

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

Abdalla DAO^{1,*} Salimata Ga TRAORE¹,
Tégawendé Odette BONKOUNGOU¹, Jacob SANOU¹

Résumé

La disponibilité et l'accessibilité du maïs durant l'année requièrent le développement de stratégies pour permettre sa culture en toute saison. Cette étude avait pour objectif d'identifier les paramètres morphologiques et agronomiques des variétés de maïs affectées par le climat de la saison sèche froide. L'expérimentation a été conduite sur la station de Farako-Bâ pendant la saison humide 2015 et la saison sèche froide de 2015/2016. Le matériel génétique était composé de composites intermédiaires et extra-précoces et précoces. Le dispositif expérimental était un bloc Fisher complètement randomisé à trois répétitions. Les résultats ont révélé que la levée, le nombre total des feuilles, les floraisons, le synchronisme des floraisons, le nombre de ramifications primaires, le poids des épis et la croissance en hauteur ont été significativement affectés par le froid. Les floraisons mâle et femelle, et leur écart ont connu une augmentation en saison sèche froide allant de 5 % à 226 %. Par contre pour la plupart des autres caractères, il y a eu une réduction des valeurs moyennes en saison sèche froide variant de 3,21% à 65,25%. Sur la base des paramètres agromorphologiques, les composites extra-précoces et précoces semblent être moins influencées par le froid de la saison sèche par rapport au composites intermédiaires. La variété FBC6 a été identifiée comme la plus adaptée à l'effet du froid tandis que SR22, Espoir, et Wari ont été modérément adaptées. Ces résultats constituent une base pour la mise au point de variétés performantes et adaptées à toute saison de culture.

Mots clés : maïs, Burkina Faso, saison sèche froide, saison humide

Investigating of maize (*Zea mays* L.) adaptation to cold dry season cultivation in the western part of Burkina Faso

Abstract

¹ Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA/CNRST), BP 910, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

***Auteur correspondant :** Abdalla DAO, +226 76 84 64 75, adao@wacci.ug.edu.gh
ORCID : <https://orcid.org/0000-0001-9965-1353>

DOI : <https://doi.org/10.64707/revstsna.v44i1.1776>

The availability and accessibility of maize throughout the year involves the development of strategies to enable its production in any period. This study aimed to identify the morphological and agronomic parameters of maize varieties affected by the cold dry season climate. The experiment was conducted at the Farako-Bâ station during the wet and cold dry seasons of 2015. Genetic material, including intermediate and extra-early and early open-pollinated were investigated. The experimental design was randomized complete block with three repetitions. Results showed that emergence, total number of leaves, male and female flowering, anthesis-silking interval, number of primary branches, ear weight and height growth were affected by cold. Cold occurring in dry season increased male and female flowering and anthesis-silking interval by 5% to 226%. However, for the majority of other traits, cold reduced their mean values by 3.21% to 65.25%. Based on the agromorphological parameters, hybrid varieties and extra-early and early composites appear to be less influenced by the cold. FBC6 was identified as the most tolerant to the effect of cold, while SR22, Espoir, and Wari were moderately tolerant. These results provide a basis for the development of high-performance varieties adapted to all growing seasons.

Keywords: Burkina Faso, maize, dry season cold, rainy season 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 (SEMASSA et *al.* 2016). 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 diverses conditions allant du climat tropical au climat tempéré, depuis le niveau de la mer jusqu'à 3000 mètres d'altitude (SHAW, 2015). Le maïs constitue la première spéculation céréalière au Burkina Faso (FAOSTAT, 2025). Sa culture 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 (MECV, 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.

Au regard des menaces, 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 extra-précoce, 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. La présente étude avait pour objectif de : i) déterminer l'effet du climat de la saison sèche froide sur le développement des paramètres morphologiques, agronomiques des variétés du maïs ; ii) évaluer l'effet du climat de la saison sèche froide sur les variétés composites extra-précoces et précoces, les variétés composites intermédiaires, les hybrides précoces et leurs parents, et les lignées.

I. Matériels et méthode

I.1. Zone d'étude

L'expérimentation a été conduite à l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (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 argilo-sableuse en profondeur. Le pH se situe entre 5 et 5,5 avant la mise en culture (PALLO *et al.*, 2010).

La pluviométrie et les températures minimales et maximales de Farako-Bâ durant ces trente (30) dernières années (1985 à 2015) illustrées par la figure 1, 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. Les fortes températures ont été 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.

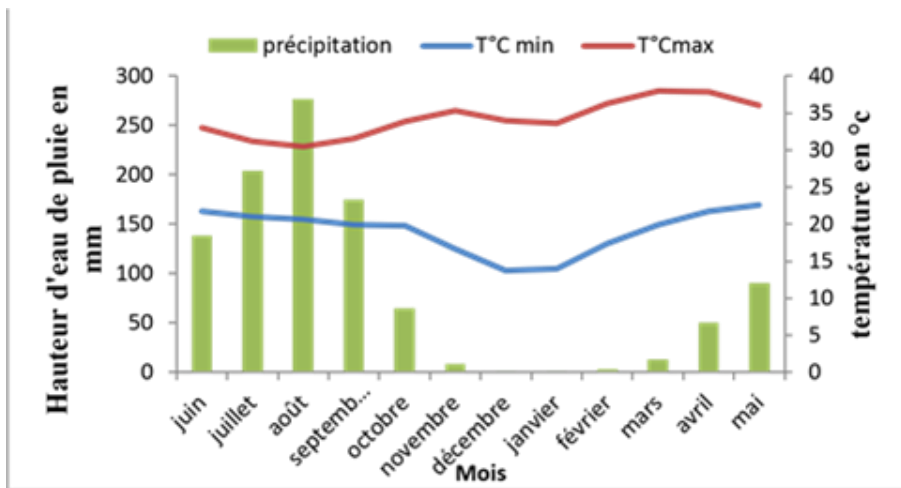


Figure 1. Pluiosité et températures moyennes mensuelles de Farako-Bâ de 1985 à 2015

I.2. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé était composé de 5 variétés composites de cycle intermédiaire et de 7 variétés composites de cycle extra-précoce et précoce évalués en essais indépendants en fonction du type variétal (Tableau I).

Tableau I : Liste du matériel génétique

Essai	Nom	Type de variété	Cycle de maturité	Rendement potentiel (t/ha)
Essai 1	KPB	composite	Précoce	3,40
	Wari	composite	Précoce	6,4
	Barka	composite	extraprécoce	5,5
	KEJ	composite	extraprécoce	3,2
	KPJ	composite	Précoce	3,4
	FBC6	composite	Précoce	5,6
Essai 2	KEB	composite	extraprécoce	3,10
	Obatanpa	composite	Intermédiaire	3,8
	SR 21	composite	Intermédiaire	5,10
	SR 22	composite	Intermédiaire	4,20
	Espoir	composite	Intermédiaire	6,5
	FBMS1	composite	Intermédiaire	

I.3. Evaluation au champ

Les expérimentations ont été implantées de Juin à octobre 2015 en saison humide et de Novembre 2015 à mars 2016 en saison sèche froide. Les expérimentations 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 dispositif bloc Fischer avec 3 répétitions a été utilisé pour l'évaluation de chaque groupe variétal. Chaque génotype a été plantée sur 2 lignes de 5 m chacune aux écartements de 0,8 m entre les lignes et 0,25 m entre les poquets en raison d'une graine par poquet. Les mesures ont été effectuées sur 10 plantes choisies aléatoirement.

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 saison sèche froide, le désherbage a été effectué grâce à un sarclage manuel. L'engrais NPK (14-23-14) 200 kg/ha et 50 kg/ha de KCl ont été apporté au 15^e jour après semis (JAS). Pendant la saison sèche froide, le NPK (15-15-15) a été apporté lors du semis. L'urée (46% d'azote) a été apportée de manière fractionnée 100 kg/ha au 30^e JAS et 50 kg/ha au 45^e JAS dans les deux essais.

Pendant la saison sèche froide, l'eau a été approvisionnée sur la parcelle grâce à une irrigation goutte à goutte deux fois par semaine.

I.4. Variables étudiées

Les données collectées ont porté sur la date de 50 % de floraison mâle (FM) et floraison femelle (FF) qui sont le nombre de jours après semis ou 50% des plantes présentes sur la parcelle utile ont émis du pollen et des soies respectivement ; l'intervalle de temps entre la floraison mâle et la floraison femelle (ASI = anthesis silking-interval) qui est le synchronisme entre la floraison mâle et femelle estimé en faisant la différence entre la floraison mâle et la floraison femelle. Également les sommes des températures pour la floraison mâle (STM) et la floraison femelle (STF) qui est la somme des températures du semis à la floraison mâle et la floraison femelle, respectivement ont été estimées. La Hauteur des plantes (HP) en cm a été mesurée du sol jusqu'à la base de la panicule. La hauteur d'insertion de l'épi principal (HIE) en cm a été prise à partir du sol jusqu'à l'entre-nœud d'insertion de l'épi. Le nombre total de feuilles (NTF) correspondant à la totalité des feuilles a été compté après la floraison. Le nombre de feuilles au-dessus de l'épi principal (NFSE) correspondant au nombre de feuilles situé au-dessus de l'épi a été collecté après la floraison. La longueur de la feuille de l'épi principal (LONGF) en cm a été mesurée à partir de la base de la feuille d'épis jusqu'à la partie terminale de la même feuille. La largeur de la feuille de l'épi principal (LARGF) a été mesurée en cm au niveau de la partie la plus large de la feuille. La surface de la feuille de l'épi (Sur) a été calculée en multipliant la largeur par la longueur de la feuille de l'épi et par la constante de bonhomme (0.75). La longueur de la panicule (LONGP) a été mesurée en cm à partir du dernier entre-nœud jusqu'à l'extrémité de son brin mètre. La longueur du brin mètre de la panicule (LBMP) a été mesurée (en cm) de la base de brin mètre jusqu'à son extrémité. Le nombre de ramifications primaires (NRP) a été en procédant au comptage du nombre de ramifications de la panicule directement liées à la tige de la panicule.

Le Poids des épis (PE) récoltés au champ sur les parcelles utiles ont été prise à l'aide d'une balance. Le Rendement (RDT) a été estimée en t/ha à partir de la formule suivante :

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

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 m²)

I.6. Analyse de données

Une analyse de variance combinée a été effectuée pour les deux saisons (saison humide 2015 et saison sèche froide 2015/2016) en considérant chaque saison comme un environnement dans l'objectif de déterminer les variations dues aux génotypes, à la saison et à l'interaction saison x génotype. Le test de Student Newman Keuls (SNK) au seuil de 5% a été utilisé pour la comparaison des moyennes. Le logiciel Microsoft Excel 2010 a été utilisé pour l'élaboration des graphiques. La somme des températures qui est la quantité de chaleur accumulée par la plante a été calculée 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 WIJewardana *et al.* (2015) (Tableau II) 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.

La formule ci-dessous a été utilisée pour l'estimation.

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

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

IRF = indice de réponse au froid

IRFm= indice de réponse au froid minimum

EC= écartype des indices de réponse au froid

Tableau II : Classification des variétés en fonction de l'indice de réponse au froid selon le modèle de WIJEWARDANA *et al.* (2015).

Tolérante	Modérément tolérante	Modérément sensible	Sensible
IRFm + 3EC ≤ x	IRFm + 2EC ≤ x < IRFm + 3EC	IRFm + EC ≤ x < IRFm + 2EC	IRFm ≤ x < IRFm + EC

II. Résultats

II.1. Caractérisation du climat au cours de l'expérimentation

Au cours des essais de la saison humide (juin à octobre), les précipitations ont varié de 84,3 mm pour le mois d'octobre 2015 à 284,8 mm pour septembre avec une moyenne de 194,72 mm. Pour la température, les minimas ont varié de 22,18 °C observé dans le mois de Juillet à 27,99 °C pour le mois d'octobre avec une moyenne de 23,25 °C. Les maximas ont évolué de 29,57°C pour le mois d'Aout à 33,32°C pour juin avec une moyenne de 31,67 °C (figure 2). 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 pour décembre 2016 et 20,4 °C pour Mars 2016 avec une moyenne de 16,29 °C et les températures maximales ont varié de 32 °C pour Décembre 2016 à 42,2°C avec une moyenne 35,65 °C. Les résultats du test de Student ont révélé que les températures minimales de la saison humide sont significativement différentes ($P < 0.000321$) de celles de la saison sèche froide. Ces caractéristiques du climat durant l'expérimentation au champ ont été similaires à celles décrites sur la période des 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.

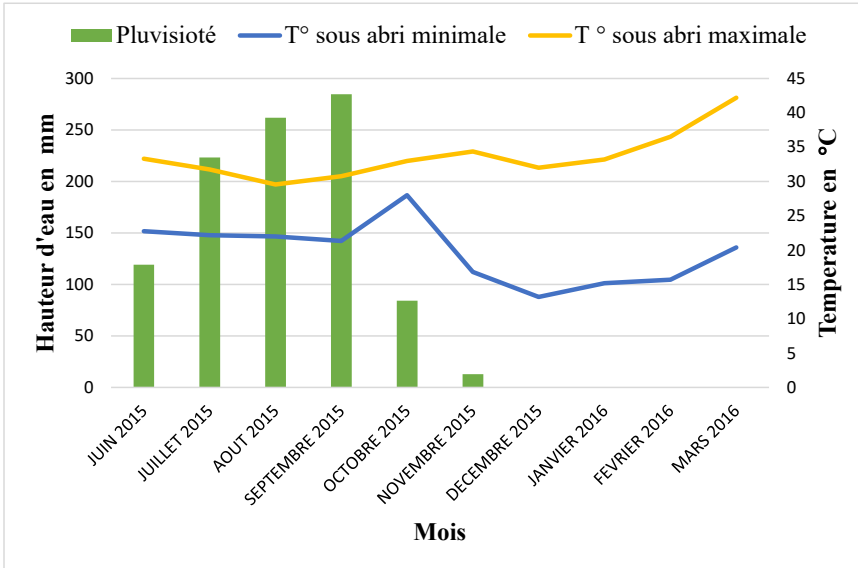


Figure 2 : Evolution de la température et de la pluviométrie au cours de l’expérimentation en saison humide en 2015/2016 et la saison sèche 2016

II.2. les résultats de l’analyse de variance des paramètres étudiés

Pour les variétés composites extra-précoces et précoces, des différences significatives ($P < 0.05$) ont été observées entre les variétés pour la majorité des paramètres à l’exception du synchronisme des floraisons (ASI) et le poids des épis (PE). Les deux saisons étaient significativement différentes pour la majorité des caractères à l’exception de 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). Des différences significatives ($P < 0.001$) ont été observées pour l’interaction variété x saison seulement pour la floraison mâle (FM) et de la somme des températures pour la floraison mâle (STM) (Tableau III). Il existait 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).

Tableau III : Carrés moyens pour les paramètres mesurés chez les variétés composites extra-précoces et précoces évalués en saison humide (juin à octobre) 2015 et en saison sèche froide (novembre à mars) 2015/2016

Variables	Variété	Saison	Saison* variete	Eres	Moy	CV
FM	6,15*	93,95***	7,13***	1,76	56,44	3,13
FF	30,60**	777,09***	1,01 ^{ns}	2,27	59,69	3,82
ASI	0,28 ^{ns}	18,67***	1,65 ^{ns}	2,19	3,25	67,65
STM	6,55*	541,85***	6,62***	61,92	2009,64	3,08
STF	25,30***	569,29***	1,37 ^{ns}	73,49	2119,01	3,46
HIE	24,60**	35,46***	0,91 ^{ns}	8,72	73,19	11,92
HP	119,89***	87,48***	0,10 ^{ns}	11,28	155,81	7,25
LARGF	6,62*	2,91 ^{ns}	0,59 ^{ns}	1,17	9,05	12,92
LONGF	20,27**	113,45***	0,82 ^{ns}	3,84	77,04	4,99
Sur	14,31**	21,71***	0,57 ^{ns}	82,27	528,91	15,55
NTF	32,03***	12,19**	0,17 ^{ns}	1,04	13,72	7,57
NFSE	10,55*	5,16*	0,32 ^{ns}	0,38	5,36	7,15
PE	1,67 ^{ns}	10,51 ns	0,62 ^{ns}	0,72	2,35	30,6
LONGP	20,06**	0,75 ^{ns}	0,20 ^{ns}	2,86	41,58	6,89
LBMP	16,62**	0,24 ns	0,29 ^{ns}	3,2	34,92	9,19
NRPP	2,75*	49,13***	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

Les résultats de l'analyse de variance et les coefficients de variation des variables observées chez les variétés composites à cycle intermédiaire sont consignés dans le tableau IV. Les coefficients de variation pour la majorité des caractères étaient inférieurs à 15% à l'exception du synchronisme des floraisons ASI et du poids des épis (PE). A l'exception de la somme des températures pour la floraison femelle (STF) et du poids des épis (PE), les variétés sont statistiquement similaires pour les autres paramètres. Hormis, la longueur de la panicule (LONGP), du brin mètre de la panicule (LBMP) et la hauteur d'insertion de l'épi (HIE), il existait des différences significatives ($P < 0.05$) entre les saisons pour tous les autres variables. Des différences significatives ($P < 0.05$) ont été notées pour l'interaction saison x variétés 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).

Tableau IV : Carrés moyens pour les paramètres mesurés chez les variétés composites à cycle intermédiaire évalués en saison humide (juin à octobre) 2015 et en saison sèche froide (novembre à mars) 2015/2016

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

II.3. Effet du froid de la saison sèche sur les caractères étudiés

La figure 3 montre que les variétés composites à cycle extra- précoce et précoce ont accumulé moins de chaleur pendant les deux saisons par rapport aux variétés composites intermédiaires. Pour atteindre la floraison mâle durant la saison humide les plantes de maïs des variétés à cycle extra- précoce et précoce ont accumulé une quantité de chaleur variant entre 1467,4 et 1984, 98 °j inférieure à celle de la saison sèche froide qui a évolué entre 2114,59°j et 2423,26°j. Les variétés composites ont accumulées entre 1926,4 °j et 2078.47 °j en saison humide contre 2573.26 °j et 2761, 93 °j en saison sèche froide.

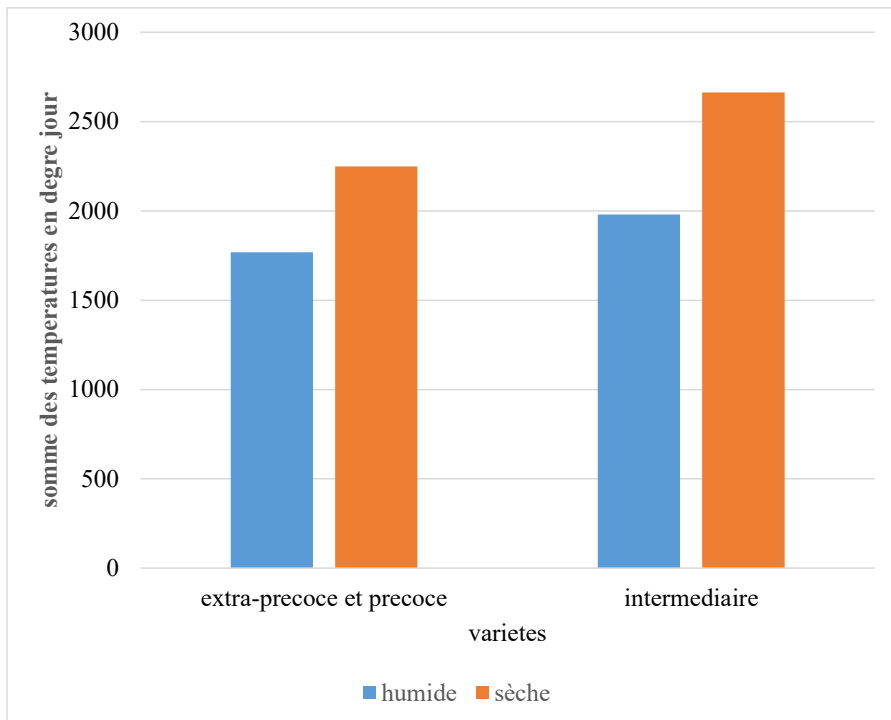


Figure 3 : Somme des températures pour la saison humide et sèche froide

Somme des températures= Σ = Tmax = température maximale; Tmin = température minimale ; Tbase = température de base du maïs (6°C).

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 composites à cycle intermédiaire par rapport au cycle extra-précoces et précoces. (Tableau V).

Tableau V : Impact du froid sur le cycle du maïs

variétés	Saison	FM (nombre de jours)	FF (nombre de jours)	ASI
Composite extraprecocce et Precocce	Humide	47,44 ^a	49,11 ^a	1,66 ^a
	Sèche	65,44 ^b	70,28 ^b	4,83 ^b
	PR (%)	-37,69	-43,10	-191
Composite Intermédiaire	Humide	53,53 ^a	55,33 ^a	1,8 ^a
	Sèche	77,26 ^b	83,13 ^b	5,87 ^b
	PR (%)	-30,72	-33,44	226.11

FM et FF= floraison mâle et femelle en nombre de jours ; ASI= synchronisme des floraisons ; PR = pourcentage de réduction = $(\frac{VarSH-VarSS}{VarSH} \times 100)$ VarSH= variable en saison humide ; VarSS= variable en saison sèche froide ; des lettres similaires affectées aux saisons signifient une différence non-significative entre elles tandis que des lettres différentes signifient une différence significative.

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

Tableau VI : Effet du froid sur les hauteurs du maïs

variétés	Saison	HP (cm)	HIE (cm)
Composites extra-précoce et Précoce	Humide	173,4 ^a	81,85 ^a
	Sèche	138,22 ^b	64,54 ^b
	PR%	20,30	21,15
Composites intermédiaires	Humide	240,20 ^a	98,53 ^a
	Sèche	169,66 ^b	94,06 ^b
	PR (%)	29,37	4,54

HP = Hauteur de la plante en cm ; HIE = Hauteur de l'insertion de l'épi en cm ; PR = Pourcentage de réduction = [(Variable en condition humide – Variable en condition froide)/variable en condition humide] *100 ; des lettres similaires affectées aux saisons signifient une différence non-significative entre elles tandis que des lettres différentes signifient une différence significative.

Les variations des paramètres foliaires en saison humide par rapport à la saison froide sont présentées dans le Tableau VII et diffèrent d'un paramètre à un autre. Le nombre total de feuilles (NTF) en saison sèche froide était plus élevé que celui dénombré pendant la saison humide chez tous les types variétaux tandis que le nombre de feuilles supérieur à l'épi était moins important en saison sèche froide comparée à la saison humide. Aussi, 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 tous les paramètres foliaires, les variétés à cycle intermédiaire ont été les moins affectées.

Tableau VII : Intensité du froid sur les paramètres foliaires

Variétés	Saison	NTF	NFSE	LARGF (cm)	LONGF (cm)	Surface (m ²)
Composites extra-précoce et Précoce	Humide	13,12 _a	5,51 ^a	9,38 ^a	83,86 ^a	592,86 ^a
	Sèche	14,33 _b	5,22 ^b	8,71 ^b	70,23 ^b	465,08 ^b
	PR (%)	-9,22	5,27	7,09	16,26	21,55
Composites Intermédiaire	Humide	14,93 _a	5,83 ^a	10,174 ^a	90,44 ^a	689,62 ^a
	Sèche	15,66 _b	5,56 ^b	9,64 ^b	80,17 ^b	581,02 ^b
	PR (%)	-4,90	4,62	5,22	11,35	15,75

NTF = nombre total de feuilles; NFSE = nombre de feuilles supérieur à l'épi ; LARGF = largeur de la feuille (cm) ; LONGF = longueur de la feuille = variable en saison

humide ; PR = Pourcentage de réduction = [(Variable en condition humide – Variable en condition froide)/variable en condition humide] *100 ; des lettres similaires affectées aux saisons signifient une différence non-significative entre elles tandis que des lettres différentes signifient une différence significative.

Les différences observées entre les paramètres d’architecture de la panicule en saison froide et ceux de la saison humide présentées dans le Tableau VIII ont révélé que 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 pour tous les deux types variétaux. Egalement, le nombre de ramifications primaires de la panicule a été plus nombreux durant la saison humide qu’en saison sèche froide.

Les résultats de l’effet du froid sur le poids des épis des génotypes étudiés indiqués dans le Tableau IX ont montré que la saison froide a contribué à diminuer significativement le poids des épis des génotypes chez les variétés à cycle intermédiaire par rapport à la saison humide

Tableau VIII : Effet du froid sur l’architecture de la panicule

Variétés	Saison	LONGP (cm)	LBMP (cm)	NRPP
Composites extraprécoces et Précoces	Humide	42,00 ^a	35,18 ^a	13,71 ^a
	Sèche	41,17 ^a	34,66 ^a	10,99 ^b
	PR (%)	1,97	1,48	19,85
Composites intermédiaires	Humide	44,74 ^a	39,36 ^a	15,87 ^a
	Sèche	43,58 ^a	39,05 ^a	12,32 ^b
	PR (%)	2,59	0,79	22,38

LONGP, LBMP= longueur de la panicule et du brin mètre de la panicule (cm) ; NRPP= nombre de ramifications primaires de la panicule ; PR = Pourcentage de réduction = [(Variable en condition humide – Variable en condition froide)/variable en condition humide]*100 ; des lettres similaires affectées aux saisons signifient une différence non-significative entre elles tandis que des lettres différentes signifient une différence significative.

Tableau IX : Effet du froid sur le poids des épis

Variétés	Saison	PE (kg)
Composites extra-précoces et précoces	humide	2,17 a
	Sèche	2,53 a
	PR (%)	-14,23
Composites intermédiaires	humide	5,38 a
	Sèche	1,87 b
	PR (%)	65,24

PE = poids des épis (kg) ; PR = Pourcentage de réduction = [(Variable en condition humide – Variable en condition froide)/variable en condition humide]*100 ; des lettres similaires affectées aux saisons signifient une différence non-significative entre elles tandis que des lettres différentes signifient une différence significative.

II.4. Identification des variétés tolérantes au froid

L'indice de réponse au froid (IRF) 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 a permis d'identifier pour chaque groupe de variétés, les variétés tolérantes et les variétés sensibles au froid.

Chez les variétés composites à cycle extra-précoce et précoce, la variété FBC6 a été tolérante au froid tandis que KPJ a été sensible à l'effet du froid (Tableau X).

Chez les variétés composites à cycle intermédiaire, aucun génotype n'a été identifié tolérant au froid. SR22 et ESPOIR se sont montrés modérément tolérant tandis que OBATANPA a été sensible (Tableau XI).

Tableau X : Classification des variétés composites extra-précoce et précoce en fonction de l'indice de réponse au froid

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

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

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

Tolérante	Modéré ment tolérante	Modéré ment sensibl e	Sensible
IRFm + 3EC ≤ x	IRFm +2EC ≤ x <	IRFm +EC ≤ x <	IRFm ≤ x < IRFm +EC
3,60 ≤ x	IRFm +3EC 3,43 ≤ x < 3,60	IRFm +2EC 3,27 ≤ x < 3,43	3,11 ≤ x < 3,27
	SR22 (3,53) ESPOIR (3,49)	SR21 (3,42) FBMS 1 (3,36)	OBATA NPA (3,11)

II.5. Performance agronomique et tolérance au froid

Chez les variétés composites à cycle extra-précoce et précoce, la variété KPJ qui a été identifié comme sensible au froid a enregistré la plus faible moyenne en termes de productivité. Par contre, Barka et Wari qui ont affiché respectivement une sensibilité et une tolérance modérée ont eu une bonne performance (Tableau XII).

Il n'y avait pas une claire correspondance en ce qui concerne le potentiel de rendement des variétés composites à cycle intermédiaire et leur tolérance au froid sur la base des caractéristiques morphologiques. Les meilleures performances agronomiques pour les variétés à cycle intermédiaire aussi bien en saison humide qu'en saison sèche froide ont été constatées chez la variété Obatanpa suivie de SR21 alors qu'elles ont été respectivement sensibles et modérément sensibles au froid concernant les paramètres morphologiques (Tableau XIII).

Tableau XII : Performance agronomique et tolérance au froid des variétés composites à cycle extra-précoce 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

Tableau XIII : 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.

III. Discussion

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

L'induction tardive de la floraison pendant la saison sèche froide serait liée aux basses températures. La hausse des sommes des températures seraient liées également aux faibles températures observées durant la période. 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 *et al.* (2010) ont 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. De ce fait, le froid a un effet sur l'intervalle entre la floraison mâle et la floraison femelle. ZAIDI *et al.* (2010) ont reporté aussi dans leurs études que le froid a un effet sur le synchronisme floraison mâle et femelle. Selon ENGELS *et al.* (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. Selon ZHANG *et al.* (2020), le froid réduit le taux de germination et la vigueur des plantules et YANG *et al.* (2028) et CHEN et TANG (2012) ont rapporté que les basses températures pendant la phase de plantules peuvent diminuer la hauteur des plantes, la longueur des racines, la capacité des racines à absorber les nutriments minéraux, la teneur en chlorophylle des feuilles. Ceci conduira finalement à une inhibition de la croissance des plantes. ZHAO *et al.* (2022) ont stipulé que le maïs est sensible au froid et il a un retard de croissance et de développement lorsqu'il est soumis au froid pendant et après la levée. ENGELS *et al.* (1994) ont 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 cela semble indiquer 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. Concernant la largeur, la longueur et la surface des feuilles, elles ont rétréci chez toutes les variétés. AVILA *et al.* (2018) et MENG *et al.* (2022) ont rapporté aussi que le froid a un impact sur la biomasse du maïs. 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, la diminution du nombre de ramifications de la panicule et une malformation ou un mauvais remplissage des grains du au froid. ORTEZ *et al.* (2022) ont noté aussi que les extrêmes conditions climatiques telles que le froid, la sécheresse, la chaleur entraîne un manque de synchronisation entre les floraisons, un mauvais remplissage des grains et des épis anormaux. Chez les variétés extra-précoce 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. Parmi les variétés FBC6 a été la plus tolérante à l'effet du froid, SR22, et Espoir ont pour leur part manifesté une tolérance modérée.

Conclusion

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.

Conflit d'intérêt

Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêt

Contribution des auteurs

S. G.T. a conduit l'essai et a écrit le document original, A.D. et T.O.B. ont édité le document, A.D. et J. S. ont supervisé le travail.

Références bibliographiques

AVILA L.M., OBEIDAT W., EARL H., NIU X.M., HARGREAVES W., LUKENS L. 2018. Shared and genetically distinct *Zea mays* transcriptome responses to ongoing and past low temperature exposure. *BMC Genomic*, 19, 761.

BECHOUX N., BERNIER, G., LE JEUNE P, 2009. Environmental effects on the early stages of tassel morphogenesis in maize. *Plant cell environment*, 91-98.

CHEN M., TANG J., 2012. Effects of low temperature stress on chlorophyll fluorescence characteristics of com seedlings. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University Natural Science Edition*, 33: 20-24

CPSA., 2014. Résultats définitifs de la campagne agricole et de la situation alimentaire et nutritionnelle 2013/2014.

DELMOTTE A., 2010. Bien choisir sa variété de Maïs ensilage. *Chambre d'agriculture de l'Eure l'abreuvoir*, 31-35

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. *Annals of Botany*, 73(2): 211-219.

FAOSTAT, 2025. Statistiques agricoles. Accessible en <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (consulte le 12/02/2025)

FAOSTAT, 2011. Statistiques agricoles. Accesible en <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (consulté le 11/03/2016)

LOUARN G., ANDRIEU B., GIAUFFRET C., 2010. A size-mediated effect can compensate for transient chilling stress affecting maize leaf extension. *New phytologist*, 106-118.

MECV., 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 (MECV), 84

MENG A.J., WEN, D.X., ZHANG C.Q., 2022. Maize seed germination under low-temperature stress impacts seedling growth under normal temperature by modulating photosynthesis and antioxidant metabolism. *Frontier Plant Science*, 13: 843033.

ORTEZ O.A., MCMECHAN A.J., HOEGEMEYER T., CIAMPITTI I.A., NIELSEN R.L., THOMISON P.R., 2022. Conditions potentially affecting corn ear formation, yield, and abnormal ears: A review. *Crop Forage Turfgrass Management*, 8(2):1–10.

PALLO F.J.P., SAWADOGO N., 2010. Essai de corrélation entre les caractéristiques du climat de la végétation et des sols au Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Science*, 4 (5). ISSN 1991-8631. 18391850

SEMASSA A.J., PADONOU S.W., ANIHOUVI V.B., AKISSOÉ N. H., Adjanohoun, A., Baba-Moussa L., 2016. Diversité variétale, qualité et utilisation du maïs (*Zea Mays*) En Afrique de l'Ouest: *Revue Critique. European Scientific Journal*, *ESJ* 12(18):197. doi: 10.19044/esj.2016.v12n18p197

SHAW, R. H., 2015. Climate requirement. *Corn and Corn Improvement: Third Edition*, 18, 609–638. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr18.3ed.c10>

WIJEWARDANA C., HOCK M., HENRY B., REDDY K.R., 2015. Screening corn hybrids for cold tolerance using morphological traits for early-season seeding. *Crop Science*, 55(2):851–67

YANG D., SUNY, IRFAN A R, LIU X, JINYING LV, JUPING Y U., 2018. Effect of low temperature stress on germination and physiological of maize seedling. *Journal of Northeast Agricultural University*, 49: 8–44.

ZAIDI P.H., YADAV M., MANISELVAN P., KHAN R., SHADAKSHARI T.V., SINGH R. P., PAL D., 2010. Morpho-physiological traits associated with cold stress tolerance in tropical maize (*Zea mays* L.). *Maydica*, 55: 201–208.

ZHANG H., ZHANG J., XU Q., WANG D., DI H., HUANG J., YANG X., WANG Z., ZHANG L., DONG L., WANG Z., ZHOU Y., 2020. Identification of candidate tolerance genes to low-temperature during maize germination by GWAS and RNA-seq approaches. *BMC Plant Biology*, 20(1): 1–17.

ZHAO X., ZHAO C., NIU Y., CHAO W., HE W., WANG Y., 2022. Understanding and comprehensive evaluation of cold resistance in the seedlings of multiple maize genotypes. *Plants*, 1–21.

