

BURKINA FASO

Unité- Progrès- Justice

---

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR, DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE ET DE L'INNOVATION

---

UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE BOBO-DIOULASSO

---

INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL



MEMOIRE DE FIN DE CYCLE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur du développement rural

Option : Agronomie

**THEME**

Analyse de l'adaptation du maïs (*Zea mays L.*) à la culture en saison  
sèche froide au Burkina Faso

TRAORE Ga-Djougagan Salimata

Directeur de mémoire : Dr SANGARE Sheick Khalil

Maître de stage : Dr DAO Abdalla

Co-Maître de stage : Dr SANOU Jacob

N°: ....2015/Agronomie

Juin 2016

**BURKINA FASO**

**Unité- Progrès- Justice**

-----

**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR, DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE ET DE L'INNOVATION**

-----

**UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE BOBO-DIOULASSO**

-----

**INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL**



**MEMOIRE DE FIN DE CYCLE**

**Présenté en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur du développement rural**

**Option : Agronomie**

**THEME**

**Analyse de l'adaptation du maïs (*Zea mays L.*) à la culture en saison  
sèche froide au Burkina Faso**

**TRAORE Ga-Djougagan Salimata**

**Directeur de mémoire : Dr SANGARE Sheick Khalil**

**Maître de stage : Dr DAO Abdalla**

**Co-Maître de stage : Dr SANOU Jacob**

**N°: ....2015/Agronomie**

**Juin 2016**

## Table des matières

Dédicace.....	III
Remerciement.....	IV
Sigles et abréviations .....	V
Liste des figures.....	VI
Liste des tableaux .....	VII
Résumé.....	VIII
Introduction.....	1
Chapitre I : Synthèse bibliographique.....	3
I. Caractéristiques climatiques .....	3
II. Culture du maïs au Burkina Faso .....	4
2.1. Evolution de la production du maïs.....	4
2.2. Types de production .....	4
2.3. Niveaux d'intensification.....	5
2.4. Contraintes de la culture du maïs .....	5
III. Effet du froid sur les paramètres du maïs .....	6
3.1. Impact du froid sur la phénologie du maïs.....	6
3.2. Impact du froid sur la productivité .....	9
3.3. Etape de récupération .....	9
Chapitre II : Matériel et Méthodes.....	10
I. Zone d'étude .....	10
II. Caractérisation du climat de la station de recherche de Farako-Bâ.....	10
III. Evaluation des variétés de maïs au champ.....	11
3.1. Matériel végétal .....	11
3.2. Dispositif.....	12
3.3. Conduite de l'essai.....	12
3.4. Variables étudiées.....	13
IV. Evaluation des variétés de maïs pendant le stade juvénile .....	14
4.1. Dispositif expérimental.....	14
4.2. Méthodes.....	14
4.3. Variables étudiées.....	14
V. Analyse des données .....	15
Chapitre III : Résultats et discussion .....	17



I. Expérimentation au champ.....	17
I.1. Résultats de l'expérimentation au champ.....	17
1.1. Caractérisation du climat au cours de l'expérimentation au champ .....	17
1.2. Analyse de variance .....	18
1.3. Effet du froid de la saison sèche sur les caractères morphologiques .....	24
a. Cycle semis-floraison .....	24
b. Hauteur des plantes.....	25
c. Paramètres foliaires .....	25
d. Architecture paniculaire.....	26
e. Poids des épis.....	27
1.4. Identification des variétés tolérantes au froid.....	27
1.5. Performance agronomique et tolérance au froid.....	29
I.2. Discussion .....	31
I.3. Conclusion partielle .....	33
II. Expérimentation pendant le stade juvénile .....	34
II.1. Résultats de l'expérimentation pendant le stade juvénile .....	34
2.1.1. Caractérisation du climat au cours de l'expérimentation pendant le stade juvénile .....	34
a. Température ambiante .....	34
b. Evolution de la température dans les pots .....	34
2.1.2. Effet du froid sur les paramètres morphologiques et racinaires du maïs au stade juvénile .....	36
a. Levée .....	39
b. Paramètres foliaires .....	40
c. Hauteur des plantes.....	42
d. Biomasse aérienne et racinaire.....	43
e. Intensité de l'effet de la saison sur les paramètres mesurés.....	44
2.1.3. Identification des variétés tolérantes au froid .....	44
II.2. Discussion .....	45
II.3. Conclusion partielle.....	46
Conclusion et perspective .....	47
Références bibliographiques .....	49
Annexe .....	i

## **Dédicace**

*Je dédie ce mémoire*

*A l'Omnipotent, le Détenteur de la vérité*

*A ma grande mère Korotimi et à ma chère tante Awa, qu'elles reposent en paix!*



## Remerciement

Les bonnes œuvres sont élaborées lorsque des personnes de bonne volonté décident de conjuguer leurs efforts. Grâce à ces personnes, le stage de 10 mois à l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA) au programme Céréales Traditionnelles/section maïs-blé a été pour nous une expérience fructueuse. C'est pourquoi Il nous est impératif d'adresser nos remerciements à :

**Dr SANOU Jacob**, Directeur régional du DRREA-O et notre Co-maître de stage pour nous avoir accordé ce stage à l'INERA et son entière disponibilité pour la réalisation de ce document.

**Dr DAO Abdalla**, notre maître de stage qui malgré ses lourdes responsabilités a su nous inculquer la théorie et la pratique pour faire de nous des sélectionneurs potentiels. De par votre simplicité, votre souci du travail bien fait vous avez été pour nous un mentor tout le long de ce stage.

**Dr SANGARE Sheick Khalil**, notre Directeur de mémoire pour ses conseils, ses encouragements et surtout sa rigueur scientifique qui nous a été très bénéfique.

L'ensemble du **corps professoral de l'IDR**, pour son encadrement technique et scientifique au cours de notre formation.

**INERA/CNS-FL**, pour nous avoir épaulé en nous octroyant une bourse de stage à travers le Programme de Productivité Agricole en Afrique de l'Ouest (PPAAO/WAAPP).

**Dr OUEDRAOGO Issoufou** qui n'a ménagé aucun effort devant nos sollicitations.

Toute l'équipe de la section AP/Maïs, notamment **M. PARE Pascal**, **Mme SIB/ KABORE Jeanne**, **M. SANDWIDI Raymond** et **M. OUEDRAOGO Nofou** pour tous les services et conseils pour la conduite de l'expérimentation.

Ma famille, particulièrement ma mère et mon père qui ont toujours su m'apporter conseil et réconfort dans toutes mes entreprises. Puissent-ils trouver ici l'expression de la reconnaissance et l'amour que leur fille nourrit pour eux.

Mes amis, camarades de classe et collègues stagiaires, je vous adresse mes sincères remerciements pour votre patience, votre compréhension et vos soutiens multiformes. Puisse ALLAH, le Clairvoyant vous accorder un pouvoir bénéficiant de son secours.

Que ceux dont les noms n'ont pu être cités trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

## **Sigles et abréviations**

**CPSA** : Comité de Prévision de la Situation Alimentaire et Nutritionnelle

**CNS-FL** : Centre National de Spécialisation en Fruits et Légumes

**ELN** : Extraction de Lignée Normale

**FAO** : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

**FBC6** : Farako-Bâ Maïs Composite n°6

**FBML10** : Farako-Bâ Maïs Lignée n°10

**FBMS1** : Farako-Bâ Maïs Sucré n°1

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

**KEB** : Kamboinsé Extra Précoce Blanc

**KPB** : Kamboinsé Extra Précoce Blanc

**KPJ** : Kamboinsé Précoce Jaune

**SR21** : Streak Resistance n° 21

**SR22** : Streak Resistance n°22

**RGA** : Rapport du Recensement Général de l'Agriculture

**SPAAA** : Suivi des Politiques Agricoles et Alimentaires en Afrique

## Liste des figures

<b>Figure 1</b> : Zones climatiques du Burkina Faso .....	4
<b>Figure 2</b> : Pluviosité et température moyenne mensuelles de Farako-Bâ de 1985 à 2015 .....	10
<b>Figure 3</b> : Evolution de la température et de la pluviosité au cours de l'expérimentation au champ ...	17
<b>Figure 5</b> : Evolution de la température dans la serre de la saison humide à la saison sèche froide .....	34
<b>Figure 6</b> : Evolution de la température dans les pots de la saison humide à la saison sèche froide.....	35
<b>Figure 7</b> : Vitesse moyenne de germination en fonction de la saison et de la variété .....	39
<b>Figure 8</b> : Courbes d'évolution du nombre de feuilles par saison et par variété.....	40
<b>Figure 11</b> : Croissance en hauteur.....	42
<b>Figure 12</b> : Biomasse sèche aérienne et racinaire au 15 <sup>e</sup> et 30 <sup>e</sup> JAS.....	43

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Besoins moyens en somme de températures (base 6) en degré jour pour atteindre 30% de matière sèche.....	8
Tableau 2 : Liste du matériel génétique .....	11
Tableau 3 : Classification des variétés en fonction de l'indice de réponse au froid selon le modèle de Chaturika et al. (2014) .....	16
Tableau 4: Analyse de variance des variétés à cycle extraprécoce et précoce .....	19
Tableau 5: Analyse de variance pour les variétés à cycle intermédiaire.....	20
Tableau 6 : Analyse de variance pour les variétés hybrides.....	21
Tableau 7 : Analyse de la variance pour les variétés lignées .....	23
Tableau 9: Effet du froid sur les hauteurs du maïs .....	25
Tableau 10: Intensité du froid sur les paramètres foliaires.....	26
Tableau 11 : Effet du froid sur l'architecture de la panicule .....	26
Tableau 12: Effet du froid sur le poids des épis .....	27
Tableau 13 : Classification des variétés extraprécoce et précoce en fonction de l'indice de réponse au froid.....	27
Tableau 14 : Classification des variétés à cycle intermédiaire en fonction de l'indice de réponse au froid.....	28
Tableau 15 : Classification des variétés hybrides en fonction de l'indice de réponse au froid .....	28
Tableau 16 : Classification des variétés lignées par rapport à l'indice de réponse au froid.....	28
Tableau 17 : Performance agronomique et tolérance au froid des variétés à cycle extraprécoce et précoce.....	29
Tableau 19 : Performance agronomique et tolérance au froid des variétés hybrides.....	30
Tableau 20 : Analyse de variance.....	38
Tableau 21 : Comparaison des moyennes .....	39
Tableau 22 : Phyllochrone des variétés en fonction des saisons de cultures.....	42
Tableau 24 : Classification des variétés en fonction de l'indice de réponse au froid au stade juvénile.....	44

## Résumé

La disponibilité et l'accessibilité du maïs durant l'année requièrent le développement de stratégie pour permettre sa culture en toute saison au Burkina Faso. C'est dans cette optique que notre étude a envisagé l'analyse de l'adaptation de ces variétés à la culture en saison sèche froide.

Spécifiquement, elle avait pour objectif d'identifier les paramètres morphologiques et agronomiques des variétés de maïs affectées par le climat de la saison sèche froide et d'identifier les variétés tolérantes aux basses températures de la saison sèche.

L'expérimentation a été conduite sur le site de la station expérimentale de Farako-Bâ pendant la saison humide de juin à octobre 2015 et la saison sèche froide de novembre 2015 à mars 2016. Cinq (5) lignées, 2 hybrides et leurs parents, 5 variétés composites de cycle intermédiaire et 6 variétés composites de cycle extraprécoce et précoce ont été concernées. Le dispositif utilisé était un bloc Fisher pour les essais au champ et un dispositif complètement randomisé pour les essais en pot.

L'analyse de variance a révélé que la levée, la vitesse d'initiation et le nombre total des feuilles, les floraisons, le synchronisme des floraisons, le nombre de ramifications primaires, le poids des épis, la croissance en hauteur ainsi que la biomasse aérienne et racinaire ont été affectés par le froid. La valeur moyenne des paramètres tels que les floraisons mâle (FM) et femelle (FF), et leur écart (ASI) ont connu une augmentation en saison sèche froide allant 5 % de à 226 %. Par contre pour la plupart des autres caractères dont le poids des épis, la hauteur de la plante et d'insertion de l'épi, les dimensions de la feuille, etc il y a eu une réduction de la valeur moyenne en saison sèche froide qui a varié de 3,21% à 65,25%.

Sur la base des paramètres agromorphologiques, les variétés hybrides et les variétés de cycles extraprécoce et précoce semblent être moins influencées par le froid de la saison sèche. Par contre, les variétés lignées qui ont été les plus influencées. L'indice de réponse au froid a identifié que FBC6 a été la plus tolérante à l'effet du froid tandis que B73, SR22, Espoir, Wari et Bondofa ont manifesté une tolérance modérée.

Ces résultats vont constituer une base pour la mise au point de variétés performantes et adaptées à toute saison de culture.

**Mots clés :** maïs, Burkina Faso, lignée, hybride, froid.

## Summary

Accessibility and availability of corn during the year requires the development of strategies to allow its cultivation in all growing seasons in Burkina Faso. It is in this optic that our study considered the analysis of the adaptation of these varieties under cold dry season.

Specifically, it intended to identify morphological and agronomic traits of corn varieties affected by the climate of the cold dry season and to identify varieties tolerant to low temperatures of the dry season.

The experiment was conducted in the experimental station of Farako-Ba during the wet season from June to October 2015 and the cold dry season from November 2015 to March 2016. Five inbred lines, two hybrids and their parents, five intermediate maturity composites varieties and six extra-early and early maturity composites varieties were concerned. The experimental design used was a randomized complete block design (RCBD) for field trials and a complete randomization design (CRD) for pot trials.

The analysis of variance, the rate of change and the cold response index have found that plant emergence, leaf appearance rate, total number of leaves, days to flowering, anthesis-silking interval, number primary branch, weight of ears, growth and, plant and root biomass were affected by the cold. The average value of traits like anthesis and silking days, anthesis-silking interval (ASI) was increased in cold dry season from 5% to 226%. On the contrary most of the others traits including ear weight, plant and ear heights, leaves dimension, etc, there were a reduction of the average value in cold dry season which varied from 3,21% to 65,25%.

On the basis of the agro-morphological parameters hybrids, extra-early and early maturity composites varieties as most cold tolerant varieties seem to be less influenced by the cold weather of the dry season. On the other hand, the lined varieties that were the more influenced. The cold response index identified the FBC6 as the most cold tolerant variety. B73, SR22, Espoir and Bondofa showed a moderate tolerance.

These results provide a basis for the development of efficient varieties adapted to all growing season.

Key words: corn, Burkina Faso, inbred line, hybrid, cold.

## Introduction

Le maïs est une céréale très importante 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). Par ailleurs, depuis plus d'une décennie déjà, le maïs est utilisé pour la production de bioéthanol.

Afin de satisfaire cette demande de plus en plus grandissante, le maïs est cultivé dans des conditions très variées allant du climat tropical au climat tempéré, depuis le niveau de la mer jusqu'à 3000 mètres d'altitude.

Les résultats du Rapport du Recensement Général de l'Agriculture (RGA, 2010) révèlent qu'au Burkina Faso, les revenus générés par le maïs s'élèvent à environ 12,8 milliards de Francs CFA par an. Ce record fait du maïs l'une des céréales les plus pourvoyeuses de revenus en plus d'être à la base de l'alimentation (RGA, 2010). Il constitue également la 3ème spéculation céréalière après le mil et le sorgho.

La culture du maïs se pratique dans chacune des 13 régions du pays avec de fortes disparités régionales et chaque année la superficie qui lui est allouée ne cesse d'augmenter. Il convient de signaler que, dans certaines régions, en plus de la production d'hivernage, le maïs est aussi produit en saison sèche (CPSA, 2014).

En dépit de ces progrès, il a été donné de constater que l'évolution de la production du maïs est de plus en plus irrégulière et cela à cause surtout de l'incertitude des facteurs climatiques. En effet depuis l'année 2000 des poches de sécheresse et des inondations sont observées soit au début soit en milieu de la saison hivernale. Ces événements hydro climatiques extrêmes ont provoqué des pertes évaluées à plus de 4 418 361 000 CFA entre 2000 et 2008 (Sedogo, 2007). Il pourrait donc en résulter des crises alimentaires de plus en plus grandes et fréquentes, avec des répercussions graves sur l'économie du pays, sur le milieu naturel et surtout sur les populations rurales ne disposant pas d'autres sources de revenu.

Au regard aux menaces mentionnées ci-dessus, le renforcement des capacités d'adaptation à la variabilité climatique s'impose d'ores et déjà comme une nécessité

impérieuse. L'exceptionnel potentiel génétique du maïs a déjà permis de mettre au point des variétés à cycle extraprécoce, précoce et intermédiaire. La réduction du cycle de maturité devrait permettre d'échelonner la production dans l'année, c'est-à-dire la période pluvieuse, la période sèche froide et la période sèche chaude afin de pallier le déficit de la production durant la campagne pluvieuse. A cet effet, il convient d'étudier les paramètres d'adaptation en ces saisons de culture afin de proposer des variétés adaptées.

C'est dans cette optique que s'inscrit notre travail intitulé : « Analyse de l'adaptation du maïs à la culture en saison sèche froide ». Nous visons à travers celui-ci à contribuer à la promotion de l'intensification de la culture du maïs en toute saison pour accroître sa disponibilité et son accessibilité facile en tout temps.

Spécifiquement, cette étude a pour objectifs de :

- ✓ déterminer l'effet du climat de la saison sèche froide sur le développement des paramètres morphologiques, agronomiques des variétés du maïs ;
- ✓ évaluer l'effet du climat de la saison sèche froide sur les variétés extraprécoces et précoces, les variétés intermédiaires, les hybrides et leurs parents, et les lignes ;
- ✓ identifier les variétés tolérantes aux basses températures de la saison sèche.

Les hypothèses considérées pour la réalisation de notre étude sont :

- ✓ le climat de la saison sèche froide agit sur le développement des paramètres morphologiques et agronomiques des variétés du maïs ;
- ✓ les catégories de variétés de maïs sont influencées différemment par le climat de la saison sèche froide ;
- ✓ il existe des variétés de maïs qui tolèrent les basses températures de la saison sèche du Burkina Faso.

Afin de mieux appréhender cette problématique, ce document est réparti en trois chapitres :

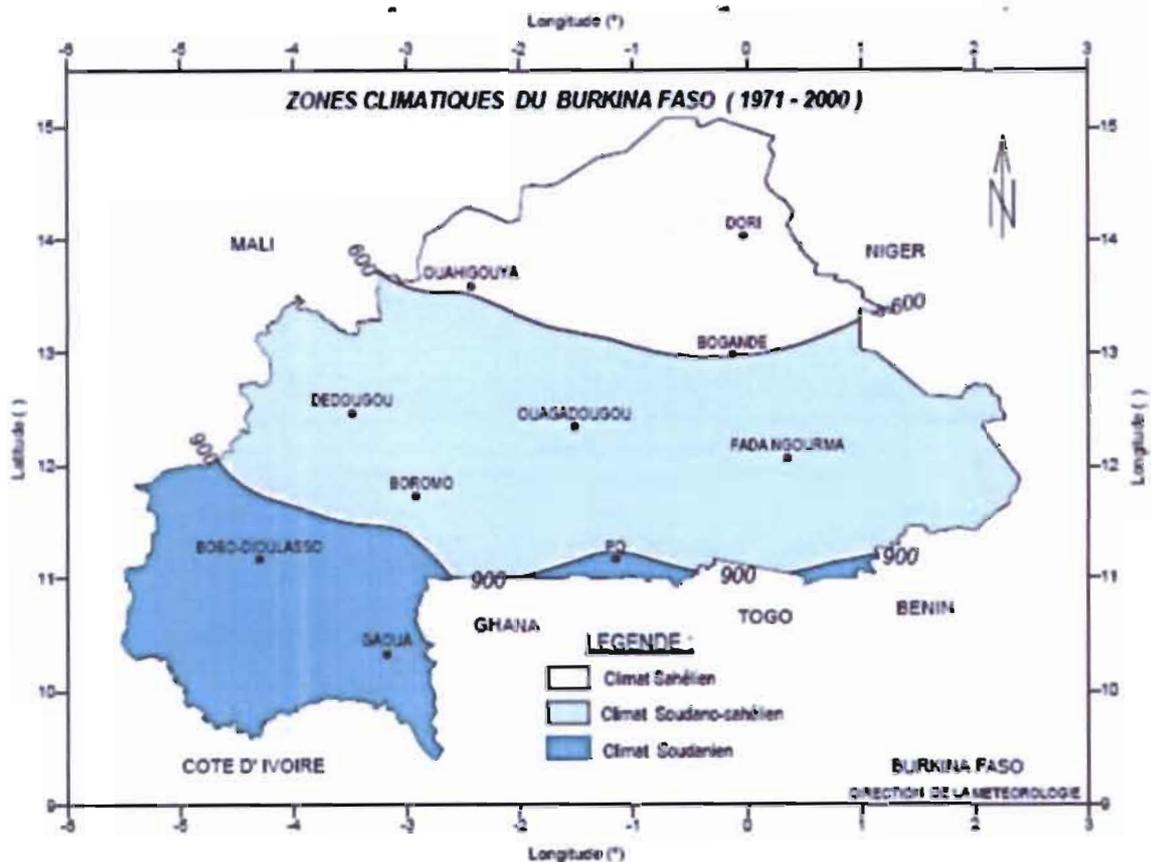
- ✓ le premier chapitre aborde à la synthèse bibliographique ;
- ✓ le deuxième chapitre présente le matériel et les méthodes utilisés pendant notre étude ;
- ✓ le troisième chapitre porte sur les résultats et la discussion.

## **Chapitre I : Synthèse bibliographique**

### **I. Caractéristiques climatiques**

Du fait de sa position géographique, son climat est de type tropical à dominance soudano-sahélienne, caractérisé par l'alternance entre une courte saison de pluies de juin à octobre et une longue saison sèche de novembre à mai pendant laquelle souffle l'harmattan. La température varie de 16 °C à 45 °C ; l'évaporation moyenne annuelle est estimée à 3 000 mm et la recharge annuelle de la nappe souterraine à 40 mm (Boubacar, 2013). L'enclavement du pays et sa position à la lisière du Sahara prédisposent les éléments du climat à une forte variabilité.

En fonction de la pluviométrie, on distingue traditionnellement trois zones climatiques qui sont : la zone sahélienne au nord avec une pluviométrie moyenne annuelle inférieure à 600 mm, la zone nord-soudanienne au centre avec une pluviométrie moyenne annuelle comprise entre 600 et 900 mm et la zone sud-soudanienne au sud avec une pluviométrie moyenne annuelle supérieure à 900 mm (Sedogo, 2007). L'essentiel des ressources en eau du Burkina Faso est apporté par la pluviométrie dont le cumul annuel diminue du sud vers le nord avec un gradient de l'ordre de 1 mm/km/an (Boubacar, 2013). Ces eaux de pluie sont retenues dans deux types de réservoirs, à savoir le réservoir de surface et le réservoir souterrain ; le reste se déverse vers l'océan (Boubacar, 2013).



Source : PANA 2007

Figure 1 : Zones climatiques du Burkina Faso

## II. Culture du maïs au Burkina Faso

### 2.1. Evolution de la production du maïs

De 1985 à nos jours, les quantités de maïs produites sont passées de 9 % à plus de 17% de la production céréalière totale du pays (CPSA, 2014). En effet, la campagne agricole de 2013/2014 a enregistré une production de maïs de 1 585 418 tonnes, soit une hausse de 39,7% par rapport à la moyenne quinquennale qui est de 1134948 tonnes. Cette évolution est due à une augmentation de 29% des superficies emblavées (CPSA, 2014).

### 2.2. Types de production

Malgré la variabilité des pluies, le maïs pluvial occupe une grande place avec une production de 1 564 384 tonnes (CPSA, 2014). Les principales régions à forte proportion de ménages agricoles producteurs de maïs en saison pluvieuse sont le sud-ouest (93,3 % de la population), l'est (91,7 %), le centre-nord (89,2 %), les Cascades (89,2 %). S'agissant du maïs irrigué, il est produit sur les mêmes sites que le riz principalement dans les régions des

Cascades, du Centre-nord et des Hauts-Bassins (SPAAA, 2012) avec un rendement de 3.7 tonnes à l'hectare pendant la campagne 2013/2014 (CPSA, 2014).

### **2.3. Niveaux d'intensification**

En fonction de la technicité et l'adoption des résultats de la recherche agronomique (Sanou, 1996), il existe trois principaux niveaux d'intensification au Burkina Faso qui sont :

**Niveau 1** : il désigne une forme d'agriculture dite traditionnelle caractérisée par la quasi-absence d'amélioration foncière, le faible ou l'absence d'emplois d'intrants. L'objectif de ce niveau est généralement l'autoconsommation. Ce sont les variétés rustiques qui s'adaptent le mieux à ce niveau. Le rendement est de l'ordre de 2 à 3 tonnes/ha.

**Niveau 2** : cette agriculture dite améliorée ou semi-intensive est en voie d'intensification. Elle est à cheval entre l'agriculture traditionnelle et celle dite intensive. Elle est caractérisée par l'utilisation des itinéraires techniques proposés par la recherche. L'objectif recherché est la vente de l'excédent de production après y avoir prélevé la part pour l'autoconsommation. Les rendements moyens varient entre 3,5 et 4,5 tonnes/ha.

**Niveau 3** : à ce niveau, l'agriculteur veille à la bonne maîtrise du milieu et à la bonne application des techniques de culture. Tous les facteurs de production (eau, fertilisants, semences et produits phytosanitaires) sont utilisés de façon optimale dans l'optique majeure de vendre sa future production. L'accent est surtout mis sur les variétés à haut potentiel de rendement (par exemple Komsaya avec 8 à 9 tonnes /ha).

### **2.4. Contraintes de la culture du maïs**

La production du maïs au Burkina Faso est limitée par une multitude de facteurs interdépendants, l'intensité de la contribution de chaque facteur varie selon les régions (Dao *et al.* 2015). Les contraintes sont d'ordre abiotique et biotique. Parmi les contraintes abiotiques, il y a l'insuffisance, l'irrégularité et la mauvaise répartition des pluies et la faible fertilité des sols. Les contraintes biotiques concernent l'abondance des mauvaises herbes (particulièrement le Striga) et les maladies telles que la striure, l'helminthosporiose, la curvulariose et la rouille. A ces deux types de contraintes, on peut aussi ajouter la pauvreté des producteurs et le manque d'accompagnement réel des services de vulgarisation pour l'appui-conseil.

### **III. Effet du froid sur les paramètres du maïs**

Plusieurs facteurs climatiques tels que la température, le vent, l'humidité et la lumière influencent le développement du maïs. Parmi ces facteurs, la température est la plus importante. En effet, la température de 15 °C est fréquemment considérée comme le seuil en deçà duquel la plante de maïs se trouve en conditions de stress, c'est-à-dire dans un état physiologique qui réduit les performances de fonctions vitales (Leipner *et al.*, 2009). L'ampleur de la réduction de la performance varie en fonction du stade de développement auquel survient le froid, de la durée, de la sévérité du froid et du génotype. Le froid modifie la phénologie et la productivité générale du maïs (LGBP, 2013).

#### **3.1. Impact du froid sur la phénologie du maïs**

##### **➤ Levée**

La germination du maïs nécessite une quantité de chaleur de 80 degrés jour sous une température minimale de 6 °C (Delmotte, 2010). Ce stade précoce est très sensible au froid (Parent *et al.*, 2010) qui peut compromettre l'activation des processus photosynthétiques, le métabolisme général, le fonctionnement des méristèmes et entraîner la mort de la plantule. La température critique est alors celle du sol plutôt que celle de l'air. Jusqu'au stade cinq (5) feuilles, la plantule de maïs présente en effet un port caractéristique en rosette, de sorte que le méristème de tige se trouve juste sous la surface du sol. Le ralentissement de la croissance des plantules exposées au froid est à la fonctionnalité et à la croissance diminuée des racines, de la tige et des feuilles. Des plantules présentant une racine primaire plus longue et ramifiée conservent de meilleures performances photosynthétiques au froid (Hund *et al.*, 2007). Le ralentissement de croissance des racines limite l'acquisition des éléments minéraux, ce qui peut occasionner des carences minérales et le flétrissement des feuilles (Engels, 1994). Des chloroses ou des nécroses peuvent aussi être observées suite à un stress oxydatif dans les feuilles. Leipner *et al.* (2009) ont constaté que ce stress précoce n'empêchera pas le développement de la plantule si le froid est modéré et transitoire. L'impact sur la biomasse finale sera négligeable grâce à l'installation d'un mécanisme de compensation lors des étapes ultérieures du développement.

##### **➤ Phase végétative**

La croissance du maïs à basse température semble être plus limitée par une diminution de l'élongation et de la division cellulaire que par la photosynthèse (Parent *et al.*, 2010). En effet, la diminution de la température du sol inhibe ou ralentit la croissance et la perméabilité du système racinaire ainsi que le développement des régions méristématiques qui se trouvent

au premier centimètre du sol entraînant le ralentissement de la vitesse d'initiation des feuilles et la croissance des pseudo tiges. Ces impacts réduisent l'absorption de l'eau et d'éléments minéraux par les racines, ce qui donne une couleur violette aux jeunes plantes et un jaunissement des feuilles provoquant une carence minérale, une réduction du potentiel hydrique et la fermeture des stomates afin de pallier l'état de stress hydrique. La respiration et le taux de photosynthèse sont par conséquent limités (Engels, 1994).

### **Phyllochrone**

Le phyllochrone désigne le temps thermique qui s'écoule entre l'apparition de deux ébauches foliaires successives. En effet il correspond à l'inverse de la pente de la droite d'évolution du nombre de feuilles en fonction de la somme des températures exprimée en degré jour, permettant ainsi d'apprécier la vitesse de la croissance et de stimuler des modèles de croissance des feuilles et de dates de floraison. Plus il est grand moins la croissance est rapide (Saeid, 2011). En plus du taux d'azote et du matériel génétique, le climat est la principale source de la variation du phyllochrone (Mohamed *et al.*, 2013).

### **Croissance de la feuille**

L'effet du froid sur la croissance des feuilles varie selon le stade auquel il survient (Leipner *et al.*, 2009). Au stade primordial, la croissance de la feuille est homogène, toutes les cellules étant mitotiquement actives. L'élongation de la feuille se déroule dans les 80 mm de sa base, avec une zone d'activité maximale à 35 mm. Le taux d'élongation d'une feuille apparaît donc exponentiel lorsque sa taille est inférieure à 80 mm et linéaire une fois que cette zone d'élongation est formée. En effet, si le froid survient pendant la phase exponentielle de croissance, celle-ci est fortement ralentie pendant le stress, mais la durée de la phase linéaire qui suit est allongée, de sorte que la taille finale de la feuille ne soit pas réduite. Cet effet de compensation dépend de la taille du cornet foliaire qui semble jouer un rôle « tampon ». Par contre, si la feuille est dans sa phase linéaire de croissance lorsqu'elle perçoit le froid, la durée de cette phase diminue et la taille finale est irréversiblement réduite (Louarn *et al.*, 2010).

### **Croissance de la tige**

Durant sa phase végétative, le méristème de tige se trouve juste sous la surface du sol. Le ralentissement de la croissance des plantules exposées au froid est dû à la fois à la fonctionnalité diminuée des racines et du méristème de la tige. En effet, lorsque seules les racines sont exposées au froid, le ralentissement de croissance est nettement plus faible que si la zone comprenant le méristème de tige est exposée à la même température (Engels, 1994).

### ➤ Transition florale

La transition florale est une étape critique dans le cycle de vie d'une plante. Elle marque le passage de la phase végétative vers la phase reproductive et détermine la date de floraison (Durand, 2011). C'est à cette phase que la plante initie sa panicule et son dernier bourgeon axillaire qui donnera l'épi, une étape au cours de laquelle elle ne supporte aucun stress. La photopériode et la température peuvent accélérer le processus. En l'occurrence, des jours courts ou températures sous-optimales (de l'ordre de 15 °C) réduisent le nombre final de feuilles et font survenir la floraison à un âge physiologique plus précoce. Le froid peut également selon les génotypes, diminuer le nombre de ramifications de la panicule (Bechoux *et al.*, 2000) et induire l'avortement de l'épi primaire remplacé par une languette foliacée. Par contre Delmotte (2010) estime qu'en période de froid la floraison commence tardivement et les grains de pollen sont peu viables ce qui provoque l'avortement des épis et la baisse du rendement. Selon l'auteur, cela s'explique par le fait que la plante met plus de temps à accumuler la somme de températures nécessaire à ce stade phénologique qui varie en fonction du type de variété. En effet la précocité d'une variété est déterminée par la somme de températures dont elle a besoin pour boucler son cycle. Le temps nécessaire pour atteindre ces sommes de températures dépend du climat. Il sera moins long en période chaude.

**Tableau 1** : Besoins moyens en somme de températures (base 6) en degré jour pour atteindre 30% de matière sèche.

Groupe de précocité	Semis-floraison	Floraison récolte	Total
Très précoces	750-800	500-600	1250-1400
Précoces	800-850	550-600	1400-1450
Demi précoces	850-900	600-650	1450-1500
Demi tardifs	900-950	600-650	1500-1550
Tardifs	950-1000	600-650	1550-1650
Très tardifs	1000-1050	650-700	1650-1750

Source : Delmotte, (2010)

### **3.2. Impact du froid sur la productivité**

#### **➤ Production de biomasse**

Selon le stade auquel il survient, le froid peut provoquer une réduction de la biomasse totale de la plante de maïs, en limitant principalement la biomasse aérienne (Louarn *et al.*, 2010). En conséquence, la surface d'interception lumineuse et l'élongation de la tige sont limitées. La biomasse racinaire est également affectée ce qui réduit l'absorption et le transit d'éléments minéraux (Hund *et al.*, 2007). Cela amplifie encore l'effet néfaste du froid sur la production de biomasse.

#### **➤ Photosynthèse**

Les plantes au métabolisme C4 comme le maïs sont surtout des plantes qui poussent sous des climats chauds et arides. La température optimale pour l'assimilation photosynthétique du CO<sub>2</sub> chez le maïs se situe entre 30 °C et 40 °C. Elles fixent plus de CO<sub>2</sub> et ont peu de photorespiration, ce qui optimise le rendement photosynthétique. Le froid abaisse la fluidité des membranes cellulaires réduisant l'assimilation du CO<sub>2</sub> (LGBP, 2013) et l'efficacité de conversion de la radiation interceptée en biomasse (foliaire et racinaire) ou "Radiation Use Efficiency" (RUE). Le froid occasionne également l'accumulation de pigments non photosynthétiques qui font office de filtre pour les photosystèmes en excès d'énergie ; il s'agit d'anthocyanes vacuolaires qui provoquent le rougissement des feuilles (Pietrini *et al.*, 2002). Le froid restreint également les échanges entre les cellules du mésophylle et celles de la gaine périvasculaire qui sont indispensables au métabolisme C4. Ceci pourrait être dû à la fermeture ou à l'obstruction des plasmodesmes par un polysaccharide (la callose) et par une protéine (la calréticuline) (Hund *et al.*, 2007). Des génotypes qui ont davantage de plasmodesmes entre les cellules de la gaine périvasculaire et les cellules du mésophylle sont ainsi plus tolérants au froid.

### **3.3. Etape de récupération**

Lorsque le froid est modéré (10-15°C) et transitoire, la biomasse finale est peu affectée. Effectivement, pendant les stades ultérieurs du développement la régulation ultérieure de l'ouverture des stomates, la dissipation plus rapide de l'énergie et de l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par les racines permettent la reprise partielle ou totale de la photosynthèse selon les génotypes (Louarn *et al.*, 2010).

## Chapitre II : Matériel et Méthodes

### I. Zone d'étude

L'étude de l'adaptation du maïs à la culture en saison sèche froide a été menée à l'INERA sur la station de Farako-Bâ située à 10 km au sud-ouest de Bobo-Dioulasso sur l'axe Bobo-Banfora. Elle est à 11°06' latitude nord, 4°20' longitude ouest ; son altitude est de 405 m. Les sols de Farako-Bâ sont des sols ferrallitiques lessivés, profonds et non graveleux. La texture est sablo-limoneuse en surface à argilosableuse en profondeur. Le pH se situe entre 5 et 5,5 avant la mise en culture (Pallo *et al.*, 2010).

### II. Caractérisation du climat de la station de recherche de Farako-Bâ

La pluviométrie et les températures minimales et maximales de Farako-Bâ durant ces trente (30) dernières années (1985 à 2015) illustrées par la figure 2, montrent que le climat de la station de recherche est très variable au cours de l'année. En effet, il est caractérisé par des cumuls pluviométriques qui vont de 8,58 mm à 277,22 mm répartis sur neuf (09) mois (mars à novembre) avec 4 à 5 mois d'intense pluviométrie (juin à septembre) marqués d'un pic au mois d'août. S'agissant de la température, elle varie de 13,72 °C à 37,99 °C. Les basses températures sont enregistrées d'octobre à février avec un minimum situé entre 13,72 °C et 17,36 °C et maximum qui a varié entre 33,57 °C et 36,33 °C. Quant aux températures élevées, elles sont constatées entre Mars et septembre. Durant cette période, les températures minimales ont oscillé de 19,79 °C à 22,63 °C et les températures maximales de 31,53 °C à 37,99 °C.

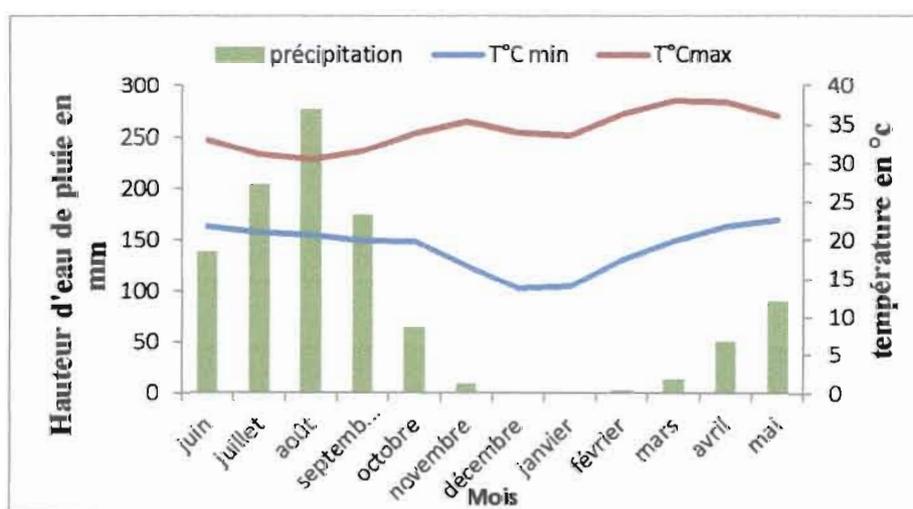


Figure 2 : Pluiosité et températures moyennes mensuelles de Farako-Bâ de 1985 à 2015 (Source : station météorologique de Farako-Bâ)

### III. Evaluation des variétés de maïs au champ

#### 3.1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé était composé de : lignées, d'hybrides et de variétés composites de maïs. Ce matériel a été reparti en 4 essais indépendants (Tableau 2). L'essai 1 comprenait les variétés composites de maïs de cycle extraprécoces et précoces, l'essai 2 était composé d'hybrides de maïs et de leurs parents, l'essai 3 était constitué de lignées de maïs et l'essai 4 contenait les variétés composites de maïs de cycle intermédiaire.

**Tableau 2 : Liste du matériel génétique**

Essai	Nom	Type de variété	Cycle de maturité
Essai 1	KPB	composite	Précoce
	Wari	composite	Précoce
	Barka	composite	extraprécoce
	KEJ	composite	extraprécoce
	KPJ	composite	Précoce
	FBC6	composite	Précoce
	KEB	composite	extraprécoce
Essai 2	Komsaya	Hybrides	Intermédiaire
	E Wari( Komsaya Femelle)	composite	Précoce
	E espoir (Komsaya Mâle)	composite	Intermédiaire
	Bondofa	Hybrides	Intermédiaire
	EV8444SR (Bondofa Femelle)	composite	Intermédiaire
	SR22 (Bondofa Mâle)	composite	Intermédiaire
Essai 3	FBML10	lignée	Précoce
	B73	lignée	Précoce
	ELN45-1-6-1	lignée	Précoce
	TZ118	lignée	Précoce
	ELN41-1-1-4	lignée	Précoce
	ELN43-4-5-3	lignée	Précoce
Essai 4	Obatanpa	composite	Intermédiaire
	SR 21	composite	Intermédiaire
	SR 22	composite	Intermédiaire
	Espoir	composite	Intermédiaire
	FBMS1	composite	Intermédiaire

### **3.2. Dispositif**

Le dispositif bloc Fischer avec 3 répétitions a été utilisé pour chacun des quatre (4) essais. La parcelle élémentaire (PE) est égale à la parcelle utile (PU). Elle est constituée de deux lignes. (PE= PU=2 lignes) de 5m. Le semis est effectué à 1graine par poquet aux écartements de 0,8 m x 0,25 m. Les mesures ont été effectuées sur 10 plantes choisies aléatoirement.

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

Une première expérimentation a été implantée en saison humide (juin à octobre) 2015 et l'autre en saison sèche froide (novembre à mars) 2015/2016.

Les expérimentations de la saison humide et de la saison sèche ont été menées sur la même parcelle. Sa préparation a consisté en un labour, un hersage, un planage et un seul apport de fumure organique de fond. Le semis a été réalisé manuellement à l'aide de bâtons de semis de 0,25 cm. Les opérations d'entretien ont été les suivantes :

- l'herbicide de pré-levée « kalach » a été utilisé pour le désherbage chimique avant la levée suivie d'un sarclage manuel après constatation du niveau d'enherbement des essais pendant la saison humide. En outre le désherbage de l'essai en saison sèche froide a consisté en un sarclage manuel.
- le binage a été combiné au premier apport d'urée (urée 1), tandis que le buttage a été combiné au second apport d'urée (urée 2) ;
- la fertilisation a été menée comme suite :

Le NPK (14-23-14) 200 kg/ha et 50 kg/ha de KCl ont été apporté au 15<sup>e</sup> jour après semis (JAS). Pendant la saison sèche froide, c'est le NPK (15-15-15) qui a été apporté lors du semis. L'urée (46% d'azote) a été apportée de manière fractionnée 100 kg/ha au 30<sup>e</sup> JAS et 50 kg/ha au 45<sup>e</sup> JAS.

- la récolte a également été réalisée manuellement.

### 3.4. Variables étudiées

**Floraison mâle (FM)** : nombre de jours après semis pour atteindre la pleine floraison mâle (50% des plantes présentes de la parcelle utile émettant du pollen).

**Floraison femelle (FF)** : nombre de jours après semis pour atteindre la sortie des soies de 50% des plantes de la parcelle utile.

**Intervalle de temps entre la floraison mâle et la floraison femelle (ASI = anthesis silking interval)** : c'est le synchronisme entre la floraison mâle et femelle elle correspond à la différence entre la floraison mâle et la floraison femelle.

**Somme des températures pour la floraison mâle (STM) et la floraison femelle (STF)** : c'est la somme des températures du semis à la floraison mâle et la floraison femelle

**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.

**Hauteur d'insertion de l'épi principal (HIE)** : c'est la distance en cm sur 10 plantes de la parcelle utile du sol jusqu'à l'entre-nœud d'insertion de l'épi.

**Nombre total de feuilles (NTF)** : elle correspond à la totalité des feuilles présentes après la floraison.

**Nombre de feuilles au-dessus de l'épi principal (NFSE)** : c'est le nombre de feuilles situé au-dessus de l'épi après la floraison.

**Longueur de la feuille de l'épi principal (LONGF)** : mesurée (en cm) à partir de la base de la feuille d'épis jusqu'à la partie terminale de la même feuille.

**Largeur de la feuille de l'épi principal (LARGF)** : mesurée (en cm) à la partie la plus large de la feuille.

**Surface de la feuille de l'épi (Sur)** : calculée en multipliant la largeur par la longueur de la feuille de l'épi et par la constante de bonhomme (0.75).

**Longueur de la panicule (LONGP)** : mesurée (en cm) à partir du dernier entre-nœud jusqu'à l'extrémité de son brin mètre.

**Longueur du brin mètre de la panicule (LBMP)** : mesurée (en cm) de la base de brin mètre jusqu'à son extrémité.

**Nombre de ramifications primaires (NRP)** : correspond au comptage du nombre de ramifications de la panicule directement liées à la tige de la panicule.

**Poids des épis (PE)** : c'est le poids des épis récoltés au champ sur les parcelles utiles.

**Rendement (RDT)** : c'est l'estimation en t/ha de la quantité de maïs-grains produite par parcelle utile. Il est calculé à partir de la formule suivante :

$$\text{RDT (t/ha)} = \text{PE} \times (\text{PgE} / \text{PeE}) \times [(100-\text{H}) / 85] \times 10/\text{S}$$

Avec :

PE : poids des épis récoltés au champ (kg) ;

PgE : poids en grains des épis de l'échantillon (Kg) ;

PeE : poids des épis de l'échantillon (Kg) ;

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

100 – H = différence entre l'humidité maximale et l'humidité des grains à la récolte ;

S : surface de la parcelle élémentaire (8,64 m<sup>2</sup>).

## **IV. Evaluation des variétés de maïs pendant le stade juvénile**

### **4.1. Dispositif expérimental**

L'évaluation pendant la phase végétative a été réalisée avec un dispositif complètement randomisé sous serre aussi bien en saison humide qu'en saison sèche. Deux lignées (B73, FBML10) et deux hybrides (Bondofa, Komsaya) ont été testés. La lignée B73 est une lignée tempérée. Chaque pot avait une dimension de 32,5 cm de hauteur et de 16,5 cm de diamètre. Le semis est effectué à 1 graine par pot à une profondeur de 5 cm. La température du sol de chaque pot est prise le matin avant 8 heures et le soir après 16 heures. L'arrosage est fait 3 fois par semaine.

### **4.2. Méthodes**

Nous avons procédé à deux dépotages (15<sup>e</sup> JAS et 30<sup>e</sup> JAS). Le lot de dépotage était constitué de deux pots de chaque génotype. Cette opération consistait à laver les plantes afin de mieux dénombrer les racines et les entre-nœuds et à les sécher à 60 °C dans l'étuve pendant 48 heures.

### **4.3. Variables étudiées**

**La vitesse de germination** : correspond au nombre de jours après semis à laquelle le maïs a germé.

**La vitesse d'initiation des feuilles** : appréciée par comptage du nombre de feuilles par jour.

**La croissance de la tige** : consiste à prendre la hauteur des plantes 2 fois par semaine.

**La biomasse sèche de la partie aérienne et des racines** : c'est la masse de la partie aérienne et des racines après séchage dans l'étuve à 60 °C après 48 heures de deux plantes choisies aléatoirement de chaque variété au 15<sup>e</sup> et au 31<sup>e</sup> JAS.

**Le nombre d'entre-nœuds racinaire** : consiste au comptage des entre-nœuds présents

**Le nombre de racines par entre-nœud racinaire** : correspond au nombre de racines compté sur l'entre-nœud.

## V. Analyse des données

Les données de l'expérimentation ont été saisies et traitées au moyen du logiciel Microsoft Excel 2010 qui a aussi été utilisé pour l'élaboration des graphiques. Afin d'identifier les caractéristiques agromorphologiques et racinaires influencées par la saison sèche froide, l'analyse de variance (ANOVA) et le test de Student Newman Keuls (SNK) au seuil de 5% pour la comparaison des moyennes ont été réalisés à l'aide du logiciel SAS (Système d'Analyse Statistique) version 9.1. L'analyse de la variance a été individuelle par saison et ensuite combinée pour les saisons. Dans l'analyse combinée de variance, le carré moyen du génotype a été testé en utilisant le carré moyen de l'interaction entre saison et génotype comme le terme erreur.

La somme des températures est la quantité de chaleur accumulée par la plante. Nous l'avons calculé du semis à la floraison pour chaque saison selon la formule suivante :

$$SM = \sum \frac{(T_{max} + T_{min})}{2} - T_{base} ; T_{max} = \text{température maximale}; T_{min} = \text{température minimale}; T_{base} = \text{température de base du maïs (6°C)}.$$

Les variétés ont été classées en fonction de leur tolérance au froid. Cette classification utilisée par Chaturika *et al.* (2014) était basée sur la somme des indices de réponse au froid (IRF) de la variété pour les variables nombre total de feuilles, la hauteur de la plante, la surface de la feuille, le nombre de ramifications primaires de la panicule, le nombre de racines au 30<sup>e</sup> jour après semis, la biomasse aérienne et racinaire au 30<sup>e</sup> jour après semis.

Pour l'expérimentation pendant la phase végétative

$$IRF = \frac{NRs}{NRh} + \frac{NTFs}{NTFh} + \frac{BAS}{BAh} + \frac{BRs}{BRh} + \frac{HPs}{HPh}$$

Pour l'expérimentation au champ

$$IRF = \frac{NTFs}{NTFh} + \frac{HPs}{HPh} + \frac{Surs}{Surh} + \frac{NRPPs}{NRPPh}$$

**Tableau 3 : Classification des variétés en fonction de l'indice de réponse au froid selon le modèle de Chaturika *et al.* (2014)**

Tolérante	Modérément tolérante	Modérément sensible	Sensible
$IRF_m + 3EC \leq x$	$IRF_m + 2EC \leq x < IRF_m + 3EC$	$IRF_m + EC \leq x < IRF_m + 2EC$	$IRF_m \leq x < IRF_m + EC$

NTFs et NTFh= nombre de feuilles en saison sèche froide et en saison humide

HPs et HPh = hauteur de la plante en saison sèche froide et en saison humide

Surs et Surh = surface de la feuille en saison sèche froide et en saison humide

NRPPs et NRPPh= nombre de ramifications primaires de la panicule en saison sèche froide et en saison humide

NRs et NRh= nombre de racines en saison sèche froide et humide

BAs et Bah = biomasse aérienne en saison sèche froide et humide

BRs et BRh= biomasse racinaire en saison sèche froide et humide

IRF = indice de réponse au froid

IRFm= indice de réponse au froid minimum

EC= écartype des indices de réponse au froid

## Chapitre III : Résultats et discussion

### I. Expérimentation au champ

#### 1.1. Résultats de l'expérimentation au champ

##### 1.1.1. Caractérisation du climat au cours de l'expérimentation au champ

Au cours des essais de la saison humide (juin à octobre) les précipitations ont varié de 84,3 mm à 284,8 mm avec une moyenne de 194,72 mm. Pour la température, les minimas ont varié de 22,18 °C à 27,99 °C avec une moyenne de 23,25 °C ; les maximas ont évolué de 29,57 °C à 32,89 °C avec une moyenne de 31,67 °C (figure 3).

Il n'a été enregistré que 13 mm d'eau de pluie juste avant la mise en place des essais de la saison sèche froide (novembre 2015 à Mars 2016). Les températures minimales ont oscillé entre de 13,2 °C et 16,84 °C avec une moyenne de 15,24 °C et les températures maximales ont varié de 32 °C à 36 °C avec une moyenne 33,99 °C.

Ces caractéristiques du climat durant l'expérimentation au champ ont été similaires à celles décrites sur la période de trente années. En effet cette description a montré que les fortes pluies ont été enregistrées de juin à septembre avec une moyenne de 198,53 mm légèrement supérieure à celle enregistrée pendant les essais de la saison humide. Concernant la période froide, elle s'était étalée d'octobre à février avec des minima et maxima de températures qui ont oscillé respectivement entre 13,72 °C à 17,36 °C et 33,57 °C à 36,33 °C. Ceux-ci ont été faiblement distincts de ceux notés pendant les essais de la saison sèche froide.

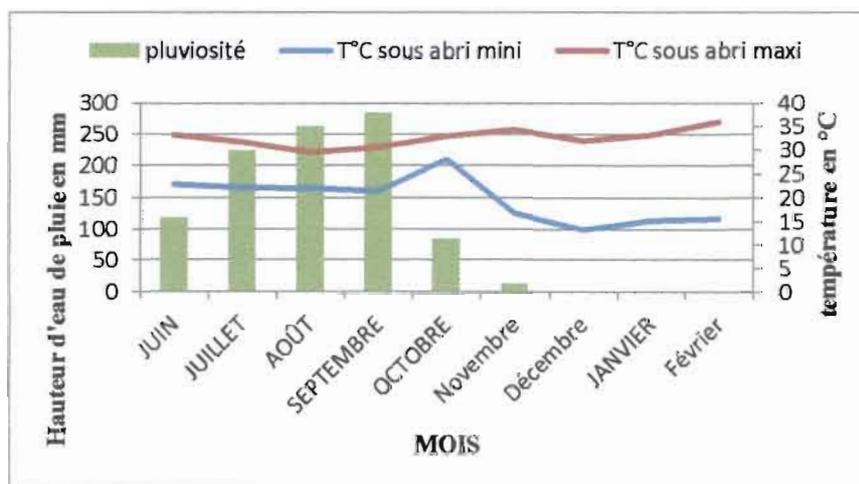


Figure 3 : Evolution de la température et de la pluviosité au cours de l'expérimentation au champ (Source : station météorologique de Farako-Bâ)

## 1.2. Analyse de variance

### ➤ Variétés à cycle extraprécoce et précoce

L'analyse de variance des données de l'expérimentation sur les variétés composites à cycle extraprécoce et précoce (tableau 4) a montré que :

Il existe une faible disparité entre les observations vues que leur coefficient de variation est inférieur 15% excepté le synchronisme des floraisons (ASI) et le poids des épis (PE).

Statistiquement, il n'y avait pas d'interaction entre les saisons et les variétés pour les variables à l'exception de la floraison mâle (FM) et de la somme des températures pour la floraison mâle (STM), pour lesquelles l'interaction a été très hautement significative.

Par ailleurs, la saison humide a été différente de la saison sèche froide concernant la majorité des variables. Néanmoins elles se sont révélées statistiquement identiques concernant la largeur de la feuille (LARGF), le poids des épis (PE), la longueur de la panicule (LONGP) et du brin mètre de la panicule (LBMP).

Hormis le synchronisme des floraisons (ASI) et le poids des épis (PE), la variabilité génétique a été notée pour tous les paramètres étudiés.

**Tableau 4** : Analyse de variance des variétés à cycle extraprécoce et précoce

Variables	SAISON	Variété	SAISON* variété	Eres	Moy	CV
FM	933,95 ***	6,15 *	7,13 ***	1,76	56,44	3,13
FF	777,09 ***	30,60 **	1,01 NS	2,27	59,69	3,82
ASI	18,67 ***	0,28 NS	1,65 NS	2,19	3,25	67,65
STM	541,85 ***	6,55 *	6,62 ***	61,92	2009,64	3,08
STF	569,29 ***	25,30 ***	1,37 NS	73,49	2119,01	3,46
HIE	35,46 ***	24,60 **	0,91 NS	8,72	73,19	11,92
HP	87,48 ***	119,89 ***	0,10 NS	11,28	155,81	7,25
LARGF	2,91 NS	6,62 *	0,59 NS	1,17	9,05	12,92
LONGF	113,45 ***	20,27 **	0,82 NS	3,84	77,04	4,99
Sur	21,71 ***	14,31 **	0,57 NS	82,27	528,91	15,55
NTF	12,19 **	32,03 ***	0,17 NS	1,04	13,72	7,57
NFSE	5,16 *	10,55 *	0,32 NS	0,38	5,36	7,15
PE	10,51 NS	1,67 NS	0,62 NS	0,72	2,35	30,6
LONGP	0,75 NS	20,06 **	0,20 NS	2,86	41,58	6,89
LBMP	0,24 NS	16,62 **	0,29 NS	3,2	34,92	9,19
NRPP	49,13 ***	2,75 *	2,42 NS	1,16	12,35	9,42

\*, \*\*, \*\*\* respectivement significatif à 5%, 1% et 0,1%; NS : non significatif ; GENO : génotype ; CV : coefficient de variation ; MOY : moyenne ; E-Res : erreur résiduelle ; FM, FF= floraison mâle et femelle ; ASI= synchronisme des floraisons ; HIE, HP= hauteur d'insertion de l'épi et de la plante ; LARGF, LONGF, Sur = largeur, longueur et surface de la feuille de l'épi ; NTF= nombre total de feuilles ; NFSE= nombre de feuilles au-dessus de l'épi ; LONGP ,LBMP= longueur de la panicule et du brin mètre de la panicule ; NRPP= nombre de ramifications primaires de la panicule, STM et STF :somme des températures pour la floraison mâle et femelle.

#### ➤ Variétés de cycle intermédiaire

Les résultats de l'analyse de variance des variables observées chez les variétés composites à cycle intermédiaire (tableau 5) ont révélé que :

Avec un coefficient de variation inférieur à 15%, il existait peu de discordance entre les observations de toutes les variables à l'exception du synchronisme des floraisons ASI et du poids des épis (PE).

Aucune interaction ne s'est manifestée entre les saisons et les variétés pour plusieurs variables sauf pour la floraison mâle (FM) et femelle (FF), la largeur de la feuille (LARGF),

le nombre de ramifications primaires de panicule (NRPP) et la somme des températures pour la floraison mâle (STM).

La saison humide et la saison sèche froide n'ont manifesté une similitude qu'à l'égard de la longueur de la panicule (LONGP) et du brin mètre de la panicule (LBMP) et la hauteur d'insertion de l'épi (HIE).

A l'exception de la somme des températures pour la floraison femelle (STF) et du poids des épis (PE), les variétés ont révélé une parité pour toutes les variables.

**Tableau 5** : Analyse de variance pour les variétés à cycle intermédiaire

Variables	Saison	Variété	Saison* variété	Eres	Moy	CV
FM	2194,56 ***	1,58 NS	4,43 *	1,38	65,4	2,12
FF	3443,35 ***	1,42 NS	4,24 *	1,29	69,23	1,87
ASI	85,05 ***	0,74 NS	0,54 NS	1,2	3,83	31,3
STM	1458,22 ***	1,56 NS	5,91 **	49	2321,76	2,11
STF	2289,20 ***	4 *	1,46 NS	47,74	2460,63	1,94
HIE	2,34 NS	0,20 NS	1,47 NS	8	96,29	8,31
HP	210,18 ***	1,29 NS	1,33 NS	13,32	204,92	6,5
LARGF	12,93 **	1,70 NS	3,16 *	0,4	9,9	4,09
LONGF	68,89 ***	3,17 NS	1,96 NS	3,38	85,3	3,97
Sur	44,47 ***	1,01 NS	2,31 NS	44,6	635,32	7,02
NTF	5,88 *	2,68 NS	0,66 NS	0,82	15,29	5,4
NFSE	5,17 *	1,97 NS	1,46 NS	0,32	5,69	5,7
PE	0,38 ***	7,08 *	0,33 NS	1,59	3,62	43,88
LONGP	2,57 NS	5,47 NS	1,43 NS	1,98	44,16	4,49
LBMP	0,02 NS	0,69 NS	1,99 NS	5,44	39,2	13,88
NRPP	107,49 ***	1,71 NS	5,66 **	0,93	14,03	6,66

\*, \*\*, \*\*\* respectivement significatif à 5%, 1% et 0,1%; NS : non significatif ; GENO : génotype ; CV : coefficient de variation ; MOY : moyenne ; E-Res : erreur résiduelle ; FM, FF= floraison mâle et femelle ; ASI= synchronisme des floraisons ; HIE, HP= hauteur d'insertion de l'épi et de la plante ; LARGF, LONGF, Sur = largeur, longueur et surface de la feuille de l'épi ; NTF= nombre total de feuilles ; NFSE= nombre de feuilles au-dessus de l'épi ; LONGP ,LBMP= longueur de la panicule et du brin mètre de la panicule ; NRPP= nombre de ramifications primaires de la panicule, STM et STF :somme des températures pour la floraison mâle et femelle.

### ➤ Variétés hybrides

L'analyse de variance pour les variétés hybrides (tableau 6) a dévoilé que :

Hormis le synchronisme des floraisons (ASI) et le poids des épis (PE), le coefficient de variation a été inférieur à 15% pour toutes variables observées. Cela signifie que les observations n'étaient pas trop divergentes.

A part la floraison mâle (FM) et la somme des températures pour la floraison mâle (STM), l'interaction entre les saisons et les variétés a été non significative.

La saison humide et la saison sèche froide ont manifesté une différence significative pour presque toutes les variables. Cependant, elles ont été identiques en ce qui concerne la hauteur d'insertion de l'épi (HIE), la longueur de la panicule (LONGP) et du brin mètre de la panicule (LBMP).

Une différence significative n'a été constatée entre les variétés que pour la surface (Sur) et la longueur de la feuille (LONGF).

**Tableau 6** : Analyse de variance pour les variétés hybrides

Variables	SAISON	Variété	SAISON* variété	Eres	Moy	CV
FM	2496,24 ***	2,03 NS	3,76 *	1,37	63,33	2,17
FF	4136,35 ***	3,82 NS	1,90 NS	1,25	67,25	1,86
ASI	90,99 ***	0,75 NS	1,88 NS	1,24	3,91	31,67
STM	1571,45 ***	1,98 NS	3,54 *	49,47	2248,67	2,2
STF	2708,03 ***	3,57 NS	2,06 NS	45,89	2388,74	1,92
HIE	3,65 NS	4,04 NS	1,47 NS	8,05	101,97	7,9
HP	126,69 ***	4,53 NS	1,68 NS	8,41	187,99	4,48
LARGF	19,41 **	4,96 NS	0,40 NS	0,53	10,32	5,21
LONGF	22,13 ***	33,56 ***	0,39 NS	3,73	86,98	4,29
Sur	26,62 ***	9,75 *	0,44 NS	56,82	675,34	8,41
NTF	16,72 ***	3,20 NS	1,85 NS	0,64	15,28	4,19
NFSE	23,23 ***	2,99 NS	1,47 NS	0,22	5,56	4
PE	46,86 ***	0,67 NS	1,82 NS	1,04	4,70	22,17
LONGP	2,55 NS	1,98 NS	1,66 NS	2,41	45,18	5,35
LBMP	0,48 NS	2,22 NS	1,43 NS	1,99	38,89	5,13
NRPP	55,58 ***	0,71 NS	0,66 NS	1,26	14,03	8,98

\*, \*\*, \*\*\* respectivement significatif à 5%, 1% et 0,1%; NS : non significatif ; GENO : génotype ; CV : coefficient de variation ; MOY : moyenne ; E-Res : erreur résiduelle ; FM, FF= floraison mâle et femelle ; ASI= synchronisme des floraisons ; HIE, HP= hauteur d'insertion de l'épi et de la plante ; LARGF, LONGF, Sur = largeur, longueur et surface de la feuille de l'épi ; NTF= nombre total de feuilles ; NFSE= nombre de feuilles au-dessus de l'épi ; LONGP ,LBMP= longueur de la panicule et du brin mètre de la panicule ; NRPP= nombre de ramifications primaires de la panicule, STM et STF :somme des températures pour la floraison mâle et femelle.

### ➤ Variétés lignées

A l'exception du synchronisme des floraisons, le coefficient de variation des variables observées sur les variétés lignées a été inférieur à 25%. Les observations n'ont donc pas été trop disjointes (tableau 7).

L'interaction entre les saisons et les variétés n'a pas été significative pour la hauteur de la plante (HP), la largeur de la feuille de l'épi (LARGF), le nombre de feuilles au-dessus de l'épi (NFSE), la longueur de la panicule (LONGP) et le nombre de ramifications primaires de la panicule (NRPP). Elle a été significative concernant la longueur du brin mètre de la panicule (LBMP), la surface de la feuille de l'épi (Sur), le nombre total de feuilles (NTF), la hauteur d'insertion de l'épi (HIE), la floraison mâle (FM) et femelle (FF), le synchronisme des floraisons (ASI), la longueur de la feuille de l'épi (LONGF), la somme des températures des floraisons (STM et STF).

Exception faite de la hauteur d'insertion de l'épi (HIE), la longueur de la feuille de l'épi (LONGF) et de la panicule (LONGP), la saison humide s'est avérée différente de la saison sèche froide à l'égard de la quasi-totalité des variables.

Pour la plupart des variables, les lignées ont révélé une homogénéité sauf pour la longueur de la panicule (LONGP) et la largeur de la feuille de l'épi (LARGF).

**Tableau 7 : Analyse de la variance pour les variétés lignées**

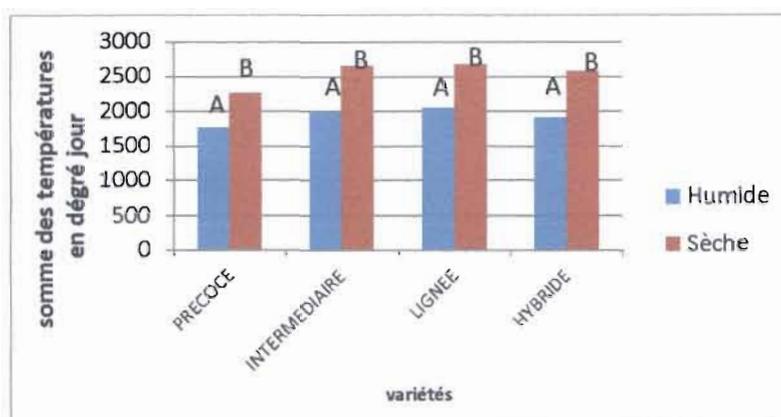
Variables	SAISON	Variété	SAISON* variété	Eres	Moy	CV
FM	1770,9 ***	5,53 NS	7,43 **	1,42	66,66	2,13
FF	1236,2 ***	2,47 NS	7,38 **	1,94	69,96	2,78
ASI	30,36 ***	0,68 NS	4,90 **	1,55	3,3	47
STM	11,34 ***	5,79 NS	7,17 **	50,34	2366,81	2,12
STF	954,70 ***	2,40 NS	7,96 ***	66,04	2490,09	2,65
HIE	1,65 NS	2,10 NS	3,17 *	6,36	49,68	12,81
HP	14,99 **	1,90 NS	2,15 NS	10,75	120,98	8,89
LARGF	20,34 ***	7,90 *	1,02 NS	0,58	7,94	7,33
LONGF	1,76 NS	0,84 NS	5,23 **	4,32	64,32	6,73
Sur	12,45 **	1,58 NS	3,52 *	45,59	385,33	11,83
NTF	23,06 ***	1,97 NS	3,27 *	8,71	12,58	5,74
NFSE	66,76 ***	3,77 NS	2,10 NS	0,32	5,51	5,92
LONGP	1,89 NS	7,31 *	1,18 NS	2,65	34,81	7,64
LBMP	17,94 ***	2,12 NS	3,82 *	2,15	29,67	7,27
NRPP	32,24 ***	3,36 NS	1,75 NS	1,7	11,31	15,07

\*, \*\*, \*\*\* respectivement significatif à 5%, 1% et 0,1%; NS : non significatif ; GENO : génotype ; CV : coefficient de variation ; MOY : moyenne ; E-Res : erreur résiduelle ; FM, FF= floraison mâle et femelle ; ASI= synchronisme des floraisons ; HIE, HP= hauteur d'insertion de l'épi et de la plante ; LARGF, LONGF, Sur = largeur, longueur et surface de la feuille de l'épi ; NTF= nombre total de feuilles ; NFSE= nombre de feuilles au-dessus de l'épi ; LONGP ,LBMP= longueur de la panicule et du brin mètre de la panicule ; NRPP= nombre de ramifications primaires de la panicule, STM et STF :somme des températures pour la floraison mâle et femelle.

### 1.3. Effet du froid de la saison sèche sur les caractères morphologiques

#### a. Cycle semis-floraison

La figure 4 montre que les variétés à cycle extraprécoce et précoce ont accumulé moins de chaleur pendant les deux saisons que les autres. Pour atteindre la floraison mâle durant la saison humide les plantes de maïs ont accumulé une quantité de chaleur variant entre 1769,40 et 2057,16 °j inférieure à celle de la saison sèche froide qui a évolué entre 2249,88 °j et 2676,46 °j (figure 4).



Somme des températures =  $\sum \frac{(T_{max} + T_{min})}{2} - T_{base}$  ;  $T_{max}$  = température maximale ;  $T_{min}$  = température minimale ;  $T_{base}$  = température de base du maïs (6°C).

**Figure 4** : Somme des températures pour la saison humide et sèche froide

Les floraisons mâle et femelle sont survenues tardivement et l'écart entre eux (ASI) a été plus important durant la saison sèche froide qu'en saison humide. Le froid a retardé le processus de la floraison. Ce retard a été moins important pour les variétés à cycle intermédiaire et plus ressenti chez les variétés hybrides (tableau 8).

**Tableau 8 : Impact du froid sur le cycle du maïs**

Variété	Saison	FM (nombre de jours)	FF (nombre de jours)	ASI
extraprécoce et Précoce	Humide	47,44 <sup>a</sup>	49,11 <sup>a</sup>	1,66 <sup>a</sup>
	Sèche	65,44 <sup>b</sup>	70,26 <sup>b</sup>	4,83 <sup>b</sup>
	TV%	-37,69	-43,10	-191
Intermédiaire	Humide	53,53 <sup>a</sup>	55,33 <sup>a</sup>	1,80 <sup>a</sup>
	Sèche	77,26 <sup>b</sup>	83,13 <sup>b</sup>	5,87 <sup>b</sup>
	TV%	-30,72	-33,44	-226,11
Hybride	Humide	51,89 <sup>a</sup>	53,83 <sup>a</sup>	1,94 <sup>a</sup>
	Sèche	74,78 <sup>b</sup>	80,67 <sup>b</sup>	5,89 <sup>b</sup>
	TV%	-44,11	-49,85	-203,60
Lignée	Humide	55,73 <sup>a</sup>	57,47 <sup>a</sup>	1,73 <sup>a</sup>
	Sèche	77,6 <sup>b</sup>	82,47 <sup>b</sup>	4,87 <sup>b</sup>
	TV%	-39,23	-43,50	-181,50

FM et FF = floraison mâle et femelle, en nombre de jour ; ASI = asynchronisme des floraisons ; TV% = Taux de variation =  $\frac{Var_{sèche} - Var_{humide}}{Var_{humide}} \times 100$  ;  $Var_{humide}$  = variable en saison humide ;  $Var_{sèche}$  = variable en saison sèche froide

### b. Hauteur des plantes

L'évolution de la croissance en hauteur a été faible en saison sèche froide par rapport à celle remarquée en saison humide (tableau 9). L'effet de réduction sur la hauteur de la plante a été moins notable chez les variétés lignées et a été plus grand chez les variétés à cycle intermédiaire. En ce que concerne la hauteur d'insertion de l'épi, les variétés à cycle intermédiaire ont été les moins influencées contrairement aux variétés extraprécoces et précoces qui ont présenté des taux de réduction les plus élevés.

**Tableau 9** : Effet du froid sur les hauteurs du maïs

Variété	Saison	HP (cm)	HIE (cm)
extraprécoce et Précoce	Humide	173,4 <sup>a</sup>	81,85 <sup>a</sup>
	Sèche	138,22 <sup>b</sup>	64,54 <sup>b</sup>
	TV%	20,30	21,15
Intermédiaire	Humide	240,20 <sup>a</sup>	98,53 <sup>a</sup>
	Sèche	169,66 <sup>b</sup>	94,06 <sup>b</sup>
	TV%	29,37	4,54
Hybride	Humide	203,78 <sup>a</sup>	104,54 <sup>a</sup>
	Sèche	172,21 <sup>b</sup>	99,41 <sup>b</sup>
	TV%	15,49	4,91
Lignée	Humide	128,58 <sup>a</sup>	51,17 <sup>a</sup>
	Sèche	113,37 <sup>b</sup>	48,18 <sup>b</sup>
	TV%	11,83	5,84

HP= hauteur de la plante (cm) ; HIE= hauteur d'insertion de l'épi (cm) ; TV% = Taux de variation =  $\frac{(Var_{SH} - Var_{SS})}{Var_{SH}} \times 100$

Var<sub>SH</sub>= variable en saison humide ; Var<sub>SS</sub>= variable en saison sèche froide

### c. Paramètres foliaires

Les paramètres foliaires ont évolué de différentes manières (tableau 10). En effet, à l'instar des variétés lignées, le nombre total de feuilles (NTF) en saison sèche froide a été plus important que celui dénombré pendant la saison humide. Tandis que le nombre de feuilles supérieur à l'épi était moins important en saison sèche froide. Par contre chez toutes les variétés, la surface, la largeur et la longueur de la feuille principale ont été plus importantes durant la saison humide que la saison sèche froide. Pour la largeur de la feuille, le nombre total de feuilles (NTF) et de feuilles supérieur à l'épi (NFSE), les variétés à cycle intermédiaire ont été les moins affectées et les variétés lignées ont été les plus sensibles. Les variétés à cycle extraprécoce et précoce ont été sensibles à l'effet du froid pour la longueur (LONGF) et la surface de la feuille. Les variétés lignées et les variétés hybrides ont été tolérantes à l'effet du froid respectivement pour les variables longueur de la feuille et surface de la feuille.

**Tableau 10 : Intensité du froid sur les paramètres foliaires**

Variété	Saison	NTF	NFSE	LARGF (cm)	LONGF (cm)	Surface (m <sup>2</sup> )
extraprécoce et Précoce	Humide	13,12 <sup>a</sup>	5,51 <sup>a</sup>	9,38 <sup>a</sup>	83,86 <sup>a</sup>	592,86 <sup>a</sup>
	Sèche	14,33 <sup>b</sup>	5,22 <sup>b</sup>	8,71 <sup>b</sup>	70,23 <sup>b</sup>	465,08 <sup>b</sup>
	TV%	-9,22	5,27	7,09	16,26	21,55
Intermédiaire	Humide	14,93 <sup>a</sup>	5,83 <sup>a</sup>	10,174 <sup>a</sup>	90,44 <sup>a</sup>	689,62 <sup>a</sup>
	Sèche	15,66 <sup>b</sup>	5,56 <sup>b</sup>	9,64 <sup>b</sup>	80,17 <sup>b</sup>	581,02 <sup>b</sup>
	TV%	-4,90	4,62	5,22	11,35	15,75
Hybride	Humide	14,84 <sup>a</sup>	5,74 <sup>a</sup>	10,72 <sup>a</sup>	89,91 <sup>a</sup>	724,21 <sup>a</sup>
	Sèche	15,71 <sup>b</sup>	5,38 <sup>b</sup>	9,93 <sup>b</sup>	84,05 <sup>b</sup>	626,47 <sup>b</sup>
	TV%	-5,88	6,22	7,37	6,51	13,50
Lignée	Humide	13,01 <sup>a</sup>	5,02 <sup>a</sup>	8,42 <sup>a</sup>	65,37 <sup>a</sup>	414,69 <sup>a</sup>
	Sèche	11,76 <sup>b</sup>	6 <sup>b</sup>	7,46 <sup>b</sup>	63,28 <sup>b</sup>	355,96 <sup>b</sup>
	TV%	9,58	-19,36	11,38	3,21	14,16

NTF : nombre total de feuilles; NFSE= nombre de feuilles supérieur à l'épi ; LARGF= largeur de la feuille (cm) ; LONGF= longueur de la feuille (cm) ;TV% = Taux de variation =  $\frac{(Var_{SH} - Var_{SS})}{Var_{SH}} \times 100$  Var<sub>SH</sub>= variable en saison humide ; Var<sub>SS</sub>= variable en saison sèche froide

#### d. Architecture paniculaire

La longueur de la panicule (LONGP) et celle du brin mètre de la panicule (LBMP) ont été légèrement plus longues pendant la saison humide que pendant la saison sèche froide (tableau 11). Par contre, chez les variétés hybrides, elles se sont modérément allongées en saison sèche froide. Le nombre de ramifications primaires de la panicule a été plus élevé durant la saison humide qu'en saison sèche froide. Pour celui-ci les variétés à cycle extraprécoce et précoce se sont montrées tolérantes et les variétés lignées ont été sensibles à l'effet du froid.

**Tableau 11 : Effet du froid sur l'architecture de la panicule**

Variété	Saison	LONGP (cm)	LBMP (cm)	NRPP
extraprécoce et Précoce	Humide	42,00 <sup>a</sup>	35,18 <sup>a</sup>	13,71 <sup>a</sup>
	Sèche	41,17 <sup>a</sup>	34,66 <sup>a</sup>	10,99 <sup>b</sup>
	TV%	1,97	1,48	19,85
Intermédiaire	Humide	44,74 <sup>a</sup>	39,36 <sup>a</sup>	15,87 <sup>a</sup>
	Sèche	43,58 <sup>a</sup>	39,05 <sup>a</sup>	12,32 <sup>b</sup>
	TV%	2,59	0,79	22,38
Hybride	Humide	44,54 <sup>a</sup>	38,66 <sup>a</sup>	15,59 <sup>a</sup>
	Sèche	45,83 <sup>a</sup>	39,12 <sup>a</sup>	12,46 <sup>b</sup>
	TV%	-2,89	-1,19	20,08
Lignée	Humide	35,48 <sup>a</sup>	31,34 <sup>a</sup>	13,08 <sup>a</sup>
	Sèche	34,15 <sup>a</sup>	28,00 <sup>b</sup>	9,55 <sup>b</sup>
	TV%	3,76	10,65	27,03

LONGP, LBMP= longueur de la panicule et du brin mètre de la panicule (cm) ; NRPP= nombre de ramifications primaires de la panicule. Taux de variation =  $\frac{(Var_{SH} - Var_{SS})}{Var_{SH}} \times 100$

### e. Poids des épis

Le poids des épis récoltés (PE) en saison humide a été plus important que celui de la saison sèche froide (tableau 12). Pour les variétés à cycle extraprécoce et précoce, cette baisse n'a pas été significative. Par contre, chez les variétés à cycle intermédiaire, elle a été très notable.

**Tableau 12:** Effet du froid sur le poids des épis

Variété	Saison	PE (kg)
extraprécoce et précoce	Humide	2,17 <sup>a</sup>
	Sèche	2,53 <sup>a</sup>
	TV%	-14,23
Intermédiaire	Humide	5,38 <sup>a</sup>
	Sèche	1,87 <sup>b</sup>
	TV%	65,24
Hybride	Humide	5,88 <sup>a</sup>
	Sèche	3,51 <sup>b</sup>
	TV%	40,31

$$PE = \text{poids des épis (kg)}. \text{Taux de variation} = \frac{(Var_{SH} - Var_{SS})}{Var_{SH}} \times 100$$

### 1.4. Identification des variétés tolérantes au froid

L'indice de réponse au froid (IRF) a été calculé à partir du nombre total de feuilles, la hauteur de la plante, la surface de la feuille et le nombre de ramifications primaires de la panicule. Il a permis d'identifier pour chaque groupe de variété la variété tolérante et la variété sensible au froid.

#### ➤ Variété à cycle extraprécoce et précoce

L'indice de réponse au froid a relevé que la variété FBC6 a été tolérante et KPJ a été sensible à l'effet du froid (tableau 13).

**Tableau 13 :** Classification des variétés extraprécoce et précoce en fonction de l'indice de réponse au froid

Tolérante	Modérément tolérante	Modérément sensible	Sensible
$IRFm + 3EC \leq x$ $3,80 \leq x$	$IRFm + 2EC \leq x < IRFm + 3EC$ $3,58 \leq x < 3,80$	$IRFm + EC \leq x < IRFm + 2EC$ $3,36 < x \leq 3,58$	$IRFm \leq x < IRFm + EC$ $3,15 \leq x < 3,36$
FBC6 (3,81)	WARI (3,58)	Barka (3,46) KPB (3,41) KEB (3,40)	KPJ (3,15)

IRFm= indice minimum de réponse au froid observé, EC= écartype= 0.21

➤ **Variétés à cycle intermédiaire**

Parmi les variétés à cycle intermédiaire, aucun génotype n'a été tolérant. Seulement, SR22 et ESPOIR se sont montrés modérément tolérant. Par contre, OBATANPA a été sensible (tableau 14).

**Tableau 14** : Classification des variétés à cycle intermédiaire en fonction de l'indice de réponse au froid

Tolérante $IRFm + 3EC \leq x$ $3,60 \leq x$	Modérément tolérante $IRFm + 2EC \leq x < IRFm + 3EC$ $3,43 \leq x < 3,60$	Modérément sensible $IRFm + EC \leq x < IRFm + 2EC$ $3,27 \leq x < 3,43$	Sensible $IRFm \leq x < IRFm + EC$ $3,11 \leq x < 3,27$
	SR22 (3,53) ESPOIR (3,49)	SR21 (3,42) FBMS1 (3,36)	OBATANPA (3,11)

IRFm= indice minimum de réponse au froid observé ; EC= écartype= 0.16

➤ **Variétés hybrides**

Bondofa et BondofaM ont manifesté une tolérance modérée au froid. A inverse KomsayaM a été sensible (tableau 15).

**Tableau 15** : Classification des variétés hybrides en fonction de l'indice de réponse au froid

Tolérante $IRFm + 3EC \leq x$ $3,74 \leq x$	Modérément tolérant $IRFm + 2EC \leq x < IRFm + 3EC$ $3,62 \leq x < 3,74$	Modérément sensible $IRFm + EC \leq x < IRFm + 2EC$ $3,49 \leq x < 3,62$	Sensible $IRFm \leq x < IRFm + EC$ $3,37 \leq x < 3,49$
	Bondofa (3,73) BondofaM (3,65)	Komsaya (3,57) BondofaF (3,57) KomsayaF(3,53)	KomsayaM (3,37)

IRFm= indice minimum de réponse au froid observé ; EC= écartype= 0.12

➤ **Variétés lignées**

A l'exception de B73, qui a été modérément tolérant, tous les génotypes ont été sensibles à l'effet du froid (tableau 16).

**Tableau 16** : Classification des variétés lignées par rapport à l'indice de réponse au froid

Tolérante $IRFm + 3EC \leq x$ $4,23 \leq x$	Modérément tolérant $IRFm + 2EC \leq x < IRFm + 3EC$ $3,81 \leq x < 4,23$	Modérément sensible $IRFm + EC \leq x < IRFm + 2EC$ $3,39 \leq x < 3,81$	Sensible $IRFm \leq x < IRFm + EC$ $2,96 \leq x < 3,39$
	B73 (4,11)		ELN41-1-1-4 (3,34) ELN43-4-5-3 (3,32) FBML10 (3,28) TZ118 (2,96)

IRFm= indice minimum de réponse au froid observé ; EC= écartype= 0.42

## 1.5. Performance agronomique et tolérance au froid

### ➤ Variétés à cycle extraprécoce et précoce

En plus de sa sensibilité au froid par rapport aux paramètres morphologiques, la variété KPJ a eu en moyenne la plus faible productivité. Par contre, Barka et Wari qui ont exprimé respectivement une sensibilité et une tolérance modérée ont eu une bonne performance (tableau 17).

**Tableau 17** : Performance agronomique et tolérance au froid des variétés à cycle extraprécoce et précoce

Variétés	PEH (kg)	PES (kg)	Moyenne	IRF	Classification
KPJ	1,57	2,27	1,92	3,15	Sensible
Barka	2,77	2,80	2,78	3,46	Sensibilité modérée
KEB	1,70	2,83	2,27	3,40	Sensibilité modérée
KPB	2,43	2,50	2,47	3,41	Sensibilité modérée
Wari	2,37	2,63	2,50	3,58	Tolérance modérée
FBC6	2,20	2,17	2,18	3,81	Tolérante

PEH : Poids épis en saison humide ; PES : Poids épis en saison sèche ; IRF : indice de réponse au froid.

### ➤ Variétés à cycle intermédiaire

Il n'y avait pas une claire correspondance en le potentiel de rendement des variétés à cycle intermédiaire et leur tolérance au froid sur la base des caractéristiques morphologiques. La bonne performance agronomique pour les variétés à cycle intermédiaire aussi bien en saison humide qu'en saison sèche froide a été constatée chez la variété Obatanpa suivie de SR21, mais elles ont été respectivement sensibles et modérément sensibles au froid concernant les paramètres morphologiques (tableau 18).

**Tableau 18** : Performance agronomique et tolérance au froid des variétés à cycle intermédiaire

Variétés	PEH (kg)	PES (kg)	moyenne	IRF	Classification
FBMS1	3,80	1,00	2,40	3,36	Sensibilité modérée
SR21	5,97	1,67	3,82	3,42	Sensibilité modérée
Obatanpa	6,97	3,17	5,07	3,11	Sensible
Espoir	5,77	1,77	3,77	3,49	Tolérance modérée
SR22	4,40	1,77	3,08	3,53	Tolérance modérée

PEH : Poids épis en saison humide ; PES : Poids épis en saison sèche ; IRF : indice de réponse au froid.

### ➤ Variétés Hybrides

Avec une tolérance modérée au froid, BondofaM et Bondofa ont présenté en moyenne les plus grandes performances agronomiques. Par contre Komsaya a eu en moyenne le plus faible poids des épis en plus d'avoir manifesté une sensibilité modérée (tableau 19).

**Tableau 19** : Performance agronomique et tolérance au froid des variétés hybrides

Variétés	PEH (kg)	PES (kg)	moyenne	IRF	Classification
Bondofa	6,10	3,40	4,75	3,73	tolérance modérée
BondofaF	6,50	3,30	4,90	3,57	sensibilité modérée
BondofaM	7,23	3,57	5,40	3,65	tolérance modérée
Komsaya	4,47	3,53	4,00	3,57	sensibilité modérée
KomsayaF	5,13	4,13	4,63	3,53	sensibilité modérée
KomsayaM	5,90	3,13	4,52	3,37	Sensibilité

## I.2. Discussion

L'effet de la saison sèche froide a été notable sur plusieurs paramètres agromorphologiques.

L'induction tardive de la floraison et la hausse de la quantité de chaleur accumulée du semis à la floraison pendant la saison sèche froide ont été dues au fait qu'en saison sèche froide, la température était faible. De ce fait, la plante met plus de temps pour accumuler la quantité de chaleur nécessaire à la formation des organes sexuels. En effet, Delmotte (2010) a décelé que la précocité d'une variété est déterminée par la somme de températures dont elle a besoin. Il a noté également que le temps nécessaire pour atteindre cette somme de température est moins long en période chaude. Inversement, Bechoux *et al.* (2000) ont trouvé que lorsque le froid (15°C) intervient juste avant la transition florale, la floraison du maïs survenait à un âge plus précoce.

Durant la saison sèche froide, l'écart entre les floraisons mâle et femelle est très grand ce qui signifie que les floraisons mâle et femelle ont été moins synchronisées. Herrero *et al.* (1981) ont constaté que le stress hydrique entrave la synchronisation entre la floraison mâle et femelle. Cela prouve que le froid a entraîné un stress hydrique. Selon Engels en 1994 le froid induit un stress hydrique du fait qu'il rend l'eau visqueuse et réduit la perméabilité du système racine. Le synchronisme des floraisons a été de loin le paramètre le plus affecté par le froid. Comme la sécheresse, il pourrait être utilisé dans la sélection des génotypes tolérants.

La hauteur des plantes en saison sèche froide a été moins importante. Cela pourrait s'expliquer par le ralentissement de la croissance des plantules exposées aux basses températures en saison sèche froide. Aussi, Dao (2008) *et* Yacouba (2005) ont-ils décelé que la croissance des plantes du maïs et du sorgho est largement dépendante du bon fonctionnement du système racinaire. Engels (1994) a conclu que l'élongation de la tige est nettement plus faible lorsque le système racinaire et le méristème de tige sont exposés au froid qui diminue fortement la perméabilité des membranes cellulaires ainsi que la division et la différenciation cellulaires.

Le nombre total de feuilles a évolué en saison sèche froide pour les variétés composites et hybrides cela semble indiqué que l'intensité du froid était modérée et transitoire. Ce qui aurait donc induit un stress atténué. La reprise de la croissance a dû accélérer le processus d'initiation des feuilles. A ce propos, Louarn *et al.* (2010) ont constaté que certains génotypes ayant subi un stress transitoire et modéré avaient des activités métaboliques plus accélérées. D'autres par contre ont récupéré difficilement ; ce fut le cas des variétés lignées, chez

lesquelles le nombre total de feuilles a été moins important. Concernant la largeur, la longueur et la surface des feuilles, elles ont rétréci chez presque toutes les variétés. Ce rétrécissement pourrait être dû à l'interruption de la division cellulaire par le froid. En effet, Louarn *et al.* (2010) ont prouvé que si le froid survient pendant la phase exponentielle, celle-ci est fortement ralentie pendant le stress, mais la durée de la phase linéaire qui suit est allongée, de sorte que la taille finale de la feuille ne soit pas réduite. Par contre, si la feuille est dans sa phase linéaire de croissance lorsqu'elle perçoit le froid, la durée de cette phase diminue et la taille finale est irréversiblement réduite.

Le nombre de ramifications primaires de la panicule a été le paramètre paniculaire dont la réduction a été notable. Cette remarque est en adéquation avec celle de Bechoux *et al.* (2000) qui ont trouvé que la phase d'initiation des panicules et du dernier bourgeon axillaire donnant l'épi, est une étape au cours de laquelle la plante ne supporte aucun stress. Bechoux *et al.* (2000) ont aussi constaté que le froid peut durant cette phase selon les génotypes, diminuer le nombre de ramifications de la panicule et induire l'avortement de l'épi primaire remplacé par une languette foliacée.

La réduction du poids des épis observés en saison sèche froide pourrait être le résultat de l'absence de synchronisation entre les floraisons ainsi que la diminution du nombre de ramifications de la panicule. Herrero *et al.* (1981) ont noté que la synchronisation entre les floraisons influence le pourcentage de fécondation et le nombre de grains formés. Chez les variétés extraprécoce et précoce, les floraisons ont été un peu plus synchronisées ce qui explique la similarité entre le poids des épis de la saison sèche froide et humide. Cependant le poids des épis des variétés hybrides et leurs parents a été meilleur à celui des autres variétés en saison sèche froide. Cela confirme les résultats de Charturika *et al.* (2014) qui ont trouvé que le rendement des hybrides est toujours meilleur par rapport à celle des autres variétés en période de froid au vu de l'importance de leur système racinaire.

Parmi les variétés FBC6 a été la plus tolérante à l'effet du froid. B73, SR22, Espoir et Bondofa ont pour leur part manifesté une tolérance modérée.

### **I.3. Conclusion partielle**

L'étude des paramètres agromorphologiques du maïs en saison humide et en saison sèche froide a permis de constater que le froid durant la saison sèche au Burkina Faso entraîne un allongement de la floraison, le ralentissement de la croissance de la tige, le rétrécissement de la surface de la feuille, la réduction du nombre total de feuilles, du nombre de ramifications primaires de la panicule et du poids des épis. Ces effets peuvent être réversibles selon le génotype, le stade auquel survient le froid, l'intensité et la durée du froid. Le froid a certainement influencé le maïs dès la germination. Afin de confirmer et expliciter ces résultats, la deuxième partie des résultats aborde les phénomènes engendrés par le froid sur le maïs au stade juvénile.

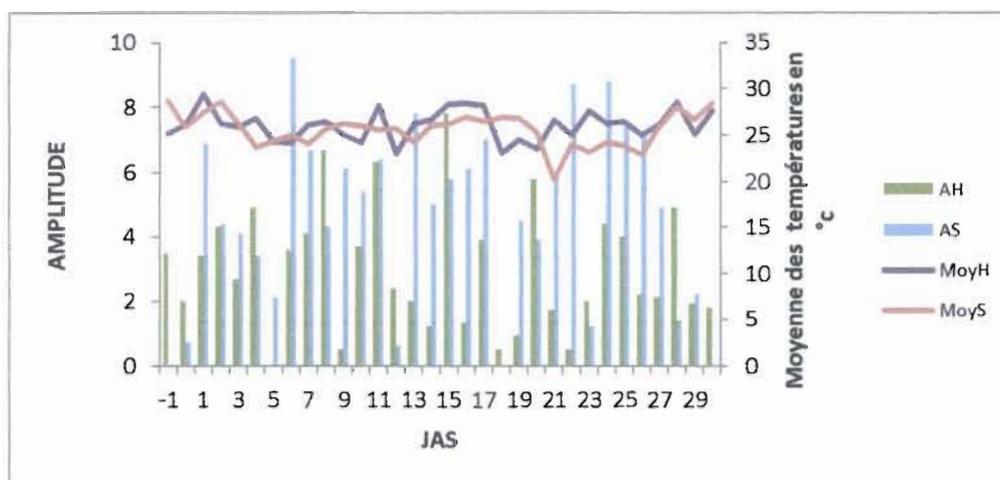
## II. Expérimentation pendant le stade juvénile

### II.1. Résultats de l'expérimentation pendant le stade juvénile

#### 2.1.1. Caractérisation du climat au cours de l'expérimentation pendant le stade juvénile

##### a. Température ambiante

L'amplitude thermique en saison sèche froide, avec un pic de 9,5, était plus grande que celle enregistrée en saison humide dont la valeur la plus grande est de 7,8 (figure 5). Cela signifie que la température varie moins en saison humide qu'en saison sèche froide. Par contre la courbe de la moyenne des températures en saison humide, avec 23°C minimal et 29,4°C maximal, est au-dessus de celle de la saison sèche froide qui oscillait entre 20,15°C et 28°C.

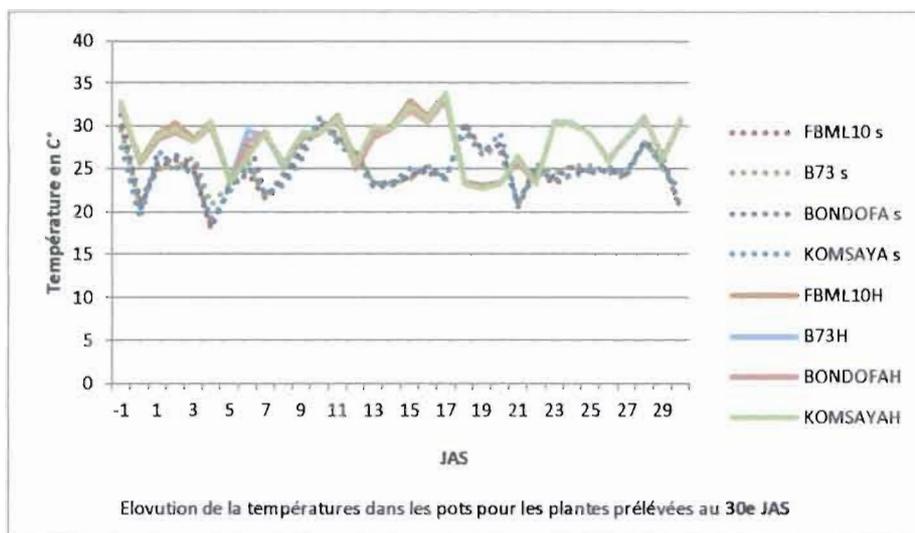
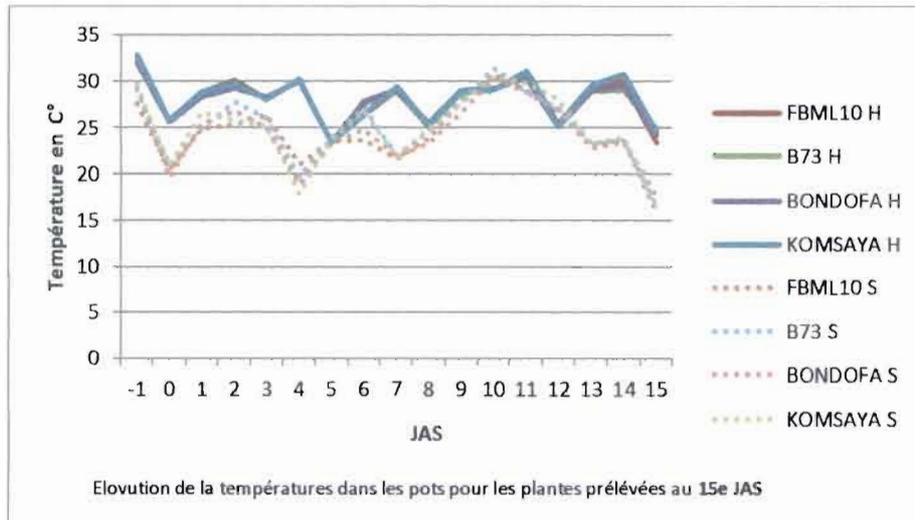


AH : amplitude thermique en saison humide ; AS : amplitude thermique en saison sèche froide ; MoyH : température moyenne en saison humide ; MoyS : température moyenne en saison sèche froide

**Figure 5** : Evolution de la température dans la serre de la saison humide à la saison sèche froide

##### b. Evolution de la température dans les pots

L'évolution de la température pendant l'expérimentation en saison humide et en saison sèche froide est similaire dans les pots (figure 6). Elle oscillait dans les pots dépouillés au 15<sup>e</sup> jour après semis en saison humide entre 23,45 °C et 32,8 °C et en saison sèche froide entre 16,04 °C et 31,4 °C. La température des pots dépouillés au 30<sup>e</sup> jour après semis variait en saison humide entre 22,65 °C et 33,95 °C et en saison sèche froide entre 18,25 °C et 31,3 °C.



FBML10 H : température en saison humide dans les pots contenant FBML10 ; B73 H : température en saison humide dans les pots contenant B73 ; BONDOFA H : température en saison humide dans les pots contenant BONDOFA ; KOMSAYA H : température en saison humide dans les pots contenant KOMSAYA ; FBML10 S : température en saison sèche froide dans les pots contenant FBML10 ; B73 S : température en saison sèche froide dans les pots contenant B73 ; BONDOFA S : température en saison sèche froide dans les pots contenant BONDOFA ; KOMSAYA S : température en saison sèche froide dans les pots contenant KOMSAYA.

**Figure 6 :** Evolution de la température dans les pots de la saison humide à la saison sèche froide

### **2.1.2. Effet du froid sur les paramètres morphologiques et racinaires du maïs au stade juvénile**

L'analyse de variance des données de l'expérimentation pendant le stade juvénile présentée dans le tableau 20, a révélé que :

- Le coefficient de variation de presque toutes les variables était inférieur à 25% ce qui signifie qu'il y a peu de disparité entre les observations.
- D'une saison à l'autre, il y a eu un effet significatif sur la plupart des variables excepté le nombre d'entre-nœuds racinaires formés au 15<sup>e</sup> et 30<sup>e</sup> jour après semis.
- Pour la biomasse racinaire au 15<sup>e</sup> jour après semis, la hauteur de la plante au 15<sup>e</sup> jour après semis, le nombre de feuille au 15<sup>e</sup> et 30<sup>e</sup> jour après semis, le nombre d'entre-nœud au 15<sup>e</sup> et 30<sup>e</sup> jour après semis et la biomasse aérienne au 30<sup>e</sup> jour après semis, les variétés sont statistiquement identiques. Cependant, les variétés ont présenté des différences statistiquement significatives pour les variables : levée, la hauteur au 30<sup>e</sup> jour après semis, biomasse aérienne au 15<sup>e</sup>, biomasse racinaire au 30<sup>e</sup> jour après semis, nombre de racine au 15<sup>e</sup> et 30<sup>e</sup> jour après semis.
- L'interaction entre la saison et la variété a été significative pour les variables levée, hauteur de la plante au 30<sup>e</sup> jour après semis, nombre d'entre-nœud et nombre de racines au 15<sup>e</sup> jour après semis. Concernant les biomasses aérienne et racinaire au 15<sup>e</sup> et 30<sup>e</sup> jour après semis, la hauteur de la plante au 15<sup>e</sup> jour après semis, le nombre de feuille au 15<sup>e</sup> et 30<sup>e</sup> jour après semis, le nombre d'entre-nœuds et le nombre de racines au 30<sup>e</sup> jour après semis, l'interaction entre la saison et génotype n'a pas été significative.
- Le test SNK pour la comparaison des moyennes par rapport au facteur variété consigné dans le tableau 21, montre que statistiquement.
- Les variétés B73, Bondofa, Komsaya ont eu la même durée de levée supérieure à celle de FBML10.
- Pour la biomasse aérienne au 15<sup>e</sup> jour après semis, celle de B73 était inférieure à celle de FBML10, Bondofa et Komsaya qui ont été identiques.
- Les variétés FBML10 et B73 ont été similaires le 15<sup>e</sup> jour après semis pour le nombre de racines, et l'ont surtout été le 30<sup>e</sup> jour après semis pour la biomasse racinaire et pour la hauteur des plantes. Ces mêmes variétés ont été inférieures à Bondofa et Komsaya qui, elles étaient identiques au 30<sup>e</sup> jour après semis pour les caractères biomasse racinaire et au 15<sup>e</sup> jour après semis, pour le nombre de racines. Aussi, au 30<sup>e</sup> jour après semis, les

plantes de Komsaya étaient les plus grandes. Elles ont donc été différentes par rapport à la hauteur des autres variétés de plantes.

**Tableau 20 : Analyse de variance**

sources de variation	Levée	BA15	BR15	HP15	NF15	NEN15	NR15	BA30	BR30	HP30	NF30	NEN30	NR30
SAISON	132,16 ***	72,90 ***	16,28 **	178,47 ***	43,81 ***	1,33 NS	9 *	29,42 ***	62,22 ***	460,07 ***	70 ***	0,31 NS	11,96 *
Variété	8,25 ***	4,48 *	0,14 NS	1,84 NS	0,28 NS	2,40 NS	18,61 **	3,23 NS	5,66 *	75,94 ***	0,57 NS	1,59 NS	4,54 *
SAISON*variété	4,37 *	3,57 NS	0,58 NS	2,01 NS	2,97 NS	7,35 *	11,15 **	2,19 NS	1,92 NS	7,49 *	0,57 NS	1,89 NS	0,77 NS
E Res	0,586	0,087	0,035	3,62	0,46	0,46	0,71	4,753	0,642	4,079	0,85	0,845	4,23
MOY	5,028	0,367	0,112	27,56	5,26	3,87	10	9,408	2,11	84,51	10,3	5,2	19,5
CV	11,65	23,6	31,3	13,16	8,7	12	7,07	50,52	30,41	4,83	8,23	16,25	21,6

\*, \*\*, \*\*\* respectivement significatif à 5%, 1% et 0,1%; NS : non significatif ; GENO : génotype ; CV : coefficient de variation ; MOY : moyenne ; E-Res : erreur résiduelle ; BA15 : biomasse aérienne au 15<sup>e</sup>JAS, BR15 : biomasse racinaire au 15<sup>e</sup>JAS, HP15 : hauteur au 15<sup>e</sup>JAS, NF15 : nombre de feuille au 15<sup>e</sup>JAS, NEN15 : nombre d'entre-nœud au 15<sup>e</sup>JAS, NR15 : nombre de racine au 15<sup>e</sup>JAS ; BA30 : biomasse aérienne au 30<sup>e</sup>JAS, BR30 : biomasse racinaire au 30<sup>e</sup>JAS, HP30 : hauteur au 30<sup>e</sup>JAS, NF30 : nombre de feuille au 30<sup>e</sup>JAS, NEN30 : nombre d'entre-nœud au 30<sup>e</sup>JAS, NR30 : nombre de racine au 30<sup>e</sup>JAS.

Concernant le nombre de racines au 30<sup>e</sup> jour après semis, FBML10 et Komsaya étaient identiques entre elles et ensuite identiques à B73 et à Bondofa qui à son tour était supérieur à B73.

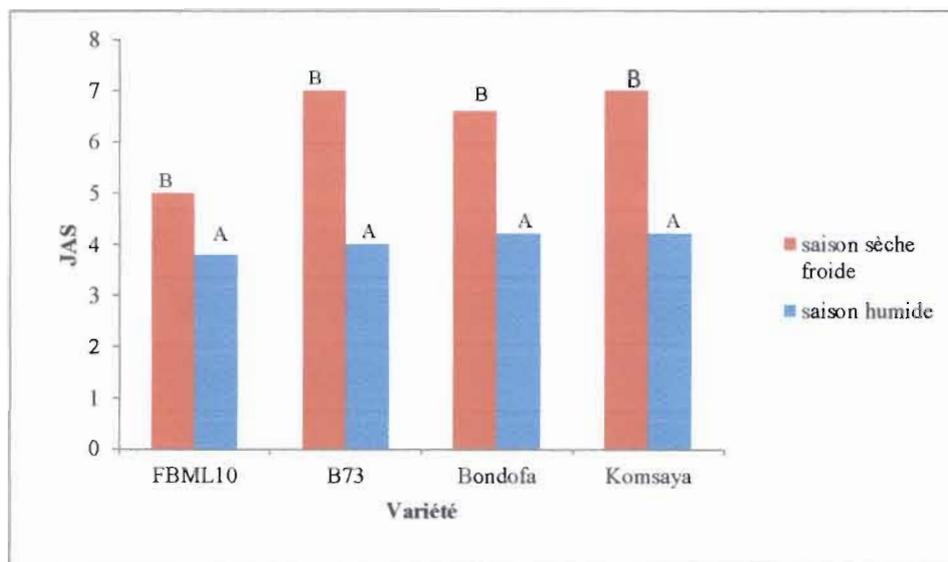
**Tableau 21 : Comparaison des moyennes**

GENO	Levée	BA15	BR30	HP30	NEN15	NEN30
FBML10	4.40 ± 0,34 <sup>a</sup>	0.41 ± 0,14 <sup>a</sup>	1.49 ± 0,65 <sup>b</sup>	68.87 ± 10,49 <sup>c</sup>	8,5±1,52 <sup>b</sup>	18,25±3,77 <sup>ab</sup>
B73	5.33 ±0,52 <sup>b</sup>	0.21 ± 0,06 <sup>b</sup>	1.21 ± 0,53 <sup>b</sup>	65.92 ± 13,52 <sup>c</sup>	9±0,66 <sup>b</sup>	13,75±2,09 <sup>b</sup>
BONDOFA	5.40 ± 0,42 <sup>b</sup>	0.38 ± 0,10 <sup>a</sup>	2.82 ± 0,94 <sup>a</sup>	100.75 ± 11,34 <sup>b</sup>	11±0,57 <sup>a</sup>	24,50±2,90 <sup>a</sup>
KOMSAYA	5.00 ±0,53 <sup>b</sup>	0.49 ± 0,19 <sup>a</sup>	3.18 ± 1,31 <sup>a</sup>	108.50 ± 21,50 <sup>a</sup>	11,75±0,57 <sup>a</sup>	22,33±3,18 <sup>ab</sup>
Pr > F	0,0004	0,0469	0,0275	<.0001	0,001	0,04
SIGNIFICATION	THS	S	S	THS	HS	S

A15 : biomasse aérienne au 15<sup>e</sup>JAS, BR15 : biomasse racinaire au 15<sup>e</sup>JAS, NR15 : nombre de racines au 15<sup>e</sup>JAS ; BR30 : biomasse racinaire au 30<sup>e</sup> JAS, HP30 : hauteur au 30<sup>e</sup> JAS.

### a. Levée

L'analyse de la variance a révélé que la durée de la levée pendant la saison humide est différente de celle de la saison sèche froide et varie aussi en fonction de la variété. En effet la figure 7 confirme que chez toutes les variétés, la levée a été plus rapide en saison humide qu'en saison sèche froide.



**Figure 7 : Vitesse moyenne de germination en fonction de la saison et de la variété**

## b. Paramètres foliaires

### Evolution du nombre de feuilles

La courbe d'évolution du nombre de feuilles en saison humide (figure 8), a été au-dessus de celle de la saison sèche froide pour toutes les variétés. La levée des plantes des variétés en saison sèche froide est intervenue avec 2 à 3 jours de retard qu'en saison humide, mais le nombre de feuilles formées s'est rapproché entre le 10<sup>e</sup> et 12<sup>e</sup> jour après semis. Au-delà de cette période, le développement des feuilles en saison humide est devenu plus important qu'en saison sèche.

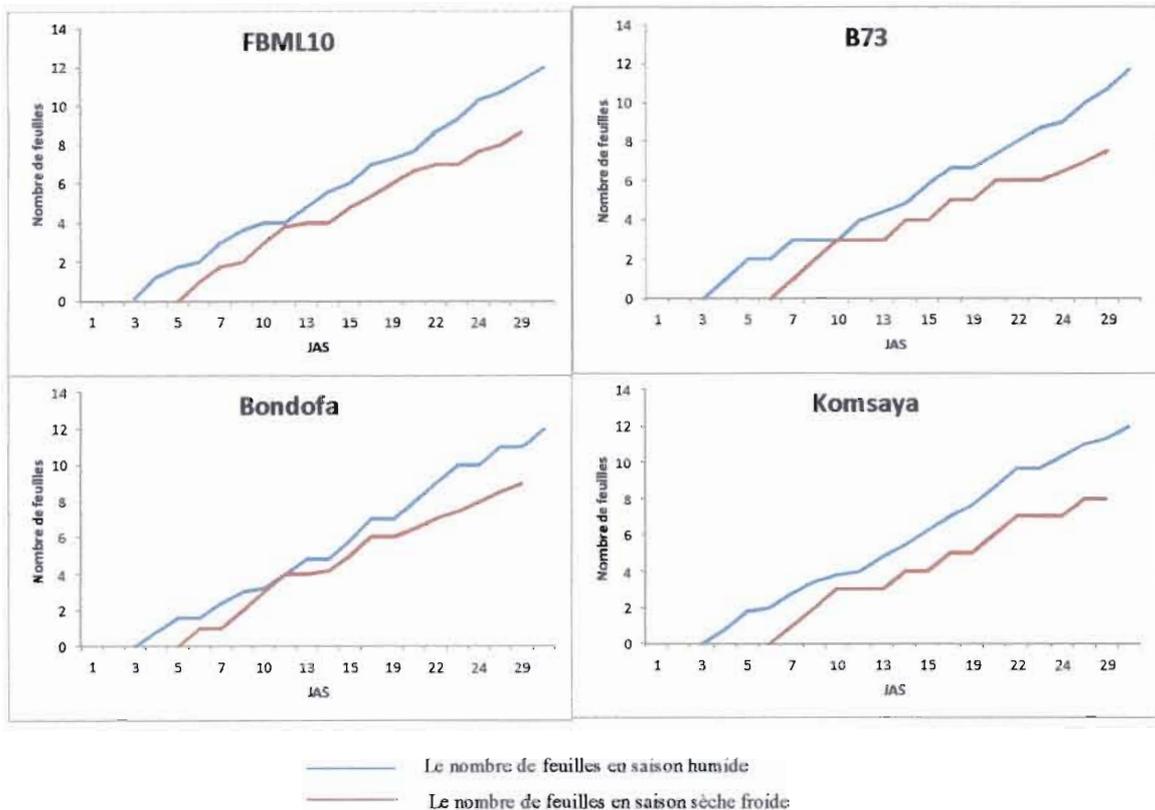


Figure 8 : Courbes d'évolution du nombre de feuilles par saison et par variété

### Phyllochrone

Le coefficient de corrélation  $R^2$  de la droite de régression entre le nombre de feuilles et la somme des températures était proche de 1 (figure 9 et 10). Cela signifie que le nombre de feuilles et la somme des températures étaient fortement corrélés. Par ailleurs, le phyllochrone a varié peu d'une variété à une autre. Quelle que soit la variété, le phyllochrone enregistré en saison sèche froide a été supérieur à celui de la saison humide (tableau 22).

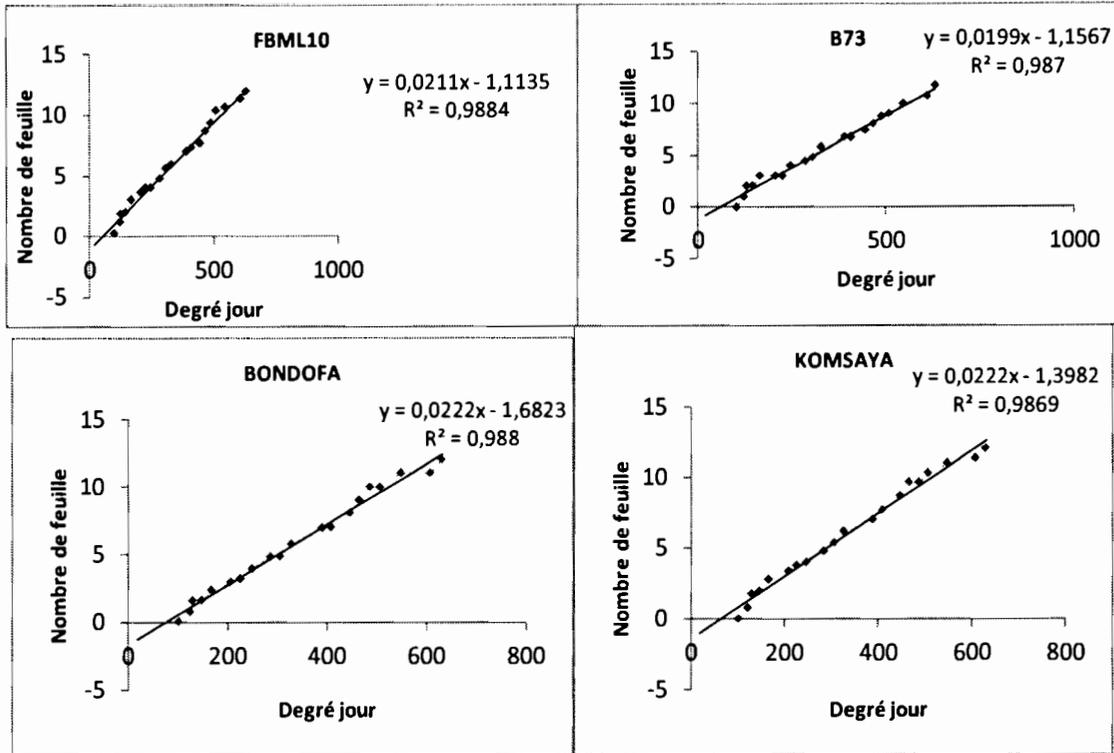


Figure 9 : Relation entre le nombre de feuilles et la somme des températures en saison humide

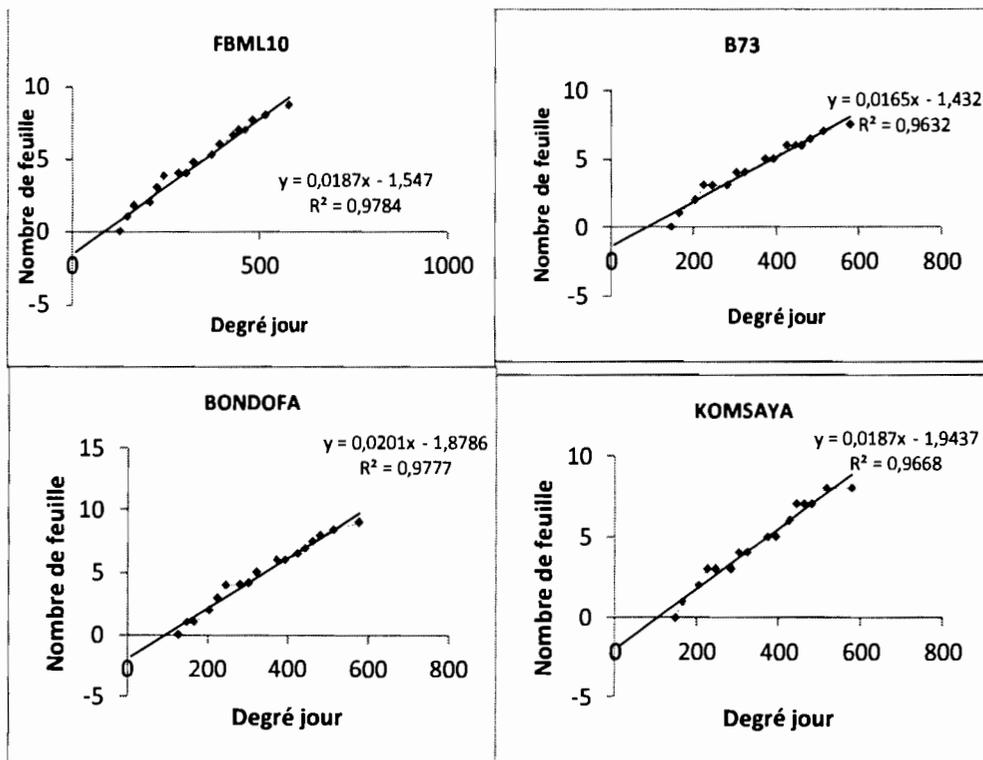


Figure 10 : Relation entre le nombre de feuilles et la somme des températures en saison sèche froide

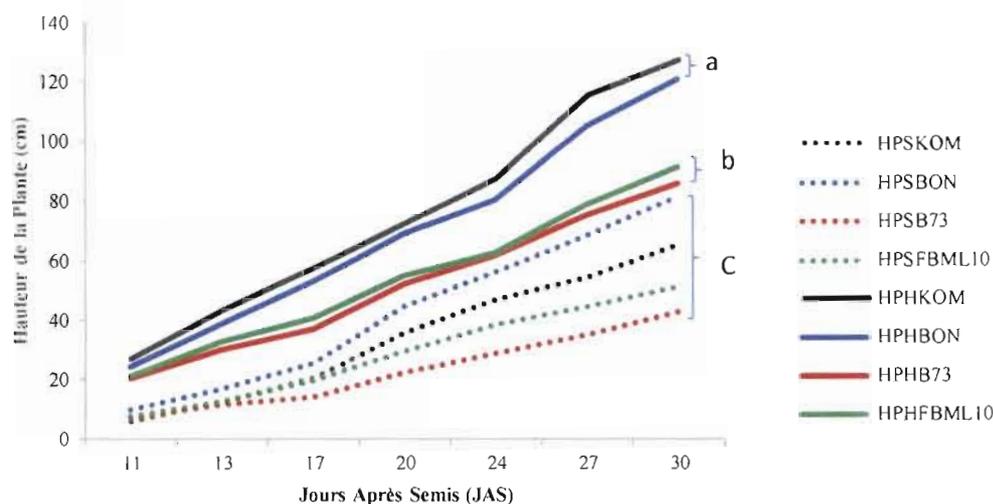
**Tableau 22** : Phyllochrone des variétés en fonction des saisons de cultures

Génotype	saison humide		saison sèche	
	Phyllo	R <sup>2</sup>	Phyllo	R <sup>2</sup>
FBML10	47,39	0,9884	53,47	0,978
B73	50,25	0,987	60,6	0,963
BONDOFA	45,04	0,988	49,75	0,977
KOMSAYA	45,04	0,986	53,47	0,966

Phyllo= phyllochrone ; R<sup>2</sup>= coefficient de corrélation ; Phyllo=l/pente

### c. Hauteur des plantes

La figure 11 révèle que pour les variétés utilisées, la croissance en hauteur pendant la saison humide était plus rapide qu'en saison sèche froide. En saison humide, la différence en hauteur entre les hybrides (Bondofa et Komsaya) et les lignées (B73 et FBML10) était nette dès le début (autour du 12<sup>e</sup> jour après semis). elle n'a été perceptible en saison sèche qu'à partir du 17-18<sup>e</sup> jour après semis. Par ailleurs la comparaison des moyennes avec le test SNK au seuil de 5% a indiqué qu'en saison humide les hauteurs des plantes de Bondofa et de Komsaya n'ont pas été significativement différentes au 30<sup>e</sup> jour après semis, le même résultat a été noté pour la hauteur de B73 et FBML10. Par contre en saison sèche, la différence de la hauteur entre les variétés au 30<sup>e</sup> jour après semis était non significative.

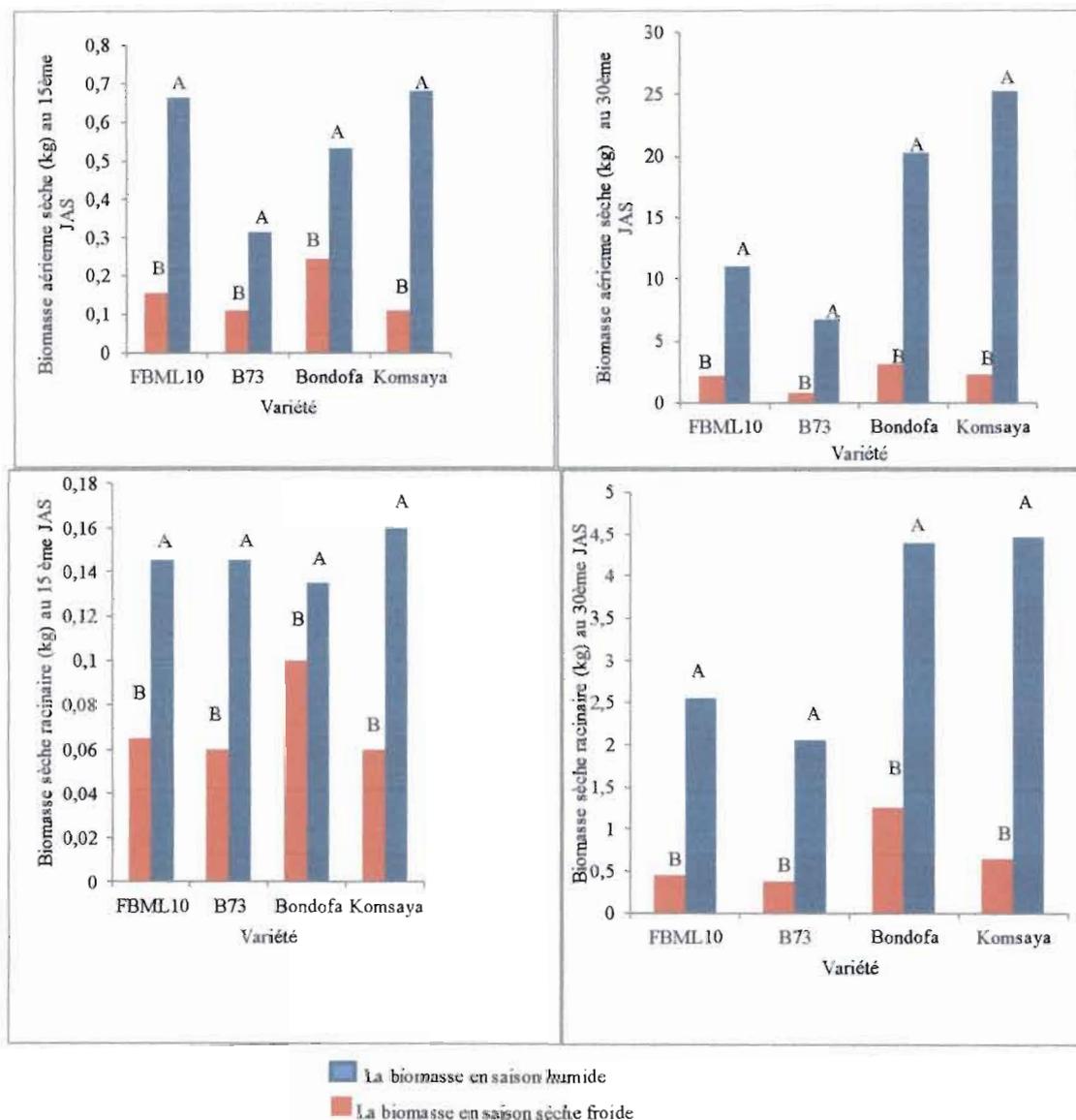


HPSKOM : hauteur de Komsaya en saison sèche froide, HPSBON : hauteur de Bondofa en saison sèche froide, HPSB73 : hauteur de B73 en saison sèche froide, HPSFBML10 : hauteur de FBML10 en saison sèche froide, HPHKOM : hauteur de Komsaya en saison humide, HPHBON : hauteur de Bondofa en saison humide, HPHB73 : hauteur de B73 en saison humide, HPHFBML10 : hauteur de FBML10 en saison humide

**Figure 11** : Croissance en hauteur

#### d. Biomasse aérienne et racinaire

L'analyse de variance a montré que pendant la saison humide il n'y a pas eu de différence entre les hybrides et les lignées pour la biomasse au stade juvénile. Par contre en saison sèche froide au 30<sup>e</sup> jour après semis, la biomasse racinaire de Bondofa était plus importante que celle des autres. Par ailleurs la biomasse aérienne et racinaire au 15<sup>e</sup> et au 30<sup>e</sup> jour après semis chez toutes les variétés en saison humide était plus importante que celle produite en saison sèche froide (figures 12).



BAS : biomasse aérienne en saison sèche froide, BAH : biomasse aérienne en saison humide, BRS : biomasse racinaire en saison sèche froide, BRH : biomasse racinaire en saison humide. A et B : indique qu'il a eu une différence significative entre la saison humide et la saison sèche froide pour la biomasse aérienne et racinaire

Figure 12 : Biomasse sèche aérienne et racinaire au 15<sup>e</sup> et 30<sup>e</sup> JAS

### e. Intensité de l'effet de la saison sur les paramètres mesurés

L'intensité de l'effet de la saison sèche froide sur les variables a été estimée en calculant le taux de réduction de la moyenne de la variable en saison sèche comparativement à la moyenne de la saison humide. La réduction de la performance des paramètres racinaire et aérien, due au climat de la saison sèche, a varié de 9 à 91% (tableau 23). La biomasse aérienne et racinaire au 30<sup>e</sup> jour après semis a été identifiée comme étant le paramètre le plus affecté.

**Tableau 23:** Taux de variation des paramètres pour chaque variété

Variété	Levées	NF	HP	Phyllo	BA15	BA30	BR15	BR30
<b>FBML10</b>	24,00	21,20	46,56	11,37	76,69	79,92	55,17	82,51
<b>B73</b>	42,86	22,76	55,26	17,08	65,08	88,27	58,62	81,95
<b>Bondofa</b>	36,36	16,84	38,34	9,47	53,77	84,35	25,93	71,53
<b>Komsaya</b>	40,00	25,40	54,47	15,77	83,82	90,68	62,50	85,63

BA15 : biomasse aérienne au 15<sup>e</sup>JAS, BR15 : biomasse racinaire au 15<sup>e</sup>JAS ; BR30 : biomasse racinaire au 30<sup>e</sup> JAS ; HP30 : hauteur au 30<sup>e</sup> JAS ; Phyllo= phyllochrone ; NF : nombre total de feuilles ; HP : hauteur de la plante ;

### 2.1.3. Identification des variétés tolérantes au froid

Excepté Bondofa qui a manifesté une tolérance modérée au froid, B73, FBML10 et Komsaya ont été sensibles (tableau 24).

**Tableau 24 :** Classification des variétés en fonction de l'indice de réponse au froid au stade juvénile

Tolérante $IRFm + 3EC < x$ $2,81 < X$	Modérément tolérant $IRFm + 3EC > x \geq IRFm + 2EC$ $2,8 > X \geq 2,57$	Modérément sensible $IRFm + 2EC > x \geq IRFm + IEC$ $2,57 > X \geq 2,33$	Sensible $IRFm + IEC > x \geq IRFm$ $2,33 > X \geq 2,08$
	Bondofa (2,62)		B73 (2,17) FBML10 (2,15) Komsaya (2,08)

IRFm= indice minimum de réponse au froid; EC= écartype= 0.16

## II.2. Discussion

Les résultats de l'évaluation pendant le stade juvénile ont révélé que plusieurs paramètres du maïs sont affectés par le climat de la saison sèche froide au stade juvénile.

En effet la durée de levée pendant la saison sèche froide est supérieure à celle de la saison humide. Cela pourrait s'expliquer par le fait que durant la saison humide, les températures sont plus élevées qu'en saison sèche froide ce qui permet à la graine d'emmagasiner plus rapidement la quantité de chaleur nécessaire pour la fin d'état de dormance d'où la courte durée de levée. A ce propos Delmotte (2010) trouve que pour la levée, la graine a besoin de 80 degrés jour et cette quantité de chaleur est accumulée plus vite en saison humide qu'en saison froide. Aussi, Parent *et al.* (2010) affirment-ils qu'au stade de la levée, la température du sol est le facteur critique et les baisses de température durant cette période peuvent ralentir ou inhiber le métabolisme général.

A cela s'ajoute la réduction du nombre de feuilles, le ralentissement de la vitesse d'initiation des feuilles et de la croissance en hauteur pendant la saison sèche froide qui pourraient être dus au ralentissement des activités meristématiques. Ces résultats sont en conformité avec ceux d'Engels (1994) qui a montré qu'au stade juvénile, l'exposition du méristème au froid ralentissait nettement la croissance et l'initiation des organes. De plus, le phyllochrone obtenu en saison humide est inférieur à celui de la saison sèche froide, cela confirme que les feuilles apparaissent plus vite en saison humide qu'en saison sèche froide. En effet Saeid (2011) a estimé que plus les valeurs du phyllochrone sont faibles, plus la croissance des feuilles est rapide. Par ailleurs Hund *et al.* (2007) ont trouvé que le ralentissement de la croissance est également causé par l'endommagement du fonctionnement et le retard de croissance du système racinaire. En effet nous avons remarqué lors de notre expérimentation que le nombre de racines adventives en saison humide est supérieur à celui de la saison sèche froide.

Toutes ces divergences dans le fonctionnement et la croissance des organes pendant la saison humide et la saison sèche froide pourraient expliquer l'importance de la biomasse aérienne et racinaire en saison humide par rapport à celle de la saison sèche froide. Ce constat est en adéquation avec ceux de Hund *et al.* (2007) qui ont prouvé que le ralentissement de la croissance de la feuille et du système racinaire rétrécit la surface d'interception lumineuse et réduit l'absorption et le transit d'éléments minéraux. Ceux-ci défavorisent la production de la biomasse totale. Explicitement le LGBP en 2013 a estimé que le froid abaisse la fluidité des

membranes cellulaires réduisant l'assimilation du CO<sub>2</sub> et l'efficacité de conversion de la radiation interceptée en biomasse (foliaire et racinaire) ou "Radiation Use Efficiency" (RUE).

Bondofa a manifesté une tolérance modérée au stade juvénile. Effectivement Chaturika *et al.* (2014) ont décelé une corrélation positive entre le développement racinaire et la biomasse totale et ont conclu que la tolérance des hybrides au froid est due au fait qu'il dispose d'un système racinaire plus important.

### **II.3. Conclusion partielle**

En somme, l'évaluation pendant la phase végétative de FBML10, B73, Bondofa, Komsaya en saison humide et en saison sèche froide nous a révélé que le froid pendant la saison sèche au Burkina Faso engendre le ralentissement de la levée, de la vitesse d'initiation des feuilles et de la croissance du maïs ainsi que la réduction de la biomasse aérienne et racinaire du maïs au stade juvénile. Toutefois, le calcul du taux de réduction pour chaque paramètre a révélé que Bondofa est la variété la moins affectée par le froid.

## Conclusion et perspective

Afin d'atteindre l'autosuffisance alimentaire par la modernisation et l'intensification des cultures, la recherche sur l'amélioration variétale du maïs s'est attelée à mettre au point des variétés de cycle intermédiaire, extraprécoce et précoce, des variétés hybrides et lignées. Cette étude a été initiée dans l'optique d'analyser les paramètres d'adaptation de ces variétés à la culture en saison sèche froide.

Au terme de cette investigation, il a été révélé que la saison sèche froide de cette année était survenue à la même période (octobre à février) et avec approximativement la même intensité que la moyenne durant les trente dernières années. Celle des années prochaines pourrait l'être similaire. Le climat à cette période de l'année a été plus froid que celui de la saison humide. De ce fait, son impact a été appréciable sur les variétés de maïs expérimentées au champ à travers la hauteur de la plante, le cycle, le poids des épis, les paramètres foliaires et paniculaires. Ces impacts ont été observés chez toutes les variétés. Cependant, cette variabilité agromorphologique induite par le froid n'a pas eu la même acuité chez celles-ci. En effet, FBC6 a montré une tolérance. Tandis que Wari, B73, Bondofa, SR22 et Espoir ont été modérément tolérantes.

L'évaluation de quatre variétés dont deux hybrides (Bondofa et Komsaya) et deux lignées (FBML10 et B73) au stade juvénile a permis de mettre en évidence la relation entre la température, le rythme d'émission des feuilles (phyllochrone) et le nombre de feuilles. Aussi cette évaluation a- elle montré que l'importance du système racinaire pour la tolérance au froid. En effet les variétés dont le système racinaire étaient bien développé, ont résisté mieux à l'effet du froid. Par ailleurs, la classification de la tolérance des variétés (Bondofa, FBML10, Komsaya) a été concordante entre les expérimentations au champ et en pots excepté pour la lignée B73.

Analyse générale du comportement de chaque groupe de variétés, variétés hybrides et leurs parents, variétés composites de cycle intermédiaire, variétés composites de cycles extraprécoce et précoce et variétés lignées, par rapport au froid indique que les variétés hybrides et les variétés composites précoces semblent être plus tolérantes au froid de la saison sèche contrairement aux variétés lignées qui se révèlent être très sensibles. Les variétés hybrides et composites de cycle extraprécoces et précoces pourraient alors être recommandées aux producteurs pour la culture en saison sèche froide.

Ces résultats constitueront le socle pour les programmes de recherche sur les variétés tolérantes au froid. Ainsi, il serait intéressant que les études ultérieures à ceux-ci s'accroissent sur :

- les réactions enzymatiques moléculaires induites par le froid afin de mieux comprendre les processus d'adaptations du maïs ;
- la corrélation entre les paramètres racinaires et la biomasse totale à un âge plus avancé ;
- les paramètres d'adaptation du maïs à la culture en saison sèche chaude ;
- la possibilité de combiner des germplasmes tempérés et tropicaux pour la recherche de variétés tolérantes au froid.

## Références bibliographiques

- Bechoux N., Bernier G et Lejeune P., 2000. Environmental effects on the early stages of tassel morphogenesis in maize. *Plant cell environ* 91-98.
- Bognini S., 2011. Impacts des changements climatiques sur les cultures maraîchères au nord du Burkina Faso : cas de Ouahigouya. *RENAF* 38p.
- Boubacar I., 2013. Caractérisation des saisons de pluies au Burkina Faso dans un contexte de changement climatique et évaluation des impacts hydrologique sur le bassin du Nakanbé. *HAL* 246p.
- Chaturika W., Matthew H., Brien et Raja R., 2014. Screening corn hybrids for cold tolerance using morphological traits for early-season seeding. *Dep of plant and soil sciences*, 117 Dorman Hall Box 9555. 867p.
- CPSA, 2014. Résultats définitifs de la campagne agricole et de la situation alimentaire et nutritionnelle 2013/2014. 77p.
- Dao A., 2008. Recherche de paramètres de tolérance et de sensibilité à la sécheresse chez le maïs au jeune âge. *INERA* 35p.
- 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.
- Durand E., 2011. Etude des bases (épi) génétiques de l'adaptation dans une expérience de sélection divergente pour la précocité de la floraison chez le maïs. *HALL* 254p.
- Delmotte A., 2010. Bien choisir sa variété de Maïs ensilage. *Chambre d'agriculture de l'Eure l'abreuvoir* 35p.
- Engels C., 1994. Effect of root and shoot meristem temperature on shoot to root dry matter partitioning and the internal concentration of nitrogen and carbohydrates in maize and wheat. *Ann. Bot* 211-219.
- FAO, 2011. Statistiques agricoles. Consulté le 11/03/2016 sur le site : [http : // www fao.org](http://www.fao.org) 2011.
- Herrero M P. et Johnson R., 1981. Drought stress and its effects on maize reproduction system. *Crop Sci* 21 : 105-110.
- Hund A., Richner W., Soldati A., Fracheboud Y., Stamp P., 2007. Root morphology and photosynthetic performance of maize inbred lines at low temperature. *Eur.J. Agron* 52-61.
- LGBP, 2013. Adaptation et acclimatation des plantes à l'environnement. 32p.

Leipner J. et Stamp P., 2009. Chilling stress in maize seedlings. Handbook of maize: its biology. 291-310.

Louarn G., Andrieu B et Giauffret C., 2010. A size-mediated effect can compensate for transient chilling stress affecting maize leaf extension. New phytol., 106-118.

Mohamed A, Abd E, et Ashraf A, 2013. Predicting the effect of temperature on leaf appearance in seven spring bread wheat genotypes. World Essays journal, 137-141.

Ouedraogo M., Ouedraogo S., et Kaboré M., 2011. Analyse de la compétitivité de la filière Maïs au Burkina Faso. Composante SRAI 36p.

Parent B, Turc.O, Gibon Y., Stitt M. et Tardieu F., 2010. Modelling temperature compensated physiological rates, based on the co-ordination of responses to temperature of developmental processes. J. Exp. Bot. 2057-2069.

Pallo F.J.P. 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). ISSN 1991-8631. 1839-1850.

Pietrini F, Iannelli M.A et Massaci A., 2002. Anthocyanin accumulation in the illuminated surface of maize leaves enhances protection from photo-inhibitory risks at low temperature, without further limitation to photosynthesis. Plant cell environ. 1251-1259.

RGA, 2006-2010. Direction de la prospective et des statiques agricoles et alimentaires.

Saied H., 2011. The study of phyllochron and leaf appearance rate in three cultivar of Maize (zea mays L.) At Nitrogen Fertilizer Levels.world applied sciences journal. 850-856.

Sanou J., 1996. Analyse de la variabilité génétique des cultivars locaux de Maïs de la zone de savane ouest-africaine en vue de sa gestion et de son utilisation. Thèse de doctorat ENSA Montpellier, France. 98p.

Sedogo L., 2007. Programme d'action national d'adaptation à la variabilité et aux changements climatiques (PANA Du BURKINA FASO). Ministère de l'Environnement et du cadre de vie. 76 p

SPAAA, 2012. Analyse des incitations et pénalisations pour le maïs au Burkina Faso.FAO.45p

Yacouba N C., 2005. Recherche de paramètres de tolérance et de sensibilité à la sécheresse chez le sorgho au jeune âge. UCAD 28p

## Annexe

**Tableau 25 : moyenne des variables pour les variétés à cycle extraprécoce et précoce**

SAISON	GENO	FM	FF	STF	STM	ASI	HP	HIE	NTF	NFSE	LONGF	LARGF	surface	LONGP	LBMP	NRPP	PE
HUMIDE	Barka	50,33	51,67	2019,87	1984,98	1,33	183,57	88,31	13,59	5,93	88,91	9,66	642,60	41,67	36,15	13,99	2,77
HUMIDE	FBC6	54,00	54,67	1718,37	1706,73	0,67	195,77	101,55	14,35	5,76	90,18	10,35	699,47	45,36	38,17	14,54	2,20
HUMIDE	KEB	37,33	39,00	1891,60	1834,30	1,67	154,80	62,30	11,70	5,07	77,28	8,17	473,33	39,65	32,70	12,90	1,70
HUMIDE	KPB	47,00	48,67	1846,05	1800,30	1,67	169,49	77,34	12,89	5,57	81,11	8,35	509,04	41,64	33,76	13,64	2,43
HUMIDE	KPJ	42,67	46,33	1938,85	1822,72	3,67	158,92	72,50	12,47	5,23	79,43	9,81	587,70	40,07	32,97	13,33	1,57
HUMIDE	WARI	53,33	54,33	1545,90	1467,40	1,00	177,89	89,10	13,74	5,53	86,29	9,96	645,07	43,63	37,38	13,86	2,37
Sèche	Barka	66,67	73,33	2315,68	2162,84	6,67	146,17	67,25	15,17	5,40	74,64	9,17	514,04	41,94	34,89	10,43	2,80
Sèche	FBC6	67,00	72,67	2244,85	2114,59	5,67	164,18	95,73	15,63	5,30	80,95	10,38	632,65	44,92	39,47	14,17	2,17
Sèche	KEB	59,33	62,00	2536,84	2423,26	2,67	116,77	40,83	13,20	4,73	62,93	8,07	380,66	37,00	29,98	9,17	2,83
Sèche	KPB	65,00	70,33	2444,84	2258,09	5,33	131,42	58,50	14,17	5,43	64,12	7,50	362,68	40,50	32,87	11,17	2,50
Sèche	KPJ	65,67	69,00	2514,43	2270,26	3,33	125,52	48,58	13,10	5,03	63,83	7,81	373,68	40,12	33,12	8,93	2,27
Sèche	WARI	69,00	74,33	2410,93	2270,26	5,33	145,22	76,33	14,73	5,43	74,89	9,38	526,78	42,57	37,66	12,07	2,63

**Tableau 26 : moyenne des variables pour les variétés à cycle intermédiaire**

SAISON	GENO	FM	FF	STF	STM	ASI	HP	HIE	NTF	NFSE	LONGF	LARGF	surface	LONGP	LBMP	NRPP	PE
HUMIDE	Espoir	52,00	54,00	1996,65	1926,40	2,00	221,07	95,31	14,53	5,40	82,55	10,74	664,83	42,45	37,77	14,70	5,77
HUMIDE	FBMS1	56,33	57,67	2125,63	2078,47	1,33	253,02	98,44	14,69	5,92	90,30	10,22	692,22	42,50	37,80	18,42	3,80
HUMIDE	Obatanpa	53,67	55,00	2031,90	1984,82	1,33	248,68	101,17	15,30	6,16	93,42	10,22	717,14	45,75	39,36	16,88	6,97
HUMIDE	SR21	53,00	54,67	2020,15	1961,15	1,67	241,02	103,13	15,10	5,63	93,30	9,77	682,81	46,38	40,59	14,23	5,97
HUMIDE	SR22	52,67	55,33	2043,45	1949,57	2,67	237,20	94,59	15,00	6,03	92,62	9,93	691,11	46,67	41,28	15,13	4,40
Sèche	Espoir	75,67	81,67	2824,09	2606,09	6,00	163,77	94,33	15,60	5,20	75,88	9,73	554,06	38,85	34,53	12,43	1,77
Sèche	FBMS1	78,33	83,67	2899,18	2700,09	5,33	166,28	91,33	14,55	5,70	84,20	10,43	659,35	43,92	48,62	14,00	1,00
Sèche	Obatanpa	74,67	81,00	2798,43	2573,26	6,33	169,53	89,40	16,07	5,53	79,02	9,10	539,51	45,53	37,23	10,57	3,17
Sèche	SR21	80,00	86,00	2980,59	2761,93	6,00	171,23	93,00	15,77	5,83	79,50	9,07	542,28	44,00	36,47	12,37	1,67
Sèche	SR22	77,67	83,33	2886,26	2675,84	5,67	177,50	102,23	16,30	5,53	82,25	9,88	609,92	45,63	38,40	12,23	1,77

**Tableau 27: moyenne des variables pour les variétés hybrides**

SAISON	GENO	FM	FF	STF	STM	HIE	NTF	NFSE	LONGF	LARGF	Surface	LONGP	LBMP	NRPP	PE
HUMIDE	Bondofa	53,00	55,00	1996,73	1925,65	103,17	15,30	5,97	93,82	10,39	731,59	45,53	39,95	15,30	6,10
HUMIDE	BondofaF	53,67	54,67	1996,57	1937,65	114,42	14,93	5,97	95,45	11,14	798,12	46,22	40,31	15,17	6,50
HUMIDE	BondofaM	51,00	53,67	1972,82	1890,15	107,75	15,13	5,60	95,95	10,57	760,89	47,04	40,26	14,87	7,23
HUMIDE	Komsaya	51,67	53,33	1972,98	1878,57	101,16	14,56	5,81	86,10	11,07	714,81	41,34	35,94	16,49	4,47
HUMIDE	KomsayaF	50,67	53,33	1984,82	1937,40	102,75	14,40	5,63	82,67	10,15	631,21	44,87	37,68	15,83	5,13
HUMIDE	KomsayaM	51,33	53,00	2020,15	1961,40	97,98	14,73	5,47	85,44	11,02	708,63	42,26	37,83	15,93	5,90
Sèche	Bondofa	76,33	82,67	2786,43	2594,59	111,12	16,60	5,57	90,35	9,87	668,68	47,47	40,38	12,47	3,40
Sèche	BondofaF	76,33	82,67	2837,26	2568,59	114,33	16,73	5,43	87,47	10,10	662,98	47,00	40,33	12,17	3,30
Sèche	BondofaM	78,00	82,00	2823,84	2586,43	100,97	16,27	5,57	88,22	9,77	646,08	47,50	39,80	13,10	3,57
Sèche	Komsaya	72,67	78,00	2686,93	2514,43	91,25	15,50	5,27	82,20	10,33	636,93	46,43	40,15	12,83	3,53
Sèche	KomsayaF	72,33	79,67	2799,59	2546,18	88,12	14,43	5,50	77,22	9,68	560,50	42,20	36,25	12,53	4,13
Sèche	KomsayaM	73,00	79,00	2786,76	2643,01	90,67	14,77	4,97	78,88	9,85	583,65	44,38	37,82	11,70	3,13

**Tableau 28 : moyenne des variables pour les variétés lignées**

SAISON	GENO	FM	FF	STF	STM	HIE	NTF	NFSE	LONGF	LARGF	Surface	LONGP	LBMP	NRPP
HUMIDE	B73	54,33	55,33	2425,99	2251,57	34,44	11,17	4,56	56,22	8,16	343,70	35,62	31,54	12,83
HUMIDE	ELN41-1-1-4	63,00	67,00	2301,52	2180,02	50,11	14,01	5,58	68,83	9,38	484,31	39,59	35,64	12,26
HUMIDE	ELN43-4-5-3	56,67	55,67	2497,37	2307,99	61,50	12,61	4,43	67,79	8,36	429,40	35,57	27,94	10,15
HUMIDE	FBML10	54,67	56,33	2312,82	2215,15	61,58	13,99	5,02	62,07	8,19	382,69	32,06	28,40	13,93
HUMIDE	TZI18	50,00	53,00	2371,32	2359,95	48,23	13,26	5,54	71,99	8,01	433,40	34,57	33,20	16,24
Sèche	B73	79,00	82,67	2518,19	2400,47	45,23	11,73	5,77	68,02	7,81	399,25	36,00	27,87	10,90
Sèche	ELN41-1-1-4	81,00	84,33	2558,14	2447,56	49,02	12,30	6,43	66,77	8,67	435,21	38,82	32,28	7,87
Sèche	ELN43-4-5-3	75,67	81,67	2616,77	2456,61	48,53	11,33	5,83	60,92	7,31	333,26	35,82	28,30	8,00
Sèche	FBML10	79,33	83,33	2692,62	2517,44	51,70	12,20	6,03	56,70	7,17	305,33	30,94	27,13	11,07
Sèche	TZI18	73,00	80,33	2606,19	2531,36	46,45	11,23	5,93	64,00	6,37	306,75	29,18	24,45	9,90