

Comparaison de quatre techniques de pollinisation sur la maintenance phénotypique de lignées épurées du maïs (*Zea mays L.*) à Kinshasa

[Comparison of four pollination techniques for the phenotypic maintenance of maize inbreed lines (*Zea mays L.*) in Kinshasa]

Christophe Asanzi Mbeyame¹⁻², David Nsimba Nsiku¹⁻³, and Marie-Thérèse Kilima Salima¹

¹Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement, Université Pédagogique Nationale, Kinshasa, RD Congo

²Institut National pour les Etudes et la Recherche Agronomiques (INERA), RD Congo

³Recherche and développement, Centre de Recherche en Agrumiculture (CERAGRU), Kinshasa, RD Congo

Copyright © 2026 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The present study consists in comparing pollination techniques in order to maintain the phenotypic characteristics of maize inbred lines. In fact, the objective of this work was to detect the influence of different pollination techniques on the maintenance of some characters of four maize inbred lines (i.e., REGN, CZL0919, MUL692 and CML312) in order to identify the most conservative multiplication technique of these inbred lines. To achieve this, two experiments were carried out. The first one consisted in maintaining the inbred lines according to the four techniques (selfing, SIB crossing, pollination with pollen bulk, and natural pollination in an isolated crossing block); and the second one consisted in the evaluation of their descendants (offspring) according to a split splot design with three replications at the Seed Production Center (CEPROSEM). The results of this study revealed that the selfing method presented the lowest genetic variance to the initial population. Therefore, this explains that the selfing method is the most conservative mode of multiplication. Notwithstanding, moving from one season to another, one should switch between self-fertilization (selfing) and the pollinisation with a bulk of pollen (half-sib), whether that being natural or artificial, to avoid the phenomenon of gene depression.

KEYWORDS: heredity, trait, inbreeding, gene, fertilization, seeds, hybrids.

RESUME: Le présent travail consiste à comparer les techniques de pollinisation en vue de maintenir quelques caractères phénotypiques de quatre lignées épurées du maïs (REGN, CZL0919, MUL692 et CML312). L'objectif est de mettre en évidence la technique de multiplication la plus conservatrice de ces lignées de maïs. Pour y arriver, deux expériences ont été conduites: la première a consisté au maintien des lignées suivant les quatre techniques (Auto-fécondation « Selfing », pollinisation enchaînée plant à plant « S.I.B Crossing », pollinisation avec mélange de grains de pollen « Bulk » et la pollinisation naturelle sur un bloc de croisement isolé; et la seconde a consisté en l'évaluation de leurs descendances suivant un dispositif en parcelles subdivisées (*split splot design*) avec trois répétitions, pendant la campagne agricole 2020-2021 au Centre de Production de Semences (CEPROSEM). Les résultats issus de cette étude ont révélé que la technique d'auto-fécondation a présenté une distance génétique plus faible par rapport au matériel initial. Ceci explique que l'auto-fécondation est le mode de multiplication le plus conservateur de lignées comparées, suivie du mélange de grains de pollen. Nonobstant, pour passer d'une saison à l'autre, il est recommandé d'alterner l'auto-fécondation et la pollinisation avec mélange de grains de pollen (demi-frères) qu'il soit naturel ou artificiel, en vue d'éviter le phénomène de la consanguinité.

MOTS-CLEFS: hérédité, caractère, consanguinité, gène, fécondation, semences, hybrides.

1 INTRODUCTION

La culture de maïs est, après celle de blé et du riz au niveau mondial, l'une des cultures les plus importantes pour l'alimentation directe ou indirecte de l'homme [1]. Il constitue la deuxième culture vivrière après le manioc, en République Démocratique du Congo [2].

Avec 360 calories et 9,3 à 15-17% de protéines pour cent grammes de grains dans les variétés du maïs Opaque2 (Quality Protein Maize), le maïs peut contribuer à la satisfaction des besoins énergétiques et nutritionnels des populations qui ont le maïs comme aliment de base [3].

La ville province de Kinshasa est l'une des provinces (avec le Katanga, le Kasaï et le Bandundu) où la consommation du maïs est élevée en RD Congo [3]. A titre d'exemple, la consommation du maïs a été estimée à 15 kg/tête/an en 2012 [4].

Le maïs est cultivé à travers toutes les provinces du pays où il est présent dans la quasi-totalité des champs en culture pure ou en association avec d'autres cultures [5]. Il est surtout produit par les exploitations traditionnelles de très petite taille, centrées sur la sécurité alimentaire familiale et sert de matière première pour certaines industries dont la brasserie, la savonnerie, et l'huilerie [6].

Les rendements moyens nationaux restent faibles (0,8 à 1 t/ha) à cause de la faible utilisation des variétés améliorées et des intrants agricoles connexes, et de l'importance des dégâts dus aux divers bio agresseurs [1].

La variabilité génétique est à la base de tout programme d'amélioration des plantes. C'est un réservoir dans lequel le sélectionneur puise pour mettre au point des variétés qui répondent le mieux à des exigences précises [7].

L'augmentation de rendement de maïs est fortement liée à l'amélioration génétique, 60% aux USA et 58% en France [1]. Les hybrides, à cause de l'effet hétérosis, sont plus productifs et rentables par rapport aux variétés à pollinisation libre [4]. La création d'hybrides passe avant tout par l'obtention des lignées fixées qui prend jusqu'à 8 générations d'auto-fécondations, ce processus peut prendre 4 à 8 ans. Or ces dernières, non seulement il faut les épurer, mais il faut aussi réussir à assurer leur maintenance génétique. Le maintien de lignées épurées permet de contrôler génétiquement la création des hybrides en vue d'améliorer la productivité du maïs [8].

Selon [9], la production des semences certifiées de maïs hybrides implique de maximiser la pureté des grains. Il est donc très important d'anticiper le maintien des caractères des lignées épurées afin de réduire les risques de perdre leurs caractères. Cet exercice constitue un goulot d'étranglement pour les semenciers et serait même à la base du coût élevé des semences hybrides.

Vu l'urgence et la nécessité, il importe de trouver une méthode de pollinisation qui maintiendrait les caractères des lignées dans un temps record. Raison pour laquelle cette étude intitulée « Comparaison de quatre techniques de pollinisation sur le maintien de quelques caractères des lignées épurées du maïs (*Zea mays L.*) à Kinshasa » a été entreprise.

L'objectif global de ce travail est la création des hybrides pouvant assurer la sécurité alimentaire et nutritionnelle, ainsi que la réduction de seuil de pauvreté de population congolaise.

De manière spécifique, cette étude vise à:

- Déceler l'influence de quatre techniques de pollinisation sur le maintien de quelques caractères de quatre lignées épurées du maïs; et
- Identifier la technique de multiplication la plus conservatrice de ces lignées de maïs.

Ces quatre modes sont: l'Auto-fécondation (AF), la technique de pollinisation enchaînée plant à plant (PP), le mélange de grains de pollen (MP) et la pollinisation naturelle en blocs isolés (PN).

A moyen ou à long terme, les lignées maintenues seront le point de départ de plusieurs travaux d'amélioration variétale du maïs en RDC. Elles serviront entre autres à faire:

- Des croisements pour l'obtention des hybrides, de synthétiques et de composites; qui pourront combiner leurs performances agro-morphologiques en vue de l'amélioration de la productivité du maïs;
- L'hybridation pour l'obtention de variétés à potentialités agronomiques élevées.

2 MATERIEL ET MÉTHODES

2.1 MILIEUX D'ÉTUDES

2.1.1 LOCALISATION

Les expériences ont été menées durant trois saisons, du 19 octobre 2020 au 27 octobre 2021, sur deux sites expérimentaux différents: au Centre de Production des Semences (CEPROSEM) et au site expérimental de la Faculté des Sciences Agronomiques de Université Pédagogique Nationale (UPN). Ces deux sites qui se trouvent dans la ville de Kinshasa, jouissent des mêmes conditions climatiques de cette ville située entre 15° 14' longitude Ouest et 4° 22' latitude Sud et à 550 m d'altitude.

Sa couverture pédologique est du type sableux, avec un pH oscillant autour de 5,7 [4]. Concernant la végétation précédente, le terrain a été couvert par une végétation composée de: *Mucuna pruriens*, *Eleusine indica*, *Boeravia diffusa*, *Panicum maximum*, *Carex spp.* et *Tridax procubens*.

2.1.2 CLIMAT

Le climat de la ville province de Kinshasa est tropical chaud et humide du type AW₄, selon la classification de Köppen. Il est marqué par l'alternance de deux saisons:

- Une grande saison sèche de quatre mois qui va de mi-mai à mi-septembre;
- Une grande saison de pluie allant de mi-septembre à mi-janvier.

Elles sont intercalées respectivement par deux petites saisons: la petite saison sèche entre mi-janvier et mi-mars et la petite saison de pluie entre mi-mars et mi-mai [10].

Les données météorologiques ayant prévalu pendant la période expérimentale sont présentées dans les figures 1, 2 et 3.

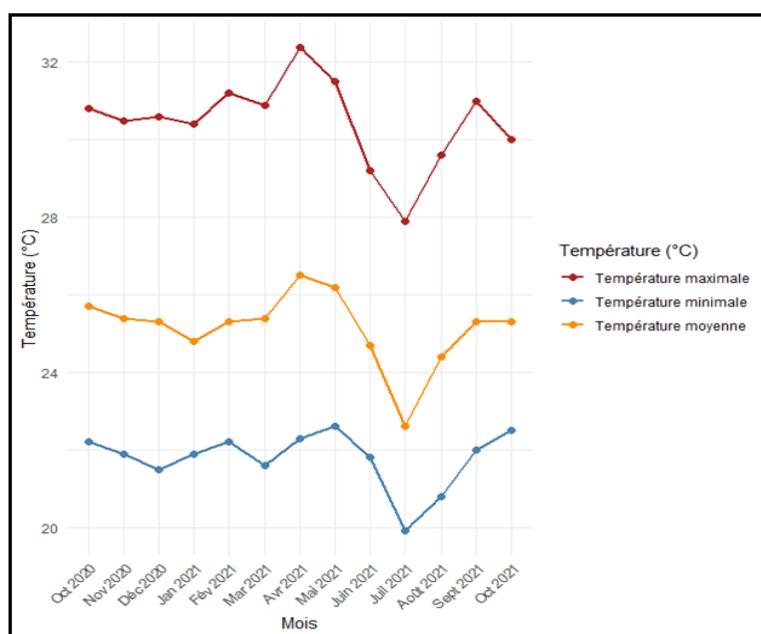


Fig. 1. Températures minimale, moyenne et maximale mensuelles

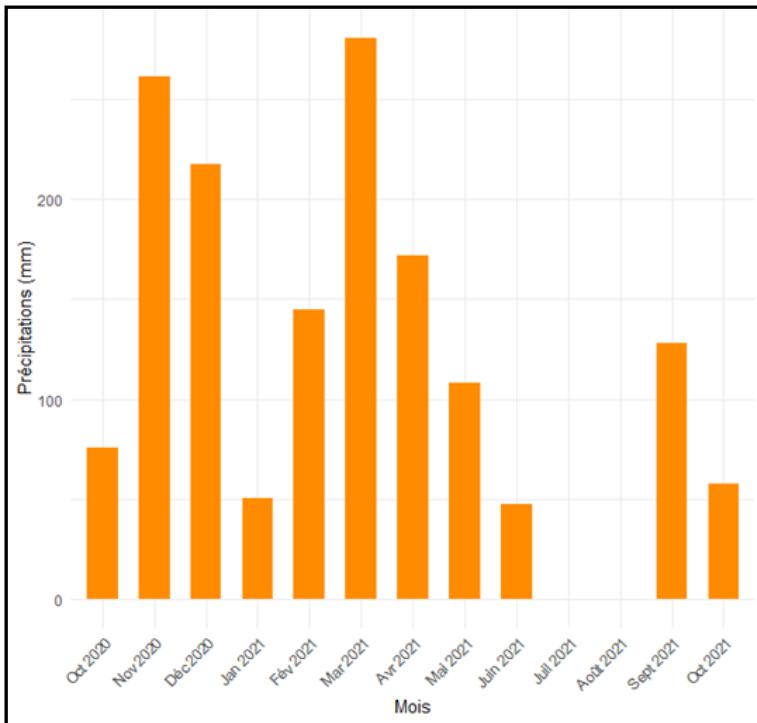


Fig. 2. Précipitations mensuelles

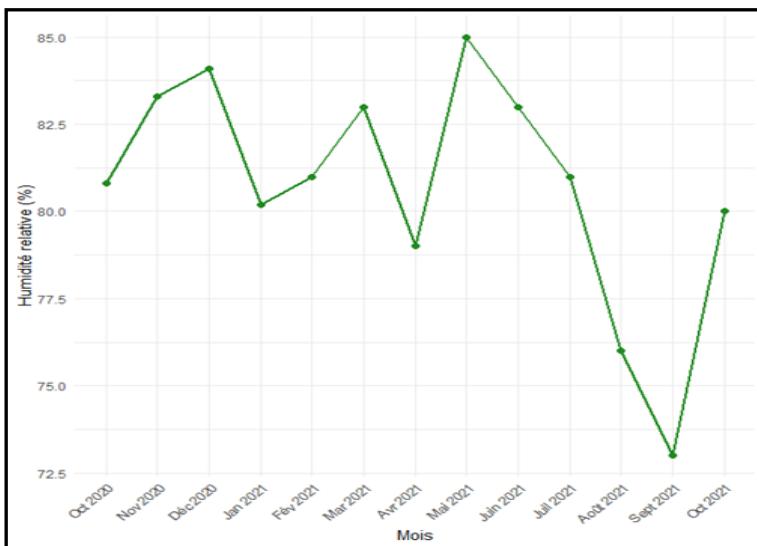


Fig. 3. Humidité relative mensuelle

2.2 MATÉRIEL

2.2.1 MATÉRIEL GÉNÉTIQUE

Le matériel génétique utilisé dans notre étude était constitué des semences de quatre lignées épurées du maïs, il s'agit de: REGN, CZL0919, MUL 692 et CML 312. Ces lignées sont originaires du Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT Harare) et de Kenyan Agricultural and Livestock Research Organization (KALRO Nairobi).

2.2.2 MATÉRIEL DE POLLINISATION

- Les agrafes: pour agrafer les enveloppes;
- Les enveloppes Kaki de pollinisation: qui ont servi à isoler les panicules pour récolter les grains de pollens du plant mâle et les ensemencer sur la soie de la plante femelle recouvrir l'épi après avoir effectué la pollinisation;
- Les sachets d'isolation de l'épi: pour isoler les soies;
- L'agrafeuse: pour attacher les enveloppes couvrant les panicules et l'épi à la plante; et
- Le marqueur: pour mentionner sur les enveloppes la date et les méthodes de pollinisation utilisée sur les lignées.

2.3 MÉTHODES

L'expérimentation a connu deux phases: la première a consisté à la maintenance des lignées épurées de maïs par les quatre techniques de pollinisation, et la seconde a consisté en l'évaluation des descendances.

2.3.1 MAINTENANCE DES LIGNÉES ÉPURÉES PAR POLLINISATION CONTRÔLÉE ET PAR POLLINISATION NATURELLE

A. POLLINISATION CONTRÔLÉE

Cet essai a été conduit au CEPROSEM du 19 octobre 2020 au 28 février 2021, quatre lignées épurées ont été utilisées notamment: REGN, C2L0919, MUL 692 et CML 312. Trois méthodes de pollinisation ont été appliquées:

- L'autofécondation (AF);
- La pollinisation plant à plant (PP); et
- Le mélange de grains de pollen (MP).

Pour y parvenir, deux blocs de croisement ont été utilisés dans cet essai, séparés l'un de l'autre par un sentier de 2 m. Ces blocs mesuraient chacun 9 m sur 5 m.

Le terrain a subi un hersage de 20 cm de profondeur à l'aide d'un motoculteur. 200 kg de Diammonium phosphate (18N-46P₂O₅) ont été appliqués comme engrais de fond, 3 jours avant le semis par un épandage manuel suivi de l'incorporation avec du râteau. Les grains de quatre lignées épurées (REGN, C2L0919, CML312 et MUL692) ont été semés en date du 19 octobre 2020 aux écartements de 75 cm x 25 cm (soit une densité de 53 333 plants/ha) avec 2 grains par poquet de 4 cm de profondeur. 21 jours après le semis, un démarriage a été effectué en laissant un plant par poquet.

Deux sarclages ont eu lieu: le premier 20 jours après le semis et le second suivi d'un buttage 30 jours plus tard. Deux applications d'urée ont eu lieu comme fumure d'entretien, 50 kg appliqués 21 jours après semis en combinaison avec 100 kg de NPK (17-17-17) et 50 kg 25 jours plus tard. Ceci a conduit aux doses de 99 kg N, 109 kg de P₂O₅ et 17 kg de K₂O par hectare. Signalons également que deux traitements phytosanitaires ont été administrés pour contrôler la chenille légionnaire d'automne, en utilisant l'Emacot. La récolte a eu lieu 131 jours après le semis et chaque lignée épurée était récoltée individuellement. Les semences obtenues ont été séchées, traitées et stockées en vue des travaux ultérieurs.

A.1 ISOLEMENT DES INFLORESCENCES

Le but de l'isolement était de protéger les parcelles de production de semences de toute pollution par un grain de pollen d'origine génétique étrangère [1].

Lors des croisements, le sachet qui protégeait l'épi était retiré très rapidement avec soin. Il était important de prendre ces précautions pour éviter les contaminations. Mais cela n'exclue pas les possibilités de contaminations dues aux grains de pollen étrangers. La courte période pendant que la soie est exposée pour recevoir le grain de pollen, donne une probabilité de 1% à un grain de pollen étranger de se déposer sur celle-ci [11].



Planche 1. Isolement de l'inflorescence mâle (panicle)



Planche 2. Isolement de l'inflorescence femelle (soie)

A.2 AUTOFÉCONDATION (AF)

La lignée était obtenue en utilisant les grains de pollen d'une plante pour féconder les soies de la même plante. La procédure est la suivante:

- Couvrir les inflorescences femelles avec les sachets d'isolation;
- Protéger les inflorescences mâles par les enveloppes au moins huit heures avant la pollinisation (pour éviter la contamination) pour permettre de conserver côté à côté les lignées différentes, sans que l'on soit obligé de les disperser en de nombreuses parcelles isolées;
- Choisir les bonnes plantes sur chaque ligne de chaque lignée;
- Récolter les pollens sur une plante X d'une lignée et le déposer sur les soies ou l'inflorescence femelle de la même plante X après que l'enveloppe soit fermée, pliée retenue par une agrafe.

A.3 POLLINISATION ENCHAINÉE PLANT À PLANT (PP)

Après l'isolation des inflorescences, la lignée était obtenue en utilisant, pour chaque plante, les grains de pollen de sa voisine. C'est- à- dire, les grains de pollen du plant 1 pour féconder les soies du plant 2, et ceux du plant 2 pour féconder les soies du plant 3, ainsi de suite.

A.4 MÉLANGE DE GRAINS DE POLLEN (MP)

La lignée était obtenue en fécondant la plante par plusieurs grains de pollen mélangés au préalable dans des enveloppes de collecte. Toutes ces lignées étaient obtenues durant la saison A de la campagne agricole 2020-2021.



Planche 3. Isolement de soie après pollinisation « Bulk »

B. MAINTENANCE DES LIGNÉES PAR LA POLLINISATION NATURELLE (PN) EN BLOCS ISOLÉS

Les quatre lignées de maïs ont été semées aux écartements de 75 cm x 25 cm. Chaque lignée était installée sur un petit bloc qui mesurait 7 m x 5 m (35 m²), en laissant les plantes s'interféconder en petit groupe. Les lignées CZL0919 et CML312 ont été installées sur le site de l'Université Pédagogique Nationale (UPN), séparées l'une de l'autre d'une distance de plus de 400 m comme le recommande Marceau (2010). La lignée CZL0919 était semée le 16 février 2021 et a été récoltée le 10 juin 2021. La lignée CML312 a été semée, en date du 15 février 2021 et sa récolte a eu lieu le 19 juin 2021.

Les lignées MUL 692 et REGN ont été installées au CEPROSEM à une distance d'isolement de 350m. La lignée MUL 692 a été semée le 17 février 2021 pour être récoltée le 5 juin. En fin, le semis de la lignée REGN a eu lieu le 5 mars, et sa récolte est intervenue le 28 juin 2021.

2.3.2 EVALUATION DES DESCENDANCES OBTENUES

A. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Cet essai a été conduit suivant un dispositif en parcelles subdivisées (Split-Plot) avec trois répétitions. Les quatre lignées de maïs (REGN, CZL0919, MUL 692 et CML 312) ont constitué le facteur principal et ont été réparties de façon aléatoire aux parcelles principales; et les quatre techniques de pollinisation: Autofécondation (AF), Fécondation de plant à plant (PP), Fécondation par mélange de pollens (MP) et Pollinisation Naturelle en bloc isolé (PN) qui ont constitué le facteur secondaire, ont été affectées aussi de façon aléatoire aux sous parcelles. Chaque bloc mesurait 12 m sur 5 m et la parcelle expérimentale était représentée par une ligne de maïs de 5 m de long.

B. MISE EN PLACE ET CONDUITE DE L'ESSAI

L'itinéraire technique est le même que celui du premier essai. Celui-ci était entouré de 3 lignes de bordure de côté largeur et 4 lignes de côté longueur. Le champ d'essai mesurait 18 m de longueur et 12 m de largeur et la superficie totale du champ était de 216 m², celles de la parcelle principale (lignée) et sous-parcelle étaient respectivement de 15 m² et de 3,75 m². Le champ était reparti en 3 blocs qui mesuraient chacun 12 m de longueur et 5 m de largeur, ils étaient séparés l'un de l'autre par un sentier de 1 m (entre bloc I et II) et 2 m (entre bloc II et III). Dans chaque bloc, on avait 4 parcelles principales de 5 m de longueur et 3 m de largeur. Chaque parcelle principale avait 4 lignes qui composaient les parcelles secondaires.

2.3.3 COLLECTE DE DONNÉES

Les observations ont été effectuées sur un échantillon de 20 plants dans chaque technique de pollinisation. Les données collectées au premier essai ont constitué la référence génétique (phénotypique), et les mêmes ont été prises au second essai (évaluation) en

vue d'une comparaison par méthode de pollinisation avec la référence (témoin). Deux groupes de variables ont fait l'objet de ces observations:

2.3.3.1 VARIABLES QUANTITATIVES

- **Hauteur des plantes (HP):** C'est la distance entre le collet et l'extrémité de la panicule (exprimée en cm), elle a été prélevée au moment de remplissage des grains (stade grains laiteux), à l'aide d'une latte graduée en bois de 3 m.
- **Hauteur à l'insertion de l'épi (HIE):** C'est la distance entre le collet et le noeud d'insertion de l'épi le plus haut (en cm), elle a été prélevée au même moment et avec le même instrument de mesure que la hauteur du plant.
- **Diamètre au collet (DC):** C'est le diamètre de la tige mesuré au collet (en mm) au moment du remplissage des grains (stade grains laiteux), à l'aide d'un pied à coulisse.
- **Durée de la floraison mâle 50% (JFM):** C'est l'estimation de la période d'anthèse, par comptage du nombre de jours qui s'écoule entre la levée et la date à laquelle au moins la moitié des plants de la parcelle échantillon dégagent les pollens au niveau du tiers-médian de la ramification principale de leurs panicules.
- **Durée de la floraison femelle 50% (JFF):** Il s'agit d'une estimation de la période de floraison des épis marquée par une émission des stigmates (Soies), par comptage du nombre de jours entre la levée et la date à laquelle au moins la moitié des plants de la parcelle échantillon émet des soies.

2.3.3.2 VARIABLES QUALITATIVES

- **Coloration anthocyane des soies:** nous avons indiqué les couleurs de styles, dans l'ordre de leur fréquence, sur 20 plants à la floraison.
- **Type de ramification paniculaire:** C'est une appréciation du type de ramification de la panicule effectuée au stade grain-laiteux.

2.3.4 ANALYSES STATISTIQUES DES DONNÉES

Les données collectées lors du premier essai ont été analysées en utilisant les statistiques descriptives, avec le logiciel statistix version 8.0. Les données de variables quantitatives ont été synthétisées dans un tableau, en considérant leurs moyennes et erreurs-types.

Pour le second essai, les ANOVA (Analysis of variance) ont été appliquées aux paramètres de croissance avec le logiciel statistix 8.0, conformément aux sources de variations reconnues d'un dispositif en split plot. Le test de la plus petite différence significative a été fait pour comparer les différentes moyennes observées. Tandis que les résultats de caractères qualitatifs ont été résumés dans un tableau de distribution des fréquences.

Le package ggplot2 a permis de produire les graphiques en utilisant le logiciel R version 5.2.1.

3 RESULTATS

3.1 CARACTÉRISATION DE QUATRE LIGNÉES ÉPURÉES DU MAÏS BASÉE SUR LES PARAMÈTRES DE CROISSANCE

Les résultats de la caractérisation morpho-métrique des lignées épurées du maïs en rapport avec la croissance et la précocité à la floraison sont présentés dans la figure 4 qui révèle que les diamètres de référence pour les quatre lignées étudiées sont respectivement de: 18,7mm pour REGN; 16,4mm pour CZL0919; 15,8mm pour MUL692 et 15,7mm pour CML312. En ce qui concerne la hauteur à l'insertion de l'épi, elle est de 66,6cm pour REGN; 57,1cm pour CZL0919; 55,4cm pour MUL692 et 62,7cm pour CML 312. Pour ce qui est de la hauteur du plant; la lignée REGN a surclassé les autres avec 189,7cm de haut, suivi de CML312 (164,1cm); CZL0919 (162,3cm) et MUL692 avec 156,7cm de hauteur.

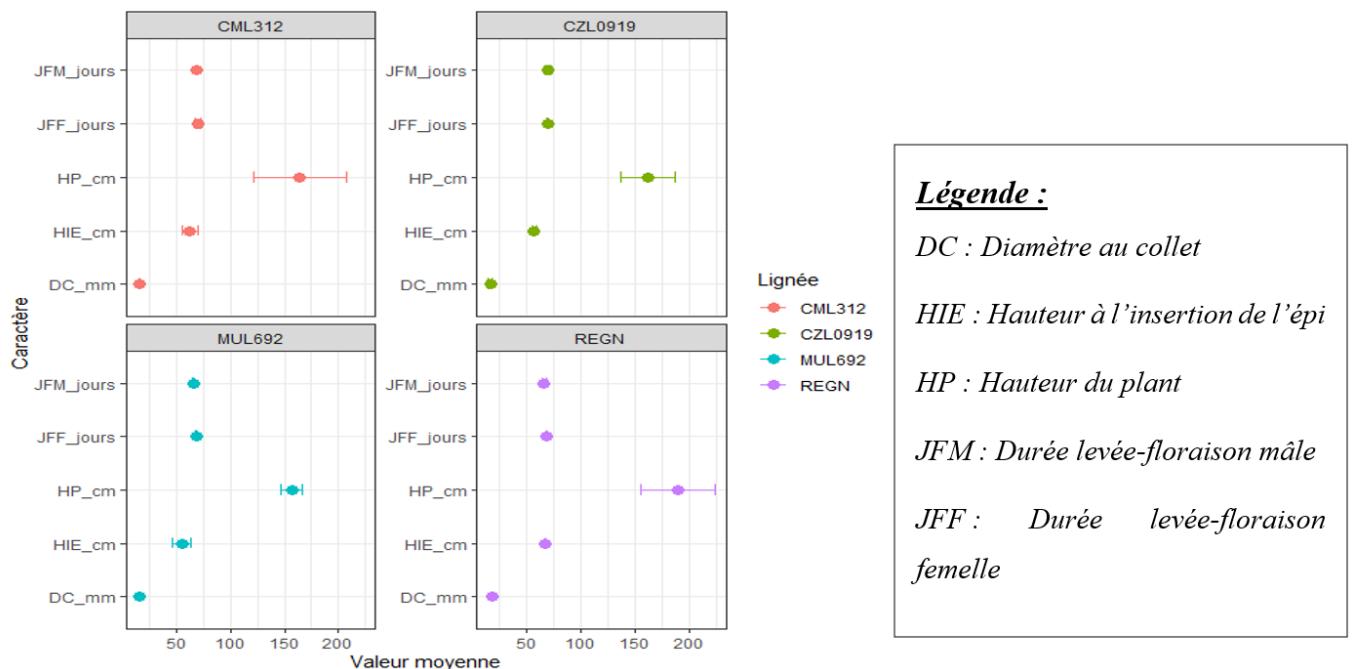


Fig. 4. Caractéristiques morpho-métriques des lignées épurées du maïs

Cette figure visualise en outre que, pour le nombre des jours à la floraison mâle, les lignées REGN et MUL692 ont fleuri 3 jours avant (66 et 65,5 jours respectifs) par rapport aux lignées CZL0919 et CML312 lesquelles ont connu respectivement 69,5 et 69 jours.

Concernant la durée levée-floraison femelle, c'est encore le tandem REGN (68 jours) et MUL692 (68,5 jours) qui a fleuri avant le couple CZL0919 (69,5 jours) et CML312 (70 jours).

3.2 CARACTÉRISATION DE QUATRE LIGNÉES ÉPURÉES DU MAÏS BASÉE SUR LA COLORATION ANTHOCYANIQUE DES SOIES ET LE TYPE DE RAMIFICATION PANICULAIRE

Les résultats illustrés dans les figures 5 et 6 ci-dessous, présentent la caractérisation des lignées épurées sur la coloration anthocyane des soies et le type de ramification paniculaire en pourcentage.

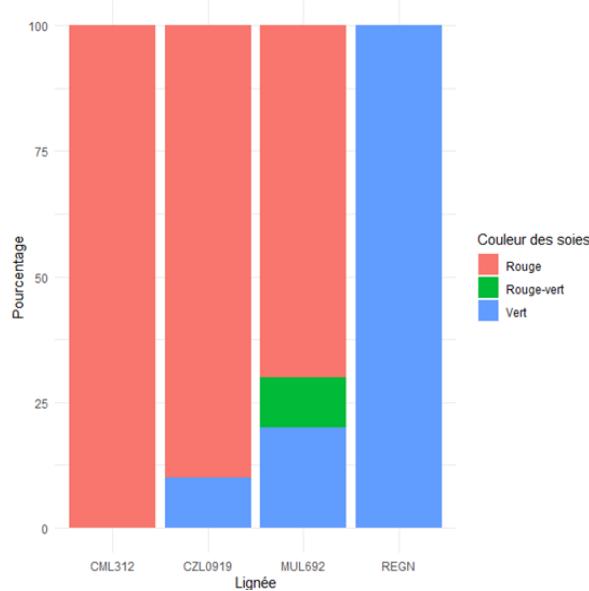


Fig. 5. Couleur des soies par lignée

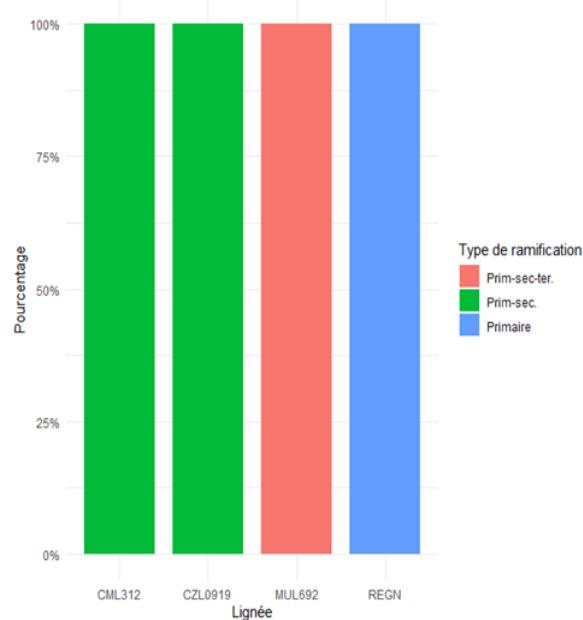


Fig. 6. Type de ramifications par lignée

Légende: Prim-sec.: Primaire-secondaire, Prim-sec-ter.: Primaire-secondaire-tertiaire.

Les résultats relatifs à la coloration anthocyanique des soies et du type de ramifications paniculaires indiqués dans le tableau 4 montrent que la lignée REGN a présenté 100 % des soies de couleur verte; CZL0919 a présenté 90 % des soies de couleur rouge et 10 % de couleur verte; MUL692 a donné 70 % des soies rouges, 20 % des soies vertes et 10 % des soies rouges-vertes et la lignée CML312 a présenté 100 % des soies rouges.

En rapport avec le type de ramifications paniculaires, ces résultats indiquent que toutes les lignées épurées du maïs sont du type primaire-secondaire.

3.3 EVALUATION DES LIGNÉES ÉPURÉES SUIVANT DIFFÉRENTES MÉTHODES DE POLLINISATION

Les résultats de différentes variables prises en compte lors de l'évaluation de quatre lignées et quatre techniques de pollinisation sur la maintenance génétique des lignées épurées sont consignés dans le tableau 1. Il y a lieu de signaler que les résultats sur la coloration anthocyanique des soies et le type de ramifications paniculaires sont exprimés sous-forme de la distribution de fréquences, en termes de pourcentage.

Tableau 1. *Synthèse des résultats des variables quantitatives et qualitatives de quatre lignées et quatre techniques évaluées dans un dispositif en parcelles subdivisées répétées trois fois pendant la campagne agricole 2020-2021 au CEPROSEM*

Lignée	Méthode	DC (mm)	HIE (cm)	HP (cm)	JFM (jours)	JFF (jours)	Couleur de soies		
							Rouge	Vert	Rouge-vert
REGN	AF	18,0	61,3ab	174,1a	72,0	76,3abcd	-	100,0	-
	PP	17,0	57,1b	173,0a	72,0	80,0ab	-	100,0	-
	MP	17,8	59,4abcd	172,0a	72,7	76,0abcd	3,3	96,7	-
	PN	17,2	60,4abc	172,5a	72,0	76,0abcd	-	100,0	-
Moyenne REGN		17,5a	59,5	172,9a	72,2	77,1	0,82	99,18	-
CZL0919	AF	16,0	52,6bcd	149,3d	70,7	75,7abcd	83,3	16,7	-
	PP	18,2	60,0abc	166,2abc	69,7	72,7bcd	83,3	10,0	6,7
	MP	17,9	56,6bc	162,5bc	73,3	78,7abc	83,3	16,7	-
	PN	17,7	50,6bcd	160,5bcd	68,0	70,7d	76,7	16,7	6,6
Moyenne CZL0919		17,5a	55,0	159,6ab	70,4	74,4	81,65	15,02	3,33
MUL692	AF	16,0	52,6bcd	157,0cd	68,0	75,7abcd	30,0	20,0	50,0
	PP	16,7	52,0bcd	170,2ab	68,0	72,0bcd	73,3	13,3	13,3
	MP	16,9	64,6a	174,5a	68,0	72,0bcd	50,0	20,0	30,0
	PN	17,0	58,8abcd	167,3abc	68,0	72,0bcd	66,7	23,3	10,0
Moyenne MUL692		16,7a	57,0	167,3a	68,0	73,0	55	19,15	25,85
CML312	AF	15,0	45,7c	146,3d	69,3	78,3abc	76,7	3,3	20,0
	PP	13,7	45,0c	145,8de	68,0	72,0bcd	86,7	3,3	10,0
	MP	12,7	39,0cd	126,5 ^e	72,7	82,7a	63,3	10,0	26,7
	PN	13,5	43,0cd	135,1 ^e	71,3	82,0ab	70,0	16,7	13,3
Moyenne CML312		13,7b	43,0	138,4b	70,3	78,8	74,17	8,33	17,5
Moyenne autofécondation		16,4	53,0	156,7	70,0b	76,5ab	47,5	35	17,5
Moyenne pollinisation plant à plant		16,4	53,6	163,8	69,4b	74,2b	60,83	31,65	7,5
Moyenne mélange de pollens		16,3	55,0	158,9	71,7a	77,3a	49,98	35,85	14,18
Moyenne pollinisation naturelle		16,3	53,0	158,9	69,8b	75,2ab	53,35	39,18	7,48
<i>P</i> lignée		0,0091 ^{**}	0,068 ^{NS}	0,0043 ^{**}	0,0931 ^{NS}	0,2019 ^{NS}	-	-	-
<i>P</i> Technique		0,9982 ^{NS}	0,6860 ^{NS}	0,0936 ^{NS}	0,0484 [*]	0,1157 ^{NS}	-	-	-
<i>P</i> lignée*technique		0,2802 ^{NS}	0,0056 ^{**}	0,0060 ^{**}	0,2345 ^{NS}	0,0097 ^{**}	-	-	-
CV lignée (%)		11,71	23,21	8,86	4,56	8,26	-	-	-
CV lignée*technique (%)		8,24	7,75	4,23	2,80	4,34	-	-	-
Ppds(lignée)		2,9	-	21,4	-	-	-	-	-
Ppds(technique)		-	-	-	3,3	-	-	-	-
Ppds(lignée*technique)		-	20,4	25	-	11,4	-	-	-

Légende: DC = Diamètre au collet, HIE = Hauteur à l'insertion de l'épi, HP = Hauteur du plant, JFM = Durée floraison mâle, JFF = Durée floraison femelle, AF = Autofécondation, PP = Pollinisation plant à plant, MP = Mélange de pollen, PN = pollinisation naturelle en blocs isolés; P = probabilité, CV = coefficient de variation, Ppds = Plus petite différence significative.

Les résultats des analyses de variance et des comparaisons de moyennes mentionnés dans le tableau ci-haut révèlent que:

A. DIAMÈTRE AU COLLET (DC)

Il existe une différence hautement significative entre les lignées. Ceci signale que le diamètre au collet constitue une caractéristique liée aux génotypes; car, il varie d'une lignée à une autre. Deux groupes homogènes différents se sont dégagés lors de la comparaison des moyennes deux à deux. Les lignées REGN (17,5 mm); CZL0919 (17,5 mm) et MUL692 (16,7 mm) ont eu un diamètre au collet plus grand par rapport à CML312 (13,7 mm). Cependant, au niveau des techniques de pollinisation et des interactions lignées-techniques, une différence non significative s'est dégagée (Figure 7). C'est-à-dire que le diamètre n'est pas un caractère influençable par la technique de pollinisation.

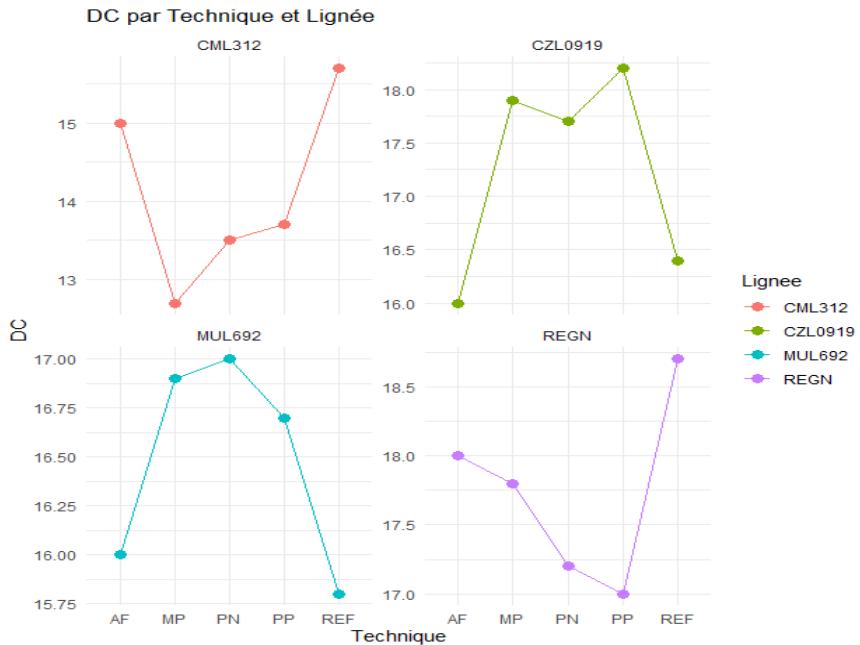


Fig. 7. Tendance du diamètre au collet de différentes lignées en fonction de techniques de pollinisation

B. HAUTEUR À L'INSERTION DE L'ÉPI (HIE)

La différence est hautement significative au niveau des interactions lignées-techniques. Cela signifie que la hauteur à l'insertion de l'épi a été affectée par les effets combinés de deux facteurs. Il s'observe quatre groupes homogènes différents (a, b,c, d). L'interaction CML312-MP a eu la plus petite hauteur à l'insertion de l'épi (39,0 Cm). Toutefois, les lignées et les techniques n'ont pas produit d'effets sur ce caractère (Figure 8).

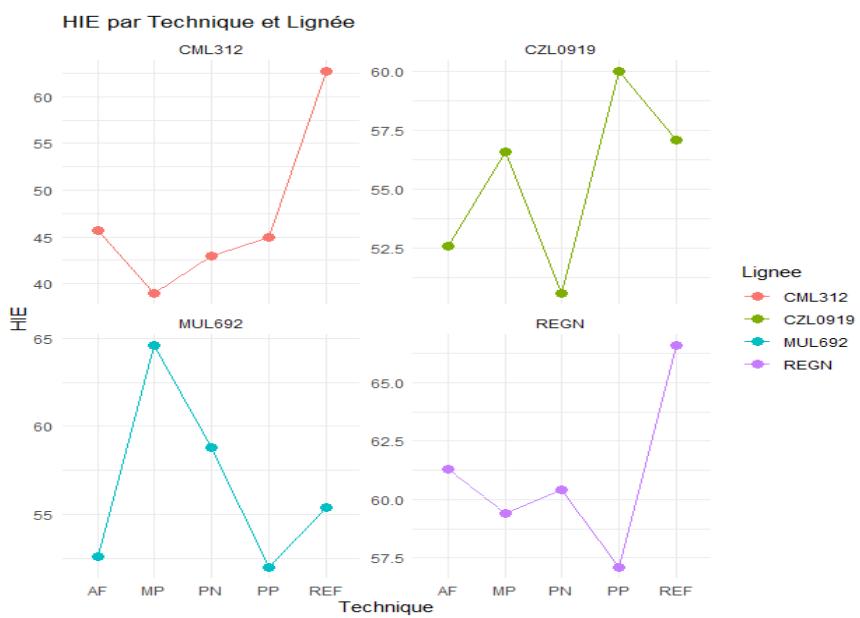


Fig. 8. Tendance de la hauteur à l'insertion de l'épi de différentes lignées en fonction de techniques de pollinisation

C. HAUTEUR DU PLANT (HP)

Un comportement hautement différent a été signalé, tant pour les lignées qu'au niveau des interactions lignées-techniques (Figure 9). Les lignées ont été classées en deux groupes homogènes (a et b) et les interactions en cinq groupes (a, b,c, d,e). La lignée

CML312 a présenté la plus petite hauteur du plant (138,4 Cm). Cependant, l'interaction CML312-PN a donné une petite hauteur (135,1 Cm). Mais, la différence a été non significative au niveau de technique. Cela signifie que celle-ci n'a pas été un facteur influençant la hauteur du plant.

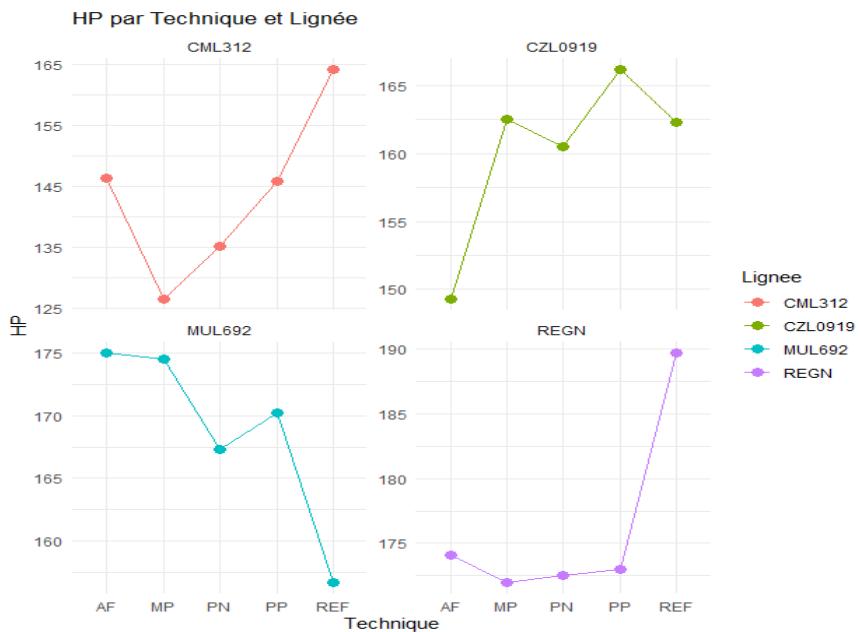


Fig. 9. Evolution de la hauteur du plant de différentes lignées en fonction de techniques de pollinisation

D. DURÉE LEVÉE-FLORAISON MÂLE (JFM)

Elle a été significativement différente d'une technique à une autre. Ceci veut dire, le facteur technique a influencé le nombre de jours à la floraison mâle. La comparaison des moyennes fait apparaître deux groupes homogènes (a et b). Trois techniques dont AF (70,0 jours); PP (69,4 jours) et PN (69,8 jours) ont provoqué une précocité par rapport à l'autre technique (MP). Entre-temps, une différence non significative a été observée au niveau des lignées et des interactions.

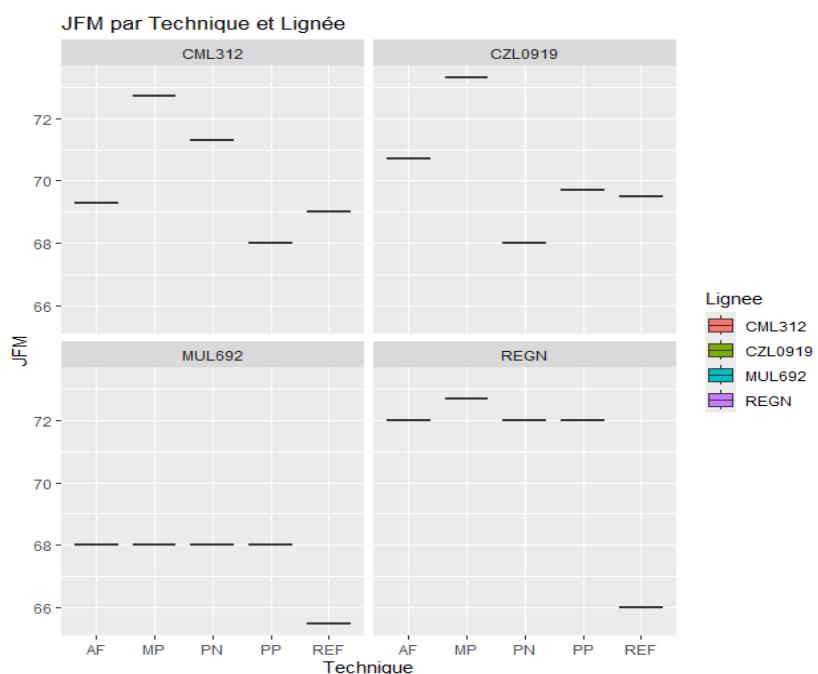


Fig. 10. Evolution de la floraison mâle de différentes lignées en fonction de techniques de pollinisation

E. DURÉE LEVÉE-FLORAISON FEMELLE (JFF)

La différence entre les interactions lignées-méthodes, pour cette variable, a été hautement significative. Cela signifie que les différentes interactions ont influencé ce paramètre (Figure 11). Quatre groupes homogènes se sont dégagés (a, b,c et d). L'interaction CZL0919-PN (70,7 jours) a été précoce contrairement à d'autres interactions. Tandis que, aucune différence n'a été observée, que ce soit au niveau de lignées qu'au niveau de techniques.

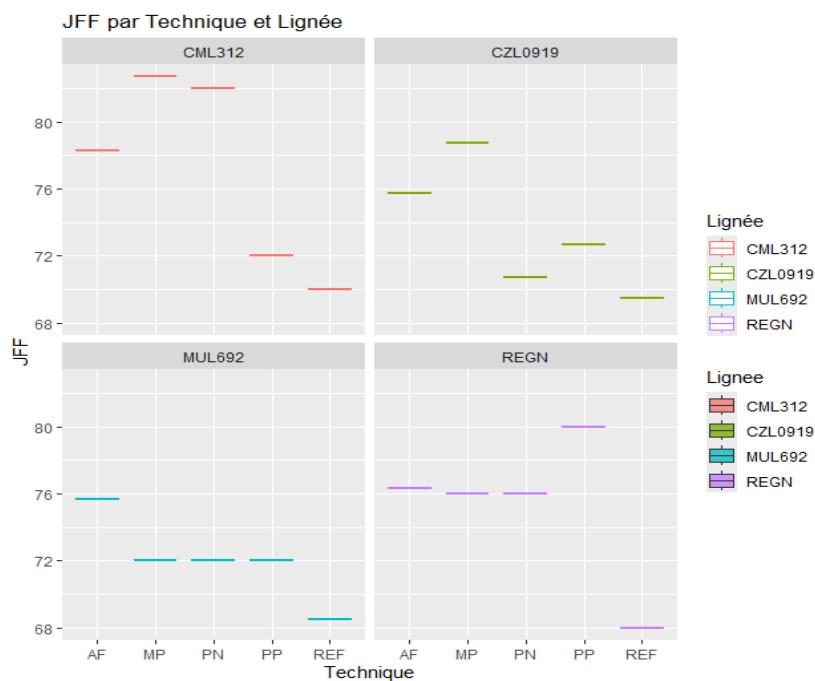


Fig. 11. La floraison femelle de différentes lignées en fonction de techniques de pollinisation

F. LA COLORATION ANTHOCYANIQUE DE SOIES

- La lignée REGN a présenté: 100% des soies de couleur verte pour la technique d'autofécondation, de la pollinisation plant à plant et la pollinisation naturelle; 96,7% des soies vertes et 3,3% des soies rouges pour la technique mélange de pollens.
- La lignée CZL0919 a présenté, pour la technique d'autofécondation, 83,3% des soies rouges et 16,7% des soies vertes. Avec la technique plant à plant, elle a donné 83,3% des soies rouges, 10% des soies vertes et 6,7% des soies rouges-vertes. 83,3% des sois rouges et 16,7% des soies vertes ont été aperçues avec le mélange de pollens et 76,7% des soies rouges, 16,7% des soies vertes et 6,6% des soies rouges-vertes avec la pollinisation naturelle.
- La lignée MUL692 a donné 30% des soies rouges, 20% des soies vertes et 50% des soies rouges-vertes avec la technique d'autofécondation; 73,3% des soies rouges, 13,3% des soies vertes et 13,3% des soies rouges-vertes avec le plant à plant; 50% des soies rouges, 20% des soies vertes et 30% des soies rouges-vertes avec le mélange de pollens; et 66,7% des soies rouges, 23,3% des soies vertes et 10% des soies rouges-vertes avec pollinisation naturelle.
- La lignée CML312 à son tour a présenté 76,7% des soies rouges, 3,3% des soies vertes et 20% des soies rouges-vertes avec l'autofécondation; 86,7% des soies rouges, 3,3% des soies vertes et 10% des soies rouges-vertes avec la technique plant à plant; 63,3% des soies rouges, 10% des soies vertes et 26,7% des soies rouges-vertes avec le mélange de pollens; et enfin 70% des soies rouges, 16,7% des soies vertes et 13,3% des soies rouges-vertes avec la pollinisation naturelle.

G. LE TYPE DE RAMIFICATION PANICULAIRE

Les différentes lignées ont connu le même type de ramification (primaire- secondaire), quelle que soit la technique de pollinisation appliquée.

3.4 COMPARAISON DES RÉSULTATS DE QUATRE LIGNÉES ÉPURÉES ET QUATRE TECHNIQUES DE POLLINISATION AVEC CEUX DE RÉFÉRENCE

3.4.1 PARAMÈTRES QUANTITATIFS

La comparaison de différentes techniques de pollinisation par rapport aux caractères de référence des lignées épurées est réalisée dans le but de faire sortir la meilleure technique qui maintient les caractères de croissance.

Tableau 2. *Comparaison des résultats des variables quantitatives de croissance de quatre techniques de pollinisation appliquées à 4 lignées épurées de maïs vis-à-vis de la référence*

Lignée	Paramètre	Référence	Evaluation			
			AF	PP	MP	PN
		Moyenne $\pm ET$	Moyenne $\pm ET$	Moyenne $\pm ET$	Moyenne $\pm ET$	Moyenne $\pm ET$
REGN	DC	18,7 \pm 1,15	18,0 \pm 1,1	17,0 \pm 1,1	17,8 \pm 1,1	17,2 \pm 1,1
	HIE	66,6 \pm 0,13	61,3 \pm 5,8	57,1 \pm 5,8	59,4 \pm 5,8	60,4 \pm 5,8
	HP	189,7 \pm 34,18	174,1 \pm 7,5	173,0 \pm 7,5	172,0 \pm 7,5	172,5 \pm 7,5
	JFM	66,0 \pm 2,00	72,0 \pm 1,9	72,0 \pm 1,9	72,7 \pm 1,9	72,0 \pm 1,9
	JFF	68,0 \pm 0,00	76,3 \pm 3,5	80,0 \pm 3,5	76,0 \pm 3,5	76,0 \pm 3,5
CZL0919	DC	16,4 \pm 1,90	16,0 \pm 1,1	18,2 \pm 1,1	17,9 \pm 1,1	17,7 \pm 1,1
	HIE	57,1 \pm 2,20	52,6 \pm 5,8	60,0 \pm 5,8	56,6 \pm 5,8	50,6 \pm 5,8
	HP	162,3 \pm 25,53	149,3 \pm 7,5	166,2 \pm 7,5	162,5 \pm 7,5	160,5 \pm 7,5
	JFM	69,5 \pm 2,50	70,7 \pm 1,9	69,7 \pm 1,9	73,3 \pm 1,9	68,0 \pm 1,9
	JFF	69,5 \pm 0,50	75,7 \pm 3,5	72,7 \pm 3,5	78,7 \pm 3,5	70,7 \pm 3,5
MUL692	DC	15,8 \pm 1,35	16,0 \pm 1,1	16,7 \pm 1,1	16,9 \pm 1,1	17,0 \pm 1,1
	HIE	55,4 \pm 8,58	52,6 \pm 5,8	52,0 \pm 5,8	64,6 \pm 5,8	58,8 \pm 5,8
	HP	156,7 \pm 10,18	175,0 \pm 7,5	170,2 \pm 7,5	174,5 \pm 7,5	167,3 \pm 7,5
	JFM	65,5 \pm 0,50	68,0 \pm 1,9	68,0 \pm 1,9	68,0 \pm 1,9	68,0 \pm 1,9
	JFF	68,5 \pm 0,50	75,7 \pm 3,5	72,0 \pm 3,5	72,0 \pm 3,5	72,0 \pm 3,5
CML312	DC	15,7 \pm 0,28	15,0 \pm 1,1	13,7 \pm 1,1	12,7 \pm 1,1	13,5 \pm 1,1
	HIE	62,7 \pm 7,55	45,7 \pm 5,8	45,0 \pm 5,8	39,0 \pm 5,8	43,0 \pm 5,8
	HP	164,1 \pm 42,83	146,3 \pm 7,5	145,8 \pm 7,5	126,5 \pm 7,5	135,1 \pm 7,5
	JFM	69,0 \pm 1,00	69,3 \pm 1,9	68,0 \pm 1,9	72,7 \pm 1,9	71,3 \pm 1,9
	JFF	70,0 \pm 2,00	78,3 \pm 3,5	72,0 \pm 3,5	82,7 \pm 3,5	82,0 \pm 3,5

Légende: ET = erreur-type.

Il ressort du tableau 2 ci-dessus, après comparaison des résultats pour le diamètre au collet, que les techniques (autofécondation et mélange) ont présenté un bon caractère de maintien de la lignée REGN par rapport à d'autres techniques. Pour ce qui est de la hauteur du plant, toutes les techniques ont été bonne pour maintenir la lignée. En revanche, aucune technique n'a été meilleure quant à la hauteur à l'insertion de l'épi, à la floraison mâle et femelle.

Toutes les techniques ont su maintenir le diamètre au collet et la hauteur du plant de la lignée CZL0919; concernant la hauteur à l'insertion de l'épi, le mélange a donné une longueur approximative (56,6cm) de celle du départ (57,1cm) et elle a été de même pour la hauteur du plant où elle a donné une hauteur égale à celle du départ (162,5cm); la technique plant à plant (69,7 jours) est bonne pour stabiliser le nombre des jours à la floraison mâle de cette lignée. Cependant aucune technique n'a été bonne à la stabilisation de cette lignée par rapport au nombre des jours à la floraison femelle.

Il se constate aussi que toutes les techniques se sont avérées bonnes pour conserver le diamètre au collet de MUL692. Alors que, pour la hauteur à l'insertion de l'épi, toutes les techniques ont été bonnes sauf la technique de mélange de grains de pollen. La technique d'autofécondation s'est montrée conservatrice de la hauteur du plant par rapport aux autres techniques. Cependant, aucune technique n'a su maintenir le délai des jours à la floraison mâle et femelle.

Par contre, aucune technique n'a été meilleure pour maintenir le diamètre au collet et la hauteur à l'insertion de l'épi de CML312, et toutes les techniques ont su maintenir la hauteur du plant. Les techniques autofécondation et plant à plant ont maintenu les jours à la floraison mâle, mais seule la technique plant à plant a maintenu le nombre des jours à la floraison femelle.

3.4.2 PARAMÈTRES QUALITATIFS

Les résultats de la comparaison de différentes techniques de pollinisation par rapport aux caractères qualitatifs de référence des lignées épurées sont présentés dans le tableau 3.

Tableau 3. Comparaison des résultats des variables qualitatives de quatre techniques de pollinisation appliquées à 4 lignées épurées de maïs vis-à-vis de la référence

Lignées	Paramètre	Fréquence (%) Avant pollinisation	Fréquences après pollinisation (en %)			
			AF	PP	MP	PN
Couleur soies						
REGN	Rouge	0,00	0,00	0,00	3,3	0,00
	Vert	100,00	100,00	100,00	96,7	100,00
	Rouge-vert	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Type de panicule						
CZL0919	Primaire	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Primaire-secondaire	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
	Primaire-secondaire-tertiaire	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Couleur soies						
MUL692	Rouge	90,00	83,3	83,3	83,3	76,7
	Vert	10,00	16,7	10,0	16,7	16,7
	Rouge-vert	0,00	0,00	6,7	0,00	6,6
Type de panicule						
CML312	Primaire	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Primaire-secondaire	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
	Primaire-secondaire-tertiaire	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Couleur soies						
CML312	Rouge	70,0	30,0	73,3	50,0	66,7
	Vert	20,0	20,0	13,3	20,0	23,3
	Rouge-vert	10,0	50,0	13,3	30,0	10,0
Type de panicule						
CML312	Primaire	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Primaire-secondaire	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
	Primaire-secondaire-tertiaire	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Les résultats repris dans le tableau 3, montrent que toutes les techniques ont maintenu les caractères qualitatifs de la lignée REGN, sauf la technique de mélange de grains de pollen qui a fait perdre 3,3% de sa pureté génétique liée à la coloration anthocyanique de soies. Concernant le type des panicules, toutes les techniques de pollinisation ont maintenu la lignée en produisant le type primaire-secondaire.

Au niveau de la lignée CZL0919, il ressort des fluctuations de la coloration de soies. Les soies rouges sont passées de 90% à 83,3% pour les techniques d'autofécondation, pollinisation plant à plant et mélange de grains de pollen; et à 76,7% pour la pollinisation naturelle. La fréquence des soies vertes a eu une tendance à la hausse pour autofécondation, mélange de grains de pollen et

pollinisation naturelle en passant de 10% à 16,7%. Tandis que cette fréquence a été maintenue à 10% pour plant à plant. De plus, la fréquence de coloration intermédiaire rouge-vert a eu tendance à augmenter pour le plant à plant et pour la pollinisation naturelle; en passant de 0% à 6,7%. Pour les deux autres techniques, à savoir: autofécondation et mélange de grains de pollen, cette fréquence est restée la même. Pour ce qui est de type de ramifications paniculaires, aucun changement n'a été constaté.

Les résultats en rapport avec la lignée MUL692 montrent que, seule la technique de pollinisation naturelle en blocs isolés qui a présenté une fréquence rapprochée à celle du départ. Alors que, le type de panicule primaire-secondaire a été observé chez toutes les techniques.

Les résultats de la lignée CML312 montrent qu'aucune technique de pollinisation n'a maintenu la coloration de soies. Cependant, toutes les techniques ont maintenu le type de panicule de la dite lignée.

4 DISCUSSION

4.1 PARAMÈTRES QUANTITATIFS

Les résultats de cette étude révèlent une grande variabilité au sein des lignées, techniques et les interactions. La variabilité génétique observée est beaucoup plus remarquable au niveau de lignées pour ce qui est du diamètre au collet. Nos résultats sont en accord avec ceux trouvés par [8] dans ses recherches.

La référence [1] a montré que la hauteur dépend d'un hybride à un autre. Une grande variation entre les lignées et les interactions lignées-techniques a été remarquée en ce concerne la hauteur du plant. Ces résultats confirment ceux observés dans [1], [4].

Les résultats identiques pour la hauteur à l'insertion de l'épi ont été révélés en ce qui concerne les lignées et techniques. Cependant, un comportement différent a été observé au niveau des interactions lignées-techniques.

La référence [12] a observé une variation entre les lignées lors de son étude au Burkina Faso. Malgré que nous ayons travaillé dans des milieux différents, nos résultats ont abouti à la même conclusion.

Les quatre techniques de pollinisation sont différentes pour ce qui est de la durée floraison mâle. La référence [8] a révélé des différences entre les lignées pour le délai de la floraison mâle. Ces résultats corroborent à ceux que nous avons trouvé dans notre étude.

Toutefois, une très grande variabilité a été trouvée pour les interactions lignées-techniques quant à la durée de la floraison femelle. Les résultats trouvés par [8] ne confirment pas nos résultats pour le nombre des jours à la floraison.

4.2 PARAMÈTRES QUALITATIFS

4.2.1 COLORATION ANTHOCYANIQUE

La lignée REGN présente des épis à soies vertes; après évaluation, exceptée la technique de mélange de grains de pollen, toutes les techniques ont maintenu la couleur de soies de cette lignée (100% de soies vertes).

La lignée CZL0919 présente de nature 90% des épis à soies rouges et 10% des épis à soies vertes; après évaluation, seule la technique plant à plant qui s'est rapprochée au caractère initial en présentant 83,3% des soies rouges et 10% des soies vertes.

Concernant la lignée MUL692, elle présente de nature 70% des épis à soies rouges, 20% à soies vertes et 10% de couleur intermédiaire. La comparaison de différentes techniques montre que la pollinisation libre a produit des caractères presque similaires par rapport à ceux du départ. La lignée CML312 présente 100% des épis à soies rouges; après comparaison, aucune technique n'a pu maintenir la couleur des soies de la dite lignée.

Ceci s'expliquerait comme mentionné dans [13], du fait qu'il existe un lien entre la couleur du grain, de la rafle et des soies aux caractères phénotypiques d'intérêt agronomique ou non. La nature de ces liens est complexe, méconnue et semble difficile à mobiliser dans le cadre de la sélection paysanne.

4.2.2 TYPE DE RAMIFICATION PANICULAIRE

Il s'est avéré un même type pour toutes les techniques sur toutes les lignées. Entretemps, il a été du type primaire-secondaire.

5 CONCLUSION

La présente étude consistait à comparer quatre techniques de pollinisation du maïs en vue de maintenir quelques caractères de quatre lignées épurées. Pour y arriver, l'expérimentation a connu deux phases, la première était consacrée à la caractérisation référentielle de ces lignées puis à l'application de techniques de pollinisation, et la seconde a consisté à l'évaluation des lignées obtenues, selon les techniques utilisées, au CEPROSEM. Un bloc de croisement a été utilisé pour les trois techniques (autofécondation, pollinisation plant à plant et mélange des grains de pollens) et quatre petits blocs isolés pour la technique naturelle (Deux à l'UPN et deux au CEPROSEM). Cependant, l'évaluation s'est effectuée suivant un dispositif en parcelles subdivisées (*split splot design*).

Les résultats obtenus ont montré que les techniques (autofécondation et mélange de grains de pollen) sont meilleures pour maintenir le diamètre au collet de la lignée REGN. Les techniques autofécondation, plant à plant et pollinisation naturelle sont bonnes pour la durée à la floraison mâle de la lignée CZL0919. Concernant MUL692, l'autofécondation a maintenu la hauteur du plant. Pour CML312, l'autofécondation et plant à plant ont été meilleurs pour le délai entre la floraison mâle. Quant à la coloration anthocyanique de soies, pour CZL0919, seules les lignées issues de la technique plant à plant qui se sont rapprochées aux caractères initiaux. En revanche, la pollinisation libre s'est avérée meilleure pour MUL692. Cette étude a révélé que toutes les techniques ne maintiennent pas les lignées de la même manière, et ne maintiennent pas tous les caractères de la même façon. Il y a des lignées qui se conservent mieux avec certaines techniques de pollinisation, et aussi certains caractères qui se conservent mieux avec certaines techniques de pollinisation. Bien que toutes les techniques soient bonnes au maintien de ces lignées, la technique d'autofécondation s'est avérée meilleure et la plus conservatrice.

D'où pour un premier temps nous recommandons, pour passer d'une saison à une autre, de pratiquer l'alternance entre autofécondation et mélange de grains de pollen qu'il soit naturel ou non afin d'éviter les effets de la consanguinité.

Il serait aussi intéressant que cette étude soit menée dans des conditions agro-environnementales différentes de celle de Kinshasa et qu'elle soit répétée dans le temps afin de comprendre de manière spécifique l'efficacité de chaque technique.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les chercheurs de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université Pédagogique Nationale (UPN) notamment le Professeur Ordinaire Antoine MUMBA DJAMBA, le regretté Professeur Ordinaire Jean-Claude Lukombo Lukeba et le Doctorant Prosper Mudimbiyi, d'avoir participé à la réflexion critique de ce travail.

Ils remercient également l'Institut National pour les Etudes et la Recherche Agronomique (INERA), le Centre de Recherche en Agrumiculture (CERAGRU) et le Centre de Production des Semences (CEPROSEM) pour l'appui logistique considérable dont ils ont bénéficié tout au long de cette recherche de longue haleine.

REFERENCES

- [1] L.K. Nyembo, Augmentation du rendement du maïs (*Zea mays L.*) par l'exploitation de l'effet hétérosis des hybrides produits au Katanga, Thèse de doctorat, Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Lubumbashi, RDC, 157p., 2010.
- [2] L.K. Nyembo, M.M. Mpundu et L.L. Baboy, «Évaluation et sélection de nouvelles variétés de Maïs (*Zea mays L.*) à haut potentiel de rendement dans les conditions climatiques de la région de Lubumbashi, Sud-est de la RD Congo», *International Journal of Innovation and Applied Studies*, vol.6, n°1, pp.21-27, 2014.
- [3] P.N. Nsumbu, Y.N. Kasongo et N. Dowiya, «Impact de la saison sur le rendement du maïs à Kinshasa, R.D. Congo», *Congo sciences*, vol.6, n°2, pp.96-102, juillet 2018.
- [4] D.N. NSIMBA, C.M. ASANZI et P.M. MUDIMBIYI, «Effets des doses croissantes d'azote et de phosphore sur deux variétés du maïs (*Zea mays L.* var Mudishi1 et Pan53) dans les conditions édapho-climatiques de Kinshasa», *Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture*, vol.2, n°1, pp.52-59, 2019.
- [5] PAM, Etude des marchés des céréales en relation avec la sécurité alimentaire, les programmes de transferts monétaires dans les provinces du Kasaï Central, du Kasaï Oriental, Haut-Katanga, p. 5, 2017.
- [6] Chausse J.P., Kembola T. et Ngonde R., Agriculture, pierre angulaire de l'économie de la RDC », dans: Herdeschee J., Mukoko S.D., et Tshimenga T.M (éditeurs), Résilience d'un géant africain. Accélérer la croissance et promouvoir l'emploi en RD Congo, vol. II, Etudes sectorielles, Média st Paul, Kinshasa, 98p., 2012.

- [7] P. Ruaud, *Multiplication d'une population allogame: Comparaison de plusieurs méthodes à l'aide de marqueurs enzymatique*, Mémoire, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Rennes pour l'obtention du diplôme d'Agronomie Approfondie, Amélioration des plantes, P.11- 20, 1984.
- [8] A. Sanou, Création et évaluation d'hybrides et de lignées de maïs dans le cadre d'une intensification de la Maïsculture au Burkina Faso, Mémoire de master, Agronomie, Université polytechnique de Bobo - Dioulasso, (UPB), p.10, 2011.
- [9] A. Marceau, Pollinisation inter-parcellaire chez le maïs: analyse et couplage des processus conditionnant la présence du pollen viable en fonction de la distance à la source, Institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement (Agroparistech), Thèse de doctorat, p2-3, 2010.
- [10] M. Crabbe, *Le climat de Kinshasa d'après les observations centrées sur la période de 1931-1970*, Édition assurée par les services de l'administration Belge et de la coopération au développement, Bruxelles, Belgiumcrops, New York, NY, USA, Cambridge University press, 430p., 1980.
- [11] J.C. Dongmo, Performances des hybrides variétaux et top - cross de maïs (*Zea mays L.*) Sur sols acides de la zone forestière humide du Cameroun, Mémoire de master, université de Yaoundé, Cameroun, p.12-36, 2009.
- [12] I. Kouraoga, Amélioration variétale du maïs au Burkina Faso: Évaluation de la variabilité génétique des caractères agro - morphologiques des descendants de croisement entre hybride simple de maïs sucré (VMHI) avec une lignée fixée (FBML10) et une variété composite résistante à la sécheresse (Wari), Mémoire d'ingénieur du développement Rural, Agronomie, Burkina Faso, p.5, 2016.
- [13] Robin, *Codage génétique de la couleur du grain de maïs*, 2021. [En ligne] disponible: <https://maison-de-la-semence-paysanne-dordogne.netlify.app/post/mds-gc/publication/kernel-color/>.