NFSE** : nombre de feuilles situées au-dessus de l'épi ; **FM** : floraison mâle ; **FF** : floraison femelle ; **CHLORO** : chlorophylle ; **CV** : coefficient de variation.

Le test de Dunnett réalisé au seuil de 5% nous a permis de comparer les lignées à FBML10. Le test a révélé que pour les variables CHLORO et FM aucune lignée n'a présenté de différence significative par rapport à FBML10. Par contre pour les variables HP, HIE, NFSE, NTF, FF, PE, PG et ASI certaines lignées ont présenté des caractéristiques différentes de

celles du témoin. Les lignées LH57, 5707, L139, PHN11, LH74 et TZEI23 de géotypes respectifs 16 ; 17 ; 18 ; 19 ; 27 et 40 ont présenté des tailles inférieures à celle du témoin. Les hauteurs d'insertion de l'épi des lignées PHV63, 78371A, LH57, PHN11, PHM10, G80, FR19, LH74, PHW43, LH 128, LH 205, 2FACC et TZEI23 de géotypes respectifs 5 ; 8 ; 16 ; 19 ; 21 ; 23 ; 25 ; 27 ; 28 ; 29 ; 30 ; 31 et 40 ont été plus basses que celle de FBML10. Par rapport au témoin, la lignée 2FACC de géotype 31 a eu plus de feuilles situées au-dessus de l'épi tandis que la lignée PHN11 de géotype 19 en a eu moins. Concernant l'émission de soies, les lignées PHH93, PHN66, LH57, L 139, PHN11, PHR 47 et PHM10 de géotypes respectifs 7, 14, 16, 18, 19, 20, 21 ont été précoces par rapport à FBML10.

L'intervalle de temps qui a séparé les deux floraisons a été plus court pour les lignées 87916W, LH 202, PHT 77, PHH93, PHB 47, PHR 58, LH 57, 5707, L 139, PHN11, PHR 47, PHM 10, G80 , DJ7, 2FACC et TZEI17 de géotypes respectifs 2, 3, 4, 7, 12, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 26, 31 et 34 que pour la lignée FBML10. Les lignées PHV63, PHT55 et FR19 de géotypes 5, 6 et 25 ont eu des ASI allant de 6 à 7 jours. Les lignées PHH93, PHN82 et PHR58 de géotypes respectifs 7, 10 et 13 ont eu des épis et des grains qui ont pesé plus que les épis et les grains de FBML10 (Tableau XIII).

**Tableau XIII:** Résultats du test de Dunnett

GENO	HP	HIE	NFSE	NTF	FM	FF	CHLORO	ASI	PE/kg	PG/kg
1	101	39,8	4,8	10,2	76,7	80	45,7	3	0,05	0,02
2	111,4	47,1	4,9	11	78,7	78	44,4	2 *	0,02	0
3	102,3	35,7	4,9	9,9	76	78	42,3	2 *	0,07	0,03
4	91,4	35,6	4,6	9,8	74	76	32,9	2 *	0,09	0,09
5	82,3	29,5 *	5,2	10,3	79,3	84	32,5	6	0,07	0
6	116	49,3	5,2	11,1	79,3	85	36,5	7	0,07	0,04
7	104,8	44,3	4,8	10,6	72	74,0 *	40,3	2 *	0,48 *	0,29 *
8	104,8	33,0 *	5,5	10,1	76,7	79,3	45,7	3	0,15	0,04
9	89,8	36,6	5,3	10,3	75,3	79,3	41,1	4	0,13	0,05
10	117,5	49	5,2	11	74,7	77,3	41,5	3	0,65 *	0,48 *
11	94,2	36,1	5	10	74,7	78,7	32,8	4	0,05	0,02
12	113,7	43,3	5,5	10,6	74,5	76,5	35,1	2 *	0,26	0,15
13	121,6	50,9	5,6	11,3	75	77	34,1	2 *	0,51 *	0,34 *
14	114,5	47,1	4,8	11	74	73,3 *	40,7	3	0,14	0,06
15	116,7	45,5	4,9	10,9	74	77	47,5	4	0,05	0,01
16	74,0 *	18,5 *	4,3	8,4 *	72	74,0 *	30,3	2 *	0,05	0,02
17	95,1 *	30,2	5,2	10,7	74,7	76,7	37,1	2 *	0,08	0,03

<b>GENO</b>	<b>HP</b>	<b>HIE</b>	<b>NFSE</b>	<b>NTF</b>	<b>FM</b>	<b>FF</b>	<b>CHLORO</b>	<b>ASI</b>	<b>PE/kg</b>	<b>PG/kg</b>
18	91,4 *	30	4,8	9,1 *	73,3	75,3 *	39,5	2 *	0,14	0,03
19	80,5 *	32,2 *	4,0 *	8,9 *	71,3	73,3 *	33,1	2 *	0,08	0,03
20	107,9	40,5	5,4	10,6	73,3	75,3 *	35,7	2 *	0,03	0,01
21	99,6	28,8 *	5,4	10	73,3	75,3 *	37,8	2 *	0,11	0,02
22	120,9	35,7	5,4	10,4	74,7	78,7	41,2	4	0,07	0,01
23	85,1	29,0 *	4,8	9,0 *	74	76	36	2 *	0,05	0,01
24	95,9	40,6	5,2	10,6	75,3	78	41,5	3	0,08	0,02
25	85,6	31,4 *	4,5	9,1	75	82	53,3	7	0,09	0,02
26	105,4	39,2	5	10,1	78	80	38,5	2 *	0,1	0,05
27	79,2 *	29,5 *	4,9	10,6	74,7	77,3	35,1	3	0,05	0,01
28	97,6	28,9 *	5,1	9,5	73,3	76	30,6	3	0,09	0,01
29	101,3	24,2 *	5,4	9,5	77	80	38,1	3	0,03	0,01
30	86,2	29,5 *	5	9,5	74	76,7	40,5	3	0,12	0,07
31	88,4	31,3 *	5,7 *	9,8	74	76	32,2	2 *	0,05	0,01
32	120,1	47,6	5,2	11	80,7	80	38,2	2	0,04	0
33	102	49,5	4,8	11,4	76,7	82	39,7	5	0,09	0,04
34	91,8	38,9	4,8	10,7	75,3	77,3	41,1	2 *	0,15	0,05
35	100,5	44,7	5,3	10,7	80	83	32	4	0,18	0,02
36	96,5	37,9	5,4	11,1	75,3	78,7	47,4	3	0,23	0,12
37	84,6	36,5	5,1	10	76	79,3	34,8	3	0,08	0,01
38	104,8	47,6	5,2	10,3	74,7	78	49,4	3	0,3	0,13
39	104,7	45,4	5,3	11	77,3	80,7	48,4	3	0,19	0,06
40	79,5 *	31,0 *	4,5	9,3	74,7	77,3	44,9	3	0,1	0,04

\*, lignées présentant une différence significative par rapport au témoin FBML10. **HP** : hauteur de la plante ; **HIE** : hauteur d'insertion de l'épi ; **NFSE** : nombre de feuilles situés au-dessus de l'épi ; **NTF** : nombre total de feuilles ; **ASI** : anthesis silking interval ; **FF** : floraison femelle ; **FM** : floraison mâle ; **CHLORO** : chlorophylle.

### 3.1.2.2. Caractéristiques des différents groupes de lignées

Le test de Student-Newman-Keuls réalisé avec un intervalle de confiance de 95% a révélé qu'il n'existait aucune différence significative entre les différents groupes pour les variables NFSE, FF, CHLORO et ASI. Par contre pour les variables HP, HIE, NTF et FM des groupes se sont dégagées. Les lignées tropicales (T) ont présenté une plus petite taille par rapport aux autres groupes avec une hauteur moyenne de 96,56 cm. En moyenne, les tailles des lignées TA, NS et SS étaient respectivement de 102, 06 cm, 101, 45 cm et 97,40 cm. Pour les variables HIE et NTF deux classes ont été observées. Les lignées tropicales et tempérées adaptées d'un côté avec les plus fortes valeurs et les lignées SS et NSS de l'autre avec les plus

petites valeurs. Concernant la variable FM, trois classes ont été dégagées. Les lignées SS et les NSS ont émis plus précocement la panicule respectivement avec une durée de 75,03 et 74,81 jours. La floraison mâle des lignées tropicales a été intermédiaire avec une durée moyenne de 76,25 jours et celle des lignées tempérées adaptées a été tardive avec une durée moyenne de 80,67 jours. Pour le poids des épis (PE), le test a révélé deux classes. La première classe comprenait les NSS et les T caractérisés par les poids les plus élevés et dans la deuxième classe il y'avait les SS et les TA avec les poids les plus faibles. Concernant le poids des grains, trois classes ont été observées. Les NSS avec les plus grandes valeurs, les T avec des valeurs intermédiaires et les SS, TA avec les plus faibles valeurs (Tableau XIV).

**Tableau XIV:** Moyenne par groupe des caractères agro-morphologiques combiné au test de student-Newman-Keuls

GROUPES	HP	HIE	NFSE	NTF	FM	FF	CHLORO	ASI	PE	PG
NSS	101,45	35,38	5,06	10,13	74,81	77,52	38,35	2,88	0,174	0,094
	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>a</b>	<b>a</b>	<b>a</b>	<b>a</b>	<b>a</b>
SS	97,40	36,89	5,02	10,12	75,03	77,58	38,63	3,02	0,092	0,038
	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>a</b>	<b>a</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>b</b>
TA	120,06	47,61	5,18	11,04	80,67	80,00	38,20	2	0,044	0,003
	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>b</b>							
T	95,56	41,44	5,06	10,57	76,25	79,54	42,21	3,42	0,174	0,061
	<b>b</b>	<b>a</b>	<b>a</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>a</b>	<b>a</b>	<b>a</b>	<b>a</b>	<b>ab</b>

**HP** : hauteur de la plante ; **HIE** : hauteur d'insertion de l'épi ; **NFSE** : nombre de feuilles supérieures à l'épi ; **NTF** : nombre total de feuilles ; **FM** : floraison mâle ; **FF** : floraison femelle ; **CHLORO** : chlorophylle ; **ASI** : Anthesis Silking Interval ; **NSS** : non stiff-stalk ; **SS** : stiff-stalk ; **TA** : tempéré adapté ; **T** : tropical.

### 3.1.3. Evaluation des hybrides top-cross en saison sèche

#### 3.1.3.1. Caractérisation agro-morphologique des hybrides

Les hybrides ont présenté une différence très hautement significative pour les variables floraison mâle et femelle. Pour ce qui concerne les variables architecturales de la plante et la variable ASI, elles ont montré une certaine homogénéité en leur sein. La taille des hybrides a varié entre 61cm et 175,5 cm avec une moyenne de  $135,23 \pm 19$  cm. La hauteur d'insertion de l'épi oscillait entre 47,5 cm et 96,5 cm avec une moyenne de  $63,24 \pm 10$  cm. Le nombre total de feuilles a varié de 9,8 à 14,10 avec une moyenne de  $11,47 \pm 1$ . Le nombre de feuilles supérieures à l'épi a varié entre 4,6 et 6,3 avec une moyenne de  $5,36 \pm 0,4$ . Concernant le cycle de floraison des plantes la floraison femelle est survenue entre le 70<sup>ème</sup> et le 86<sup>ème</sup> jour avec une moyenne de  $76,19 \pm 4$  jours. La floraison mâle s'est étendue du 68<sup>ème</sup> au 84<sup>ème</sup> jour

avec une moyenne de  $74,09 \pm 4$  jours. Le nombre de jours séparant les deux floraisons a varié entre 2 et 4 jours (Tableau XV).

**Tableau XV:** Analyse de variance des variables de l'architecture et du cycle des hybrides.

Source de variation	HP	HIE	NTF	NFSE	FF	FM	ASI
<b>Répétition</b>	1739,281 **	1144,024 ***	4,960 NS	0,910 **	59,580 ***	56,870 ***	0,276 NS
<b>Génotype</b>	363,872 NS	82,905 NS	0,561 NS	0,204 NS	34,146 ***	32,158 ***	0,164 NS
<b>Moyenne <math>\pm</math> écart-type</b>	135,23 $\pm$ 19	63,24 $\pm$ 10	11,47 $\pm$ 1	5,36 $\pm$ 0,4	76,19 $\pm$ 4	74,09 $\pm$ 4	2,10 $\pm$ 0,4
<b>Minimum</b>	61,00	47,50	9,80	4,60	70,00	68,00	2
<b>Maximum</b>	175,50	96,50	14,10	6,30	86,00	84,00	4
<b>CV(%)</b>	14	15	7	7	5	5	20

\*, \*\*, \*\*\* respectivement significatif à 5%, 1% et 0,1% ; **NS** : non significatif ; **HP** : hauteur de la plante ; **HIE** : hauteur d'insertion de l'épi ; **NTF** : nombre total de feuilles ; **NFSE** : nombre de feuilles situées au-dessus de l'épi ; **FM** : floraison mâle ; **FF** : floraison femelle ; **ASI** : anthesis silking interval ; **CV** : coefficient de variation.

Les hybrides ont présenté une variabilité pour la longueur de l'épi. Pour la variable section moyenne de l'épi, aucune variabilité n'a été observée. En moyenne les épis ont mesuré  $14,56 \pm 2$  cm et leur section moyenne a mesuré  $3,98 \pm 0,3$  cm. Le coefficient de variation a été assez faible pour ces variables (Tableau XVI).

En ce qui concerne les variables de productivité, les hybrides ont présenté une variabilité pour toutes les variables concernées (tableau 16). En moyenne le poids des épis a été de  $0,90 \pm 0,4$  kg et le poids des grains a été de  $0,70 \pm 0,3$  kg. Le rendement moyen était de  $2,09 \pm 1$  t/ha. Le coefficient de variation a été assez élevé pour les variables de productivité traduisant ainsi une disparité entre les hybrides (Tableau XVI)

**Tableau XVI:** Minimum, maximum, moyenne, coefficient de variation et carré moyen de quelques variables de la productivité et des caractéristiques biométriques de l'épi.

Source de variation	SM	LE	PE	PG	RDT
<b>Répétition</b>	0,028	3,758	0,078	0,073	0,658
	NS	NS	NS	NS	NS
<b>Génotype</b>	0,126	9,102	0,178	0,120	1,119
	NS	***	*	*	*
<b>Moyenne ± écart-type</b>	3,98± 0,3	14,56± 2	0,90± 0,4	0,70± 0,3	2,09± 1
<b>Minimum</b>	3	9,2	0,14	0,1	0,31
<b>Maximum</b>	4,6	20,4	1,86	1,46	4,33
<b>CV(%)</b>	7	14	39	41	41

\*, \*\*, \*\*\* respectivement significatif à 5%, 1% et 0,1% ; NS : non significatif ; SM : section moyenne de l'épi ; LE : longueur de l'épi ; PE : poids de l'épi ; PG : poids des grains ; RDT : rendement

Le test de Dunnett réalisé au seuil de 5% nous a permis de comparer les traits des hybrides à ceux de komsaya. Ce test a révélé que pour les variables floraison mâle et femelle, certaines hybrides ont présenté une différence significative par rapport au témoin. Il s'agissait des hybrides issus des croisements entre e-WARI et les lignées PHB47 et PHT77, entre TZEI17 et les lignées 78004, F42, PHJ33, PHR47, PHT55, PHT77, PHW52, WIL903, 4676A et TZEI10 et enfin entre e-ESPOIR et la lignée PHB47. Tous ces hybrides ont eu un cycle de floraison précoce par rapport au cycle de komsaya. Pour les variables HP, HIE, NTF, NFSE, SM, LE, ASI et RDT, aucune différence significative n'a été observée entre les hybrides et le témoin komsaya (Tableau XVII).

**Tableau XVII:** Données moyennes des hybrides combiné au test de Dunnett.

GENO	HP	HIE	NTF	NFSE	FF	FM	SM	LE	ASI	RDT t/ha
1	134,2	54,7	10,9	5,3	75,7	73,3	4,1	12,3	2,3	2,4
2	141,3	65,2	11,8	5,5	79,3	77,3	4,2	13,5	2,0	2,0
3	146,7	60,7	11,8	5,6	78,0	76,0	4,3	17,3	2,0	2,4
4	135,0	57,7	11,7	5,7	74,7 *	72,7 *	3,9	13,9	2,0	2,1
5	133,2	64,0	11,0	5,0	72,0 *	70,0 *	4,1	14,3	2,0	2,1
6	123,2	68,5	11,5	5,9	79,3	77,3	4,0	13,5	2,0	1,9
7	121,9	58,0	10,8	5,1	78,0	75,3	3,8	12,9	2,7	1,4
8	137,2	66,5	11,2	5,0	73,3 *	71,3 *	4,2	17,2	2,0	3,2
9	145,7	66,3	12,0	5,2	73,3 *	71,3 *	4,1	16,0	2,0	2,8
10	137,7	63,0	11,5	5,1	74,7 *	72,7 *	3,9	16,4	2,0	2,4
11	134,2	56,8	11,4	5,6	73,3 *	71,3 *	3,9	15,3	2,0	2,7
12	107,5	56,8	11,4	5,6	74,7 *	72,7 *	3,8	13,3	2,0	2,0
13	132,7	59,4	10,8	5,0	72,7 *	70,7 *	4,1	16,2	2,0	2,9
14	112,0	62,5	11,5	5,3	74,7 *	72,7 *	3,9	14,3	2,0	2,5
15	137,8	65,4	11,4	5,1	74,7 *	72,7 *	4,0	17,8	2,0	2,5
16	135,5	62,3	11,6	5,1	80,0	78,0	3,7	13,5	2,0	1,9
17	141,5	62,0	11,5	5,5	72,7 *	70,7 *	4,3	16,0	2,0	2,9
18	135,7	57,7	10,7	5,3	72,0 *	70,0 *	3,8	15,8	2,0	2,1
19	132,5	64,8	11,3	5,0	82,0	79,3	3,6	13,2	2,7	1,2
20	142,1	69,0	11,7	5,6	78,7	76,7	4,1	12,0	2,0	0,8
21	155,6	77,1	12,4	5,6	80,7	78,0	4,2	15,1	2,7	1,6
22	150,0	70,0	11,8	5,5	83,3	81,3	4,1	11,9	2,0	0,9
23	137,3	66,2	12,1	5,5	74,7 *	72,7 *	3,5	13,5	2,0	2,3

\*, lignées présentant une différence significative par rapport au témoin komsaya. **HP** : hauteur de la plante ; **HIE** : hauteur d'insertion de l'épi ; **NFSE** : nombre de feuilles situés au-dessus de l'épi ; **NTF** : nombre total de feuilles ; **ASI** : anthesis silking interval ; **FF** : floraison femelle ; **FM** : floraison mâle ; **SM** : section moyenne de l'épi ; **LE** : longueur de l'épi ; **RDT** : rendement t/ha.

### 3.1.3.2. Estimation du niveau d'hétérosis

Sur 23 hybrides évalués, l'hétérosis moyenne a été calculée pour 12 hybrides avec les variables HP, HIE, NFSE, NTF, FM et FF. En somme, l'hétérosis moyenne a varié de 0 à 66%. La plus petite valeur a été obtenue par les variables floraison mâle (FM) et femelle (FF) et la plus grande par la variable hauteur d'insertion de l'épi (HIE). Un gain de précocité pour les deux floraisons allant de -2 à -9% a été observé pour la majeure partie des hybrides. Seul L'hybride e-Wari × PHR58 a eu des floraisons tardives. Chez l'hybride e-espoir × PHR58

l'hétérosis moyenne est nulle pour les deux floraisons. Les plus fortes valeurs de l'hétérosis moyenne concernant la hauteur de la plante et la hauteur d'insertion de l'épi ont été obtenues par l'hybride TZEI17 × WIL903. Excepté l'hybride e-wari × PHT77 qui avait une hétérosis moyenne négative pour la variable HP, tous les autres hybrides ont eu un gain en taille et en hauteur d'insertion de l'épi (Tableau XVIII)

**Tableau XVIII:** Résultat de l'hétérosis moyenne de 11 hybrides (exprimé en %)

<b>Géno</b>	<b>PARENTS</b>	<b>HP</b>	<b>HIE</b>	<b>NFSE</b>	<b>NTF</b>	<b>FM</b>	<b>FF</b>
<b>1</b>	<b>E-espoir × PHT77</b>	15	5	4	1	-3	-2
<b>3</b>	<b>E-espoir × PHR58</b>	38	1	1	3	0	0
<b>17</b>	<b>E-espoir × PHB47</b>	38	10	-1	3	-6	-6
<b>5</b>	<b>E-wari × PHT77</b>	-3	27	4	4	-9	-9
<b>16</b>	<b>E-wari × PHR58</b>	7	8	-3	3	1	1
<b>4</b>	<b>E-wari × PHB47</b>	10	7	9	7	-5	-5
<b>11</b>	<b>TZEI17 × PHR47</b>	34	43	9	7	-4	-4
<b>12</b>	<b>TZEI17 × PHT55</b>	3	29	12	5	-6	-8
<b>13</b>	<b>TZEI17 × PHT77</b>	13	59	6	6	-5	-5
<b>14</b>	<b>TZEI17 × PHW52</b>	23	19	5	10	-4	-5
<b>15</b>	<b>TZEI17 × WIL903</b>	43	66	6	9	-3	-5
	<b>Moyenne</b>	20,1	24,9	4,7	5,3	-4	-4,4
	<b>Valeur absolue Maximale</b>	43	66	12	10	9	9
	<b>Valeur absolue Minimale</b>	3	1	1	1	0	0

**HP** : hauteur de la plante ; **HIE** : hauteur d'insertion de l'épi ; **NTF** : nombre total de feuilles ; **NFSE** : nombre de feuilles situées au-dessus de l'épi ; **FM** : floraison mâle ; **FF** : floraison femelle.

Le test de Duncan a été utilisé pour faire une comparaison entre les différents génotypes pour la variable rendement. Ce test a révélé que l'hybride TZEI17×78004 a été différent des hybrides KOMSSAYA, TZEI10×78004, e-WARI, BONDOFA et e-ESPOIR. L'hybride TZEI17×78004 a eu le plus haut rendement contrairement à ces 5 hybrides qui ont obtenu les plus faibles rendements. Les hybrides e-ESPOIR×PHB47, TZEI17×PHT77 et TZEI17×F42 ont été différents des hybrides e-WARI, BONDOFA et e-ESPOIR. Il y'a eu également des différences entre les hybrides TZEI17×PHR47, TZEI17×WIL903, TZEI17×PHW52 et e-ESPOIR×PHR58 et les hybrides BONDOFA et e-ESPOIR. Les hybrides TZEI17×PHJ33 et e-ESPOIR×PHT77 ont été différents de l'hybride e-ESPOIR (Tableau XIX)

**Tableau XIX:** Résultat du test de Duncan pour le rendement

Hybrides	G	Moyenne	Hybrides	G	Moyenne	Hybrides	G	Moyenne
TZEI17×78004	8	3,249 a	TZEI17×PHJ33	10	2,399 abcd	TZEI10×PHW17	6	1,920 abcde
eESPOIR×PHB47	17	2,932 ab	eESPOIR×PHT77	1	2,357 abcd	eWARI×PHR58	16	1,901 abcde
TZEI17×PHT77	13	2,896 ab	TZEI17×TZEI10	23	2,283 abcde	KOMSAYA	21	1,640 bcde
TZEI17×F42	9	2,768 ab	TZEI17×4676A	18	2,095 abcde	TZEI10×78004	7	1,393 bcde
TZEI17×PHR47	11	2,652 abc	eWARI×PHT77	5	2,075 abcde	eWARI	19	1,190 cde
TZEI17×WIL903	15	2,522 abc	eWARI×PHB47	4	2,070 abcde	BONDOFA	22	0,878 de
TZEI17×PHW52	14	2,502 abc	eESPOIR×78004	2	1,971 abcde	eESPOIR	20	0,811 e
EESPOIR×PHR58	3	2,436 abc	TZEI17×PHT55	12	1,970 abcde			

- **Interdépendance entre le rendement et les autres variables étudiées**

Les coefficients de corrélation de Pearson montrent des corrélations significatives entre la variable rendement et les variables FF, FM, LE NE et EC. Le rendement a été positivement corrélé avec la longueur de l'épi et le nombre d'épis choisis. Il a été négativement corrélé avec la floraison mâle, la floraison femelle et la note attribuée à l'épi (tableau XX).

**Tableau XX:** Corrélation entre le rendement et quelques variables.

Variables	r	R <sup>2</sup>	Pr < F
FF	<b>-0,764</b>	0,584	< 0,0001
FM	<b>-0,758</b>	0,574	< 0,0001
LE	<b>0,747</b>	0,558	< 0,0001
NE	-0,527	0,277	0,010
EC	0,630	0,397	0,001
SM	0,258	0,067	0,234
H	-0,156	0,024	0,477
NTF	-0,169	0,029	0,440
NFSE	-0,214	0,046	0,326

**FF** : floraison femelle ; **FM** : floraison mâle ; **LE** : longueur de l'épi ; **NE** : note de l'épi ; **EC** : épis choisis ; **R<sup>2</sup>** : coefficient de détermination ; **r** : coefficient de corrélation

### 3.1.3.3. Identification des meilleurs hybrides

La détermination des meilleurs hybrides s'est faite sur la base du rendement. Elle a concerné les hybrides ayant eu à la fois un rendement supérieur de plus de 10% au rendement de l'hybride simple TZEI10×TZEI17 et un rendement supérieur de plus de 50% au rendement de l'hybride komssaya. Sur cette base, les hybrides retenus ont été les génotypes 8, 9, 11, 13 et 17 respectivement TZEI17×78004, TZEI17×F42, TZEI17×PHR47, TZEI17×PHT77 et e-ESPOIR×PHB47 (Tableau XXI).

**Tableau XXI:** Pourcentage de supériorité des meilleurs hybrides par rapport aux témoins.

G	Hybrides	Rendement (t/ha)	% de supériorité par rapport à komssaya	% de supériorité par rapport à TZEI17×TZEI10
8	TZEI17×78004	3,2	100	39,13
9	TZEI17×F42	2,8	75	21,74
11	TZEI17×PHR47	2,7	68,75	17,39
13	TZEI17×PHT77	2,9	81,25	26,09
17	E ESPOIR×PHB47	2,9	81,25	26,09

## **3.2. Discussion**

### **3.2.1. Réaction des lignées tempérées Ex-PVP face aux maladies tropicales**

En saison humide, la striure du maïs, la curvulariose et l'helminthosporiose sont les maladies qui sont apparues dans l'expérimentation dès le stade montaison. Les lignées ont été susceptibles à toutes ces trois maladies. Ces résultats sont en adéquation avec ceux de Brewbaker (1974), Efron (1985), Gracen (1986), Kim (1990), Pollak (1991) et Adabassi (2014). Ces auteurs ont indiqué que les populations de maïs tempérées ne sont pas en général adaptées aux zones tropicales et qu'elles sont susceptibles aux maladies de ces zones. Parmi les trois maladies, l'helminthosporiose a été la plus sévère et la plus présente sur la majeure partie des plantes. Beaucoup de lignées y ont été sensibles avec des notes allant jusqu'à 4,8. Ces résultats pourraient s'expliquer par le fait que les lignées tempérées sensibles à cette maladie, ne possèdent pas dans leur patrimoine génétique les gènes responsables de la résistance à l'helminthosporiose. En effet, Renfro et Ullstrup (1976) ont souligné qu'en 1970, quasiment 90% des variétés de maïs des Etats-Unis possédaient le facteur Texas de stérilité du mâle ce qui les rendait hyper susceptible à la race T de l'*Helminthosporium maydis*. Concernant la curvulariose et la striure du maïs (MSV), elles n'ont pas été beaucoup présentes sur les lignées. Aucune maladie ne s'est manifestée lors de l'expérimentation en saison sèche. Cela pourrait s'expliquer par le fait que durant la saison humide les conditions sont beaucoup plus favorables au développement des agents pathogènes responsables des maladies ce qui n'est pas le cas en saison sèche. Les lignées Stiff-stalk (SS) et non stiff-stalk (NSS) ont été sensibles à l'helminthosporiose tandis que les lignées tropicales et tempérées adaptées y ont été tolérantes. Des études antérieures menées par Kraja *et al.* (2000) ont montré que les germplasms de groupe hétérotique SS étaient moins résistantes à l'helminthosporiose.

### **3.2.2. Performance agronomique des lignées Ex-PVP et des hybrides top-cross**

Au cours de l'évaluation des lignées Ex-PVP en saison humide et en saison sèche en milieu tropical, on a constaté une diminution très significative de leur taille et de leur hauteur d'insertion de l'épi. Dans le milieu tempéré, certaines de ces lignées pouvaient atteindre 2 m de hauteur et 60 cm pour la hauteur d'insertion de l'épi. En milieu tropical, la plus grande hauteur enregistrée était de 92cm en saison humide et de 120 cm en saison sèche. En plus de cela, en saison humide, les lignées Ex-PVP ont eu des hauteurs de plante et des hauteurs d'insertion de l'épi inférieures à celles des lignées tropicales. Les mêmes résultats ont été trouvés par Adabassi (2014). Cet auteur lors de l'évaluation de trois matériaux tempérés en

milieu tropical a trouvé que les lignées tempérées avaient des hauteurs significativement plus basses ou égales à celles des lignées tropicales. Contrairement à l'évaluation en saison humide, l'évaluation en saison sèche a montré que les lignées tropicales avaient des hauteurs plus basses que celles des lignées tempérées. Ces résultats pourraient s'expliquer par le fait que l'évaluation ait eu lieu en période de froid. Les lignées tempérées étant adaptées au froid elles ont pu mieux exprimer leurs potentialités par rapport aux lignées tropicales qui sont plutôt adaptées à des températures élevées. Traoré (2016) a fait remarquer que durant la saison sèche le froid entraînait un ralentissement de la croissance de la tige chez des variétés tropicales ce qui entraînait une diminution de leur hauteur.

La chlorophylle de par sa couleur verte, est le principal pigment contenu dans les plantes. Elle se trouve dans les chloroplastes des cellules végétales. Elle est indispensable pour l'activité photosynthétique de la plante qui consiste à produire de l'énergie chimique (ATP) à partir de l'énergie lumineuse du soleil (Cere *et al.* 2014). En saison humide, les lignées tempérées Ex-PVP (SS, NSS et TA) ont obtenu de très faibles teneurs en chlorophylle. Leurs feuilles étaient sèches par endroit et n'étaient plus totalement vertes. Ces résultats pourraient être liés aux maladies foliaires auxquelles elles ont été confrontées. Ces maladies ont entraîné des brûlures et des nécroses sur les feuilles infectées causant ainsi la diminution de la chlorophylle et entraînant ainsi une baisse de l'activité photosynthétique. A cet effet, Zingua *et al.* (2016) ont trouvé que les feuilles présentant des symptômes de maladies foliaires étaient moins concentrées en chlorophylle que les feuilles saines et que lorsque la sévérité de la maladie augmentait, la perte en pigments chlorophylliens devenait de plus en plus importante.

En saison humide, plusieurs lignées tempérées ont eu une faible proportion de plantes portant au moins un épi. En saison sèche les mêmes résultats ont été obtenus avec les lignées reconduites : certaines plantes n'ont pas porté d'épis. Ces résultats pourraient s'expliquer par le fait que les lignées ont eu un problème pour s'adapter au milieu tropical. Des auteurs comme Adabassi (2014) ont noté que les lignées tempérées s'adaptent mal au milieu tropical et que cela peut jouer sur les composantes du rendement. Les épis formés sont caractérisés par de petites tailles et portent de faibles quantités de graines pour certains. D'autres épis ne portent aucun grain. Chez certaines lignées, l'émission de soie n'a pas eu lieu ou est survenue tardivement quand il n'y avait plus de pollen. Ces résultats pourraient s'expliquer par le fait que la chaleur a entraîné un stress hydrique qui a impacté négativement la floraison, la formation des graines et des épis. A cet effet, Zhang *et al.* (2008) ont montré que sous des conditions de stress hydrique, les plantes ont un Anthesis-silking-interval (ASI) plus long, des

épis maigres et courts, un nombre et un poids de grains par épi réduit, ce qui conduit à une chute de rendement.

En saison sèche, les lignées SS et les lignées NSS ont eu une floraison mâle précoce par rapport à celle des lignées tropicales. Ces résultats ne sont pas singuliers car Adabassi (2014) a également trouvé que les lignées tempérées, lorsqu'on les évalue en milieu tropical, présentent un cycle de floraison précoce. Cette précocité des lignées tempérées est due au fait que la somme de température dont elles ont besoin pour fleurir est plus faible que celle des lignées tropicales. En effet, Delmotte (2010) a décelé que la précocité d'une variété était déterminée par la somme de température dont elle a besoin. Il a également noté que la chaleur accélère l'atteinte de cette somme de température. Les températures étant plus élevées en milieu tropical, les lignées tempérées n'ont pas mis beaucoup de temps pour accumuler la quantité de chaleur nécessaire à la formation de leurs organes sexuels. Elles ont emmagasiné cette quantité plus rapidement.

L'évaluation des hybrides top-cross en saison sèche froide a révélé une certaine homogénéité en leur sein pour les variables de l'architecture. La majorité des hybrides est caractérisée par de grandes tailles et des hauteurs d'insertion de l'épi assez élevées. Pour les variables de l'architecture, les hybrides ont présenté les mêmes caractéristiques que l'hybride Komsaya.

Concernant la floraison mâle et femelle des hybrides, elles ont été allongées par le froid. Certains hybrides ont fleuri avant le témoin komssaya. Komsaya ayant un cycle précoce, ces lignées peuvent être considérées comme ayant un cycle extra-précoce. L'Anthesis-Silking-Interval (ASI) des hybrides a varié entre deux et trois jours traduisant une bonne synchronisation entre les deux floraisons.

Les hybrides top-cross sont caractérisés par un faible rendement. Cela pourrait s'expliquer par le fait qu'ils ont subi un stress causé par la chaleur pendant le remplissage des grains. A cet effet, Paliwal *et al.* (2002) ont fait remarquer que le rendement est réduit par les hautes températures après la floraison. Ce faible rendement pourrait également être lié à la population («F1»). Des auteurs comme Adabassi *et al.* (1998) ont trouvé que la F1 (50% tempérée, 50% tropicale) est généralement moins productive.

### **3.2.3. Manifestation de l'hétérosis chez les hybrides top-cross issus du croisement entre les lignées Ex-PVP et les testeurs tropicaux**

Il y a eu une manifestation de l'hétérosis chez tous les hybrides issus du croisement entre les lignées Ex-PVP et les testeurs tropicaux. Cette hétérosis s'est manifestée par un accroissement des dimensions et des quantités de feuilles. Elle s'est également traduite par une précocité des hybrides par rapport à leurs parents. En somme la combinaison avec les testeurs a abouti à une bonne vigueur hybride. Cet hétérosis est beaucoup plus élevé pour les hybrides issus du croisement entre les lignées Ex-PVP et la lignée TZEI17. Pour les hybrides issus du croisement entre les composites e-Wari et e-Espoir l'hétérosis est beaucoup plus basse. Ces résultats pourraient s'expliquer par les natures différentes des deux testeurs utilisés. Les lignées étant généralement caractérisées par de petites tailles et de petites hauteurs d'insertion de l'épi, il est normal que l'hybride résultant du croisement entre ces deux lignées ait présenté un gain supérieur à celui d'un hybride issu du croisement entre un composite et une lignée. Chez l'hybride e-Espoir×PHR58, une hétérosis nulle a été observée pour les deux floraisons.

L'hétérosis chez la majeure partie des hybrides issus du croisement entre les lignées tempérées Ex-PVP et les testeurs tropicaux s'est manifestée par des gains significatifs de précocité et de taille. Les hybrides ont été plus précoces et ont eu des hauteurs supérieures à celles de leurs parents. Pour les floraisons (FF et FM), ces gains vont de 2 à 9 jours. Ces résultats ne sont pas singuliers car Adabassi *et al.* (1998) et Sauvaire et Sanou (1989) avaient également obtenu un gain de précocité pour les floraisons mâle et femelle lors de l'introggression du matériel tempéré sur 4 populations tropicales de maïs. Les gains pour la hauteur des plantes ont atteint 43 cm et ceux pour la hauteur d'insertion de l'épi 66 cm. Ces résultats sont en contradiction avec ceux de Sauvaire et Sanou (1989) et ceux d'Adabassi *et al.* (1998), qui ont signalé une diminution de la hauteur de plantes et de la hauteur d'insertion de l'épi suite à l'introggression de matériel tempéré dans le matériel tropical. Nos résultats pourraient s'expliquer par le fait que nous nous soyons limités à la «F1».

### **3.2.4. Exploitation du maïs tempéré dans les programmes d'amélioration du maïs des zones tropicales.**

La variabilité génétique est le fondement de tout programme de sélection. Le maïs tempéré s'est révélé capable à travers des études antérieures de contribuer à la création de la variabilité génétique au sein du matériel tropical et d'apporter des gènes favorables. Des auteurs comme Adabassi (2015) ont souligné que la réduction du cycle des variétés tropicales de maïs tant

recherché pouvait être obtenue à travers des méthodes appropriées comme l'introgession du matériel tempéré. Cette réduction du cycle aboutirait à l'obtention de variétés précoces. L'utilisation de variétés précoces permettrait de réduire les effets négatifs de la sécheresse et d'obtenir deux récoltes par an dans les régions possédant deux saisons pluvieuses. L'évaluation des lignées tempérées Ex-PVP a montré que plusieurs de ces lignées ne sont pas adaptées aux conditions du milieu tropical. Cependant, certaines lignées Ex-PVP ont quand même pu faire face aux rudes conditions du milieu tropical. Les lignées tempérées adaptées ont eu un bon comportement face aux maladies. Au fil du temps, en reconduisant des essais avec les lignées Ex-PVP qui ont pu faire face aux conditions tropicales, on pourrait leur conférer l'aptitude d'adaptabilité. A l'issue de cela, ces dernières pourraient rentrer dans des combinaisons avec nos lignées tropicales pour la création d'hybrides à haut potentiel de rendement qui seront mis à la disposition des producteurs. Comme exemple, on pourrait citer l'hybride Sanem issu du croisement entre la lignée pure tropicale FBML10 et la lignée pure tempérée «adaptée» B73. Cet hybride possède un fort potentiel de rendement de 10,9 t/ha (Sanou et Dao, 2015).

## Conclusion et perspectives

Dans le but d'apporter des gènes favorables et de créer la variabilité au sein du matériel tropical, la recherche s'est proposée d'introduire du germplasm tempéré dans ce matériel tropical. Notre étude a permis d'évaluer des lignées tempérées Ex-PVP et de mettre au point des hybrides top-cross (issus du croisement entre les lignées tempérées et les lignées tropicales) qu'on a pu également évaluer.

Au terme de nos recherches il a été révélé qu'en moyenne les lignées tempérées Ex-PVP (SS et NSS) ont été sensibles à l'helminthosporiose. Cependant, face à la curvulariose et à la striure du maïs elles ont été résistantes. Leurs épis ont été caractérisés par de faibles poids. Concernant la hauteur des plantes et la hauteur d'insertion des épis, elles ont été très basses en saison humide. La teneur en chlorophylle des feuilles a été également faible. Les lignées tempérées ont été plus précoces (floraison mâle) par rapport aux lignées tropicales. Les meilleures lignées retenues au terme de l'évaluation en fonction de leur résistance aux maladies et de leur proportion de plante portant au moins un épi sont : LH127, LH213, PHB47, PHT55, 6M502, PHW52 et PHK29.

Il y'a eu une manifestation de l'hétérosis dans les croisements entre le matériel tempéré Ex-PVP et tropical. Des gains significatifs de précocité et de taille ont été observés chez la majeure partie des hybrides. Une augmentation du nombre de feuilles et du nombre de feuilles supérieures à l'épi a également été observée. Concernant le rendement, bien qu'il a été faible pour tous les hybrides, on a constaté que certains hybrides ont eu des rendements dépassant largement ceux des hybrides komsaya et bondofa. Il s'agit de : TZEI17×78004, TZEI17×F42, TZEI17×PHR47, TZEI17×PHT77 et e-ESPOIR×PHB47.

Ces résultats permettent d'avoir une première idée sur le comportement des lignées tempérées Ex-PVP au Burkina Faso. Ils constituent une base pour les programmes de recherche dans la mesure où ils leur permettront d'orienter les croisements dans le but de créer à long terme des hybrides performants et à fort potentiel de rendement. Pour cela, il serait intéressant que des études soient faites pour :

- Evaluer les lignées Ex-PVP dans plusieurs environnements et sous différents stress afin de retenir les plus performantes
- Les faire entrer en combinaison entre elles afin de créer des hybrides performants ou de nouvelles lignées.

- Utiliser les groupes hétérotiques déjà connus de ces lignées Ex-PVP et tropicales pour étudier la complémentarité entre les groupes hétérotiques.

## Références bibliographiques

1. **Acquaah G., 2007.** Principles of plant genetics and breeding. Blackwell publishing. 555 p.
2. **Adadassi J., Hervé Y. et Hainzelin E., 1998.** Effet de l'introgession de matériel Tempéré sur des populations tropicales de maïs. Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin 22:1-29.
3. **Adabassi J., 2014.** Agronomic evaluation of temperate maize populations in tropical zone. Journal of Applied Biology and Biotechnologie. Vol. 2 (03) :008-011.
4. **Adabassi J., 2015.** Maize agronomic traits needed in tropical zone. International Journal of Science, Environment and Technology, Vol. 4 (2) :371-392
5. **Aguiar A. M., Carlini-Garcia L.A., Silva A. R. D., Santos M.F., Garcia A. A. F. et Souza Jr. C. L. D., 2003.** Combining ability of inbred lines of maize and stability of their respective single crosses. Scientia Agricola, 60: 83-89
6. **Albrecht B. et Dudley J. W., 1987.** Evaluation of four maize populations containing different proportions of exotic germplasm. Crop Sci. 27:480-486.
7. **Avila G., 1985.** Using temperate germplasm in tropical maize improvement in Bolivia. In: Brandolini A. et Salamini F. (eds.) Breeding strategies for maize production improvement in the tropics. FAO/Instituto Agronomico per l'Oltremare, Firenze, Italy, pp. 133-141.
8. **Bado B. V., 1991.** Etude de l'efficacité du Burkina phosphate en riziculture. Rapport d'activité. INERA, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 42p.
9. **Bari Md. A., 2014.** Usefulness of expired proprietary (Ex-PVP) maize (*Zea mays* L.) germplasm for US northern breeding programs, 103p.
10. **Bordes J., 2006.** Création de lignées haploïdes doublées de maïs par gynogenèse induite in situ : amélioration de la méthode et intégration dans les schémas de sélection. Biologie végétale. Université Blaise Pascal- Clermont Ferrand II, 124p.
11. **Brewbaker J.L., 1974.** Continuous genetic conversions and breeding of corn in a neutral environment. In Proc. 29th Ann. Corn and Sorghum Ind. Res. Conf Washington. DC, ASTA, pp 118-133.
12. **Cere F., Burgat A. et Scotto P., 2014.** Extraction et séparation de la chlorophylle. Rapport de stage BTS anabiotech Auzeville, 9p.

13. **CIMMYT, 1985.** Managing trials and reporting data for CIMMYT's international maize testing program, Mexique, 20p
14. **Dabiré S. L. L., 2012.** Evaluation de l'aptitude au croisement des lignées de maïs extraites de la variété FBC6 créées au Burkina Faso. Mémoire de fin de cycle, Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 83p.
15. **Dao A., Sanou J., Gracen V. et Danquah Y. E., 2015.** Identifying farmers' preferences and constraints to maize production in two agro-ecological zones in Burkina Faso. *Agriculture & Food Security*, 4 (13). 7p.
16. **Darrah L.L., Zuber M.S. et Lillehoj F. B., 1987.** Yield and genetic control of aflatoxin in maize. In *Aflatoxin in maize*, M.S. Zuber. E.B. Lillehoj & B.L. Renfro, pp : 236-245.
17. **De Léon C., 1978.** Maladie du maïs, guide d'identification au champ, CIMMYT, Mexico, 114p.
18. **Delmotte A., 2010.** Bien choisir sa variété de Maïs ensilage. Chambre d'agriculture de l'Eure l'abrevoir, 35p.
19. **DGESS, 2016.** Résultats définitifs de la campagne agricole 2015/2016. 78p
20. **DGPER, 2013.** Résultats définitifs de la campagne agricole et de la situation alimentaire et nutritionnelle 2012/2013. 49p.
21. **DPSAA, 2011.** Résultats définitifs de l'enquête permanente agricole 2007/2008. 74p.
22. **Eagles H. A. et Hardacre A. K., 1990.** Genetic changes from introgression of highland mexican germplasm into a Corn Belt dent population of maize. *Theor. Appl. Genet.* 79:543-549.
23. **Efron Y., 1985.** Use of temperate and tropical germplasm for maize breeding in the tropical area of Africa. In: Brandolini A. et Salamini F. (eds.) *Breeding strategies for maize production improvement in the tropics*. FAO/Istituto Agronomico per l'Oltremare, Firenze, Italy, pp 105-131.
24. **FAO, 2011.** Statistiques agricoles. [http : // www fao.org](http://www.fao.org) 2011 Consulté le 11/02/2017
25. **FAOSTAT, 2017 :** statistiques agricoles. [www.fao.org/faostat/fr/#data/QC](http://www.fao.org/faostat/fr/#data/QC) consulté le 16 février 2017 à 14h

- 26. FAOSTAT, 2016** : statistiques agricoles. [www.fao.org/faostat/fr/#data/QC](http://www.fao.org/faostat/fr/#data/QC) consulté le 23 décembre 2016 à 8h
- 27. Fontes J. et Guinko S., 1995.** Carte de la végétation et de l'occupation du sol au Burkina Faso: Notice explicative. Ministère de la coopération Française, 67 p.
- 28. Gallais A., 2009.** Hétérosis et variétés hybrides en amélioration des plantes, 175p.
- 29. Gallais A., 2011.** Méthodes de création de variétés en amélioration des plantes, pp 117-118
- 30. Goldman I.L., 1999.** History of inbreeding and outbreeding in the development of a modern heterosis concept. In The genetics and exploitation of heterosis in crops ; J.G. Coors and S. Pandey (ed.). ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI, pp. 7-18.
- 31. Gracen V. E., 1986.** Sources of temperate maize germplasm and potential usefulness in tropical and subtropical environments. *Advances in Agronomy* 39:127-172.
- 32. Griffing B. et Lindstrom E. W., 1954.** A study of the combining abilities of corn inbreds having varying proportions of Corn Belt and non Corn Belt germplasm. *Agronomic Journal*. (46) :545-552.
- 33. Hallauer A. R., 1994.** Specialty corns. Boca Raton, FL, USA, CRC press. 496p.
- 34. Hallauer A.R. et Carena M.J., 2009.** Maize Breeding. In: Carena MJ (ed) Handbook of plant breeding: Cereals. Springer, New York, pp 3-98.
- 35. Kambiré H., Sanou J. et Sankara C., 2007.** Effets de la rotation et de l'association culturale Maïs-Pois d'Angole sur l'amélioration du rendement du maïs en zone de savane du Burkina Faso. In Demand-driven technologies for sustainable maize production in West and Central Africa. Proceeding of the fifth biennial regional maize workshop, IITA, Cotonou, Benin, pp 422-435.
- 36. Kim S.K. et Ajala S.O., 1996.** Combining ability of tropical maize germplasm in West Africa I. Open pollinated varieties. *Maydica*. 41: 127-134.
- 37. Kim S.K., 1990.** Breeding of temperate maize germplasm for tropical adaptation. Paper presented at the CIMMYT Asian Regional Maize Program Workshop, Islamabad, Pakistan, september 22-28.

- 38. Konate G. et Traore O., 1992.** Les hôtes réservoirs du virus de la striure du maïs (MSV) en zone soudano-sahélienne : identification et distribution spatio-temporelle. *Phytoprotection*, vol. 73 (3) :111-117.
- 39. Kraja A., Dudley J. W. et White D. G., 2000.** Identification of tropical and temperate maize population having favorable alleles for disease resistance. *Crop science*, 40 : 948-954.
- Kramer H. H. et Ullstrup A. J., 1959.** Preliminary evaluations of exotic maize germplasm. *Agronomic Journal*. (51) :687-689.
- 40. Krug C.A., Viegas C.P. et Paolieri L., 1954.** Híbridos comerciais de milho. *Bragantia*, 3: 357.
- 41. Memento de l'agronome, 2006.** Ministère des affaires étrangères, CIRAD- GRET : 567-582.
- 42. Mikel M.A., 2006.** Availability and analysis of proprietary dent corn inbred lines with expired U.S. plant variety protection. *Crop Science*. 46: 2555-2560.
- 43. Mikel M.A., 2008.** Genetic diversity and improvement of contemporary proprietary North American dent corn. *Crop Science*. 48: 1668-1695.
- 44. Millogo M. J., 2015.** Etude de la variabilité génétique des hybrides top-cross de maïs et de l'aptitude spécifique à la combinaison des lignées parentales créées au Burkina-Faso. Mémoire de fin de cycle, Centre Agricole Polyvalent Matroukou, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 48p.
- 45. Napolini Filho V., Gomes E Gama E. E., Vianna R. T. et Moro J. R., 1981.** General and specific combining ability for yield in a diallel cross among 18 maize populations (*Zea mays* L.). *Braz. J. Genet.*, 4: 571-577.
- 46. Nelson P.T., Coles N. D., Holland J. B., Bubeck D. M., Smith S., and Goodman M.M., 2008.** Molecular characterization of maize inbreds with expired U.S. plant variety protection. *Crop Sci*. 48:1673-1685.
- 47. Nelson P.T., Jines M. P. and Goodman M. M., 2006.** Selecting among available, elite tropical maize inbreds for use in long-term temperate breeding. *Maydica* 51:255-262.
- 48. Cornec N., 2017.** Les céréales dans le monde, en Europe et en France.

- 49. Ouedraogo S., 2004.** Impact économique de la recherche et de la vulgarisation des variétés, améliorées de maïs au Burkina Faso, Ouagadougou, Burkina Faso in Sciences sociales et humaines, Revue du CAMES - Série B, vol. 006 (1-2) : 97-107.
- 50. Paliwal R. L., Granados G., Lafitte H. R., et Violic A. D., 2002.** Le maïs en zones tropicales : amélioration et production. Collection FAO : production végétale et protection des plantes. n° 28, 382p.
- 51. Pallo P. J. F. et Sawadogo N., 2010.** Essai de corrélation entre les caractéristiques du climat, de la végétation et des sols au Burkina Faso. Int. J. Biol. Chem. Sci 4 (5) : 1839-1850.
- 52. Pollak L.M., Torres-Cardona S., Sotomayor-Rios A., 1991.** Evaluation of heterotic patterns among Caribbean and tropical × temperate maize populations. Crop Science. 31:1480-1483.
- 53. Qu, Z., Lanzhi L., Luo J., Wang P. et Yu S., 2012.** QTL mapping of combining ability and heterosis of agronomic traits in rice backcross recombinant inbred lines and hybrid crosses. PLOS ONE 7(1):e28463. doi:10.1371/journal.pone.0028463.
- 54. Renfro B. L. et Ullstrup A. J., 1976.** A comparison of maize diseases in temperate and in tropical environments. 10p.
- 55. Sanou J. et Dao A., 2015.** Fiche technique de production de sanem. Laboratoire de génétique et amélioration variétale du maïs, CNRST/INERA/FT/2015-108. Programme céréales, DRREA de l'Ouest, 6p.
- 56. Sanou J., 2003.** Programme d'activités de recherches 2003. Génétique et amélioration du maïs (zone ouest et centre du Burkina Faso).INERA/Ouagadougou, Burkina Faso, 10p.
- 57. Sauvaire D. et Sanou J., 1989.** Un exemple d'introgession de génotypes tempérés dans le matériel tropical chez le maïs. L'Agron. Trop. 44:197-201
- 58. Sprague G.F., 1971.** Genetic vulnerability in corn and sorghum. Corn Sorghum Res. Conf. Proc. 26:96-104
- 59. Sprague G.F., Tatum L.A., 1942.** General vs. specific combining ability in single crosses of corn. Agron. J. 34: 923-932
- 60. Taba S. et Twumasi-afriyie S., 2008.** Directives pour la régénération : maïs. 11p.
- 61. Tracy W.F. et Chandler M. A., 2006.** The historical and biological basis of the concept of heterotic patterns in corn belt dent maize. In Plant breeding: Arnel R Hallauer international

symposium. K. R. Lamkey and M. Lee (ed.) Blackwell Publishing, Oxen England, pp. 219-233.

**62. Traoré G. S. 2016.** Analyse de l'adaptation du maïs (*Zea mays* L.) à la culture en saison sèche froide au Burkina-Faso. Mémoire de fin de cycle, Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. 50p.

**63. Wellhausen E.J., 1978.** Recent developments in maize breeding in the tropics. In Maize breeding and genetics. D.B. Walden New York. NY, USA, J. Wiley & Sons. Pp 59-84.

**64. Wu Y., San Vicente F., Dhliwayo T., Costich D. E., Semagn K., Sudha N., Olsen M., Prasanna B.M., Zhang X. et Babu R., 2016.** Molecular caractérisation of CIMMYT maize inbred lines with genotyping-by-sequencing SNPs, pp753-765

**65. Zhang W., Zhao Z., Bai G. et Fu F., 2008.** Study and evaluation of drought resistance of different genotype maize inbred lines. Front. Agric. China 2: 428-434.

**66. Zingua I., Longue R. D., Komba E. K., Beaumont C. et Semballa S., 2016.** Evaluation de la teneur en protéines et en chlorophylle dans des feuilles de cinq variétés locales de manioc infectés par la mosaïque en république Centrafricaine. Tropicultura 34, 1, 3-9

**67. Zuber, M.S., 1975.** Corn germplasm base in the U.S. - Is it narrowing, widening, or static? Corn Sorghum Res. Conf. Proc. 30:277-286.