



Evaluation du rendement en coton-graine de nouveaux génotypes de cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.) sélectionnés au Bénin

Evaluation du rendement de nouveaux génotypes de coton

Charlemagne D. Aboua, Alexis Hougni, Déo-Gratias J. M. Hougni, Marius G. Sinha & Godonou Yavoedji

Charlemagne D. Aboua : MSc, sélectionneur, BP : 172 Parakou (Bénin) auteur correspondant : abouac@yahoo.fr

Alexis Hougni : PhD, sélectionneur, BP : 175 Cotonou (Bénin)

Déo-Gratias J. M. Hougni : MSc, sélectionneur, BP : 172 Parakou (Bénin)

Marius G. Sinha : MSc, sélectionneur, BP : 175 Cotonou (Bénin)

Godonou Yavoedji : DEA, sélectionneur, BP : 175 Cotonou (Bénin)

DOI: [10.25518/2295-8010.1725](https://doi.org/10.25518/2295-8010.1725)

Résumé :

L'objectif de cet article est d'identifier, parmi sept nouveaux génotypes (P 625-1, P 746-1, Q 674-2, Q 723-4, Q 792-2, R 663-4 et R 689-1) de cotonnier, ceux dont les performances sont supérieures à celles des trois variétés actuellement vulgarisées au Bénin (ANG956, OKP768, KET782). De 2015 à 2017, 146 essais variétaux ont été conduits en milieux contrôlé et paysan. Tous les nouveaux génotypes sont évalués en milieu contrôlé alors que seuls P 625-1 et P 746-1 sont testés par les paysans. Le dispositif expérimental est un Bloc Aléatoire Complet. Une analyse de variance suivant un modèle linéaire mixte a été conduite. L'interaction génotype x environnement a été estimée par le modèle Additive Main effects and Multiplicative Interaction (AMMI). Les rendements étaient faibles en 2015 et se sont progressivement améliorés, sans interactions génotype x année significative. L'interaction génotype x zone est faible (1,5 %) mais significative ($P < 0,001$). Les génotypes R 663-4 et P 625-1 sont les plus performants en milieu contrôlé respectivement dans les zones nord et sud. En milieu paysan, le génotype P 746-1 est meilleur dans la zone nord. Il en est de même pour le génotype P 625-1 dans la zone sud.

Abstract :

Yield assessment of new released genotypes of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) bred in Benin.

This paper aimed at identifying the most productive upland cotton genotypes among seven new releases (P 625-1, P 746-1, Q 674-2, Q 723-4, Q 792-2, R 663-4 et R 689-1). The controls were the 3 varieties currently in use in Benin: ANG 956, OKP 768, and KET 782. Overall, 146 variety trials have been set over 3 years. All the new releases were evaluated on station, whereas only P 625-1 and P 746-1 have been tested on farmer field trials. Experiments were run according to a randomized complete block design. Data were analysed with a linear mixed model. The

Genotype x Macro-environment interaction was retrieved from an Additive Main effects and Multiplicative Interactions (AMMI) model. Yields were poor in 2015, but got better thereafter. The Genotype x Year interaction was not significant ($P > 0.05$). The Genotype x Macro-environment interaction was small, though significant ($P < 0.001$). On station, R 663-4 and P 625-1 out-performed the check-varieties in Upper-North and South respectively. From the farmer-field trials, P 746-1 was the most productive in the Upper-North. In the South, P 625-1 ranked higher than KET 782. R 663-4, P 625-1, and P 746-1 are the most promising genotypes.

Introduction

En Afrique de l'Ouest, la culture du coton est la principale source de revenu pour plus de 15 millions de personnes et occupe près de 70 % de la population active (18). Sa contribution à la sécurité alimentaire et la lutte contre la pauvreté résultent du fait que les revenus issus de cette activité sont utilisés par les producteurs pour le financement de la scolarisation des enfants, les soins de santé et l'alimentation de la famille (28). Au Bénin, le coton contribue à 13 % du produit intérieur brut et constitue 80 % des recettes d'exportation (1). Dans les zones rurales du bassin cotonnier béninois, le coton représente la principale source de revenu des producteurs et constitue le principal moyen d'accès aux ressources de production : engrais, pesticides, équipements agricoles (8). Les infrastructures sociocommunautaires (pistes, centre de santé, écoles, aire de stockage) sont construites grâce aux revenus issus du coton et plusieurs emplois sont créés dans les secteurs du transport, du commerce et de l'artisanat (1). Ces auteurs rapportent que les sociétés d'égrenage de coton constituent 60 % du tissu industriel et offrent de l'emploi, chaque campagne agricole, à plus de 3500 personnes. La filière coton est la mieux structurée du pays faisant intervenir les structures privées et étatiques qui mènent plusieurs activités contribuant à l'amélioration des conditions de vie des acteurs (11).

Au Bénin, plusieurs variétés performantes de cotonnier ont été mises au point. Elles sont toutes issues d'un programme de création et de sélection dont s'est doté le Centre de Recherches Agricoles Coton et Fibres (CRA-CF) depuis 1996. Mais, la situation des perturbations climatiques caractérisées par l'augmentation de la température et l'irrégularité des pluies constitue un défi pour la sélection de variétés adaptées à une agriculture durable, plus résilientes aux contraintes biotiques et abiotiques (13, 20).

Les travaux de régionalisation variétale entrepris dans ce sens par le CRA-CF ont abouti à la sélection, à l'adoption par les acteurs de la filière et à la vulgarisation depuis la campagne agricole 2015-2016 de 3 variétés : ANG 956, OKP 768 et KET 782 dans les zones de production cotonnière identifiées (nord, centre-nord, centre et sud) du Bénin (14). La variété ANG 956 est vulgarisée dans la zone nord, la variété OKP 768 est utilisée par les producteurs du centre-nord et du centre et la variété KET 782 est identifiée pour la zone sud.

La dynamique observée dans les conditions agroécologiques desdites zones impose la recherche continue de nouvelles variétés adaptées. En effet, le choix continu de variétés adaptées aux conditions édaphiques et climatiques demeure une voie d'amélioration de la rentabilité de la production cotonnière (3).

Au Bénin, le programme d'amélioration variétale prévoit que les meilleures variétés de coton identifiées après plusieurs années d'activités de création et de sélection en station, subissent un



test de performance en milieux contrôlé et paysan. En effet, la sélection pour l'adaptation spécifique est un moyen d'exploiter l'interaction génotype x environnement (GxE) (2).

Des essais sont alors installés à travers un dispositif multi-local mis en place sur toute l'étendue du territoire national du Bénin avec une forte concentration dans les bassins cotonniers. L'objectif de cette étude est d'identifier sur la base du rendement en coton-graine les meilleurs génotypes dans chacune des grandes zones de production cotonnière du Bénin.

Matériel et Méthodes

Présentation de la zone d'étude

Le paysage variétal béninois a été régionalisé avec l'identification de 4 zones de production cotonnière : Nord, Centre-nord, Centre et Sud dans lesquelles l'étude a été conduite (figure 1). Selon plusieurs sources concordantes (7, 17, 22), les caractéristiques climatiques des 4 zones se présentent comme suit :

- La zone Nord regroupe les départements de l'Alibori et de l'Atacora et est comprise entre le 10°45' et 12°00' latitude Nord. Il y règne un climat de type soudano-sahélien avec une seule saison des pluies s'étalant sur 5 mois. La pluviométrie moyenne annuelle est comprise entre 750 à 1100 mm et la température moyenne annuelle de 28°C. La durée d'insolation annuelle est de 2712 heures.
- Située entre le 8°30' et 10° 45' latitude Nord, la zone Centre Nord comprend les départements du Borgou et de la Donga et abrite également un climat de type soudano-sahélien à une seule saison de pluie. La hauteur d'eau enregistrée par an varie entre 1000 et 1200mm s'étalant sur 80 à 110 jours pour une saison pluvieuse de 6 mois. La température annuelle est en moyenne de 26,5°C et l'insolation est de 2498 heures par an en moyenne.
- Constituée du seul département des Collines, la zone cotonnière Centre, est située entre le 7°45' et 8°30' latitude Nord. Elle est une zone de transition entre les climats de type soudano-sahélien à une seule saison de pluie et le soudano guinéen à 2 saisons de pluie mais avec une dominance vers le second type. Il y tombe en moyenne 1000-1150 mm de pluie par an répartis sur 80 à 110 jours. La température moyenne annuelle s'élève à 27°C avec une durée d'insolation de 2334 heures.an⁻¹.
- Les départements du Zou, du Mono et du Couffo composant la zone Sud sont situés entre le 6°45' et 7°45' latitude Nord et bénéficient d'un climat de type soudano-guinéen ou type subéquatorial à 2 saisons de pluie alternées par deux saisons sèches. Les précipitations moyennes annuelles varient entre 1000 et 1400mm avec une température moyenne annuelle de 27,5°C. La durée moyenne de l'insolation est de 2167 heures par an.

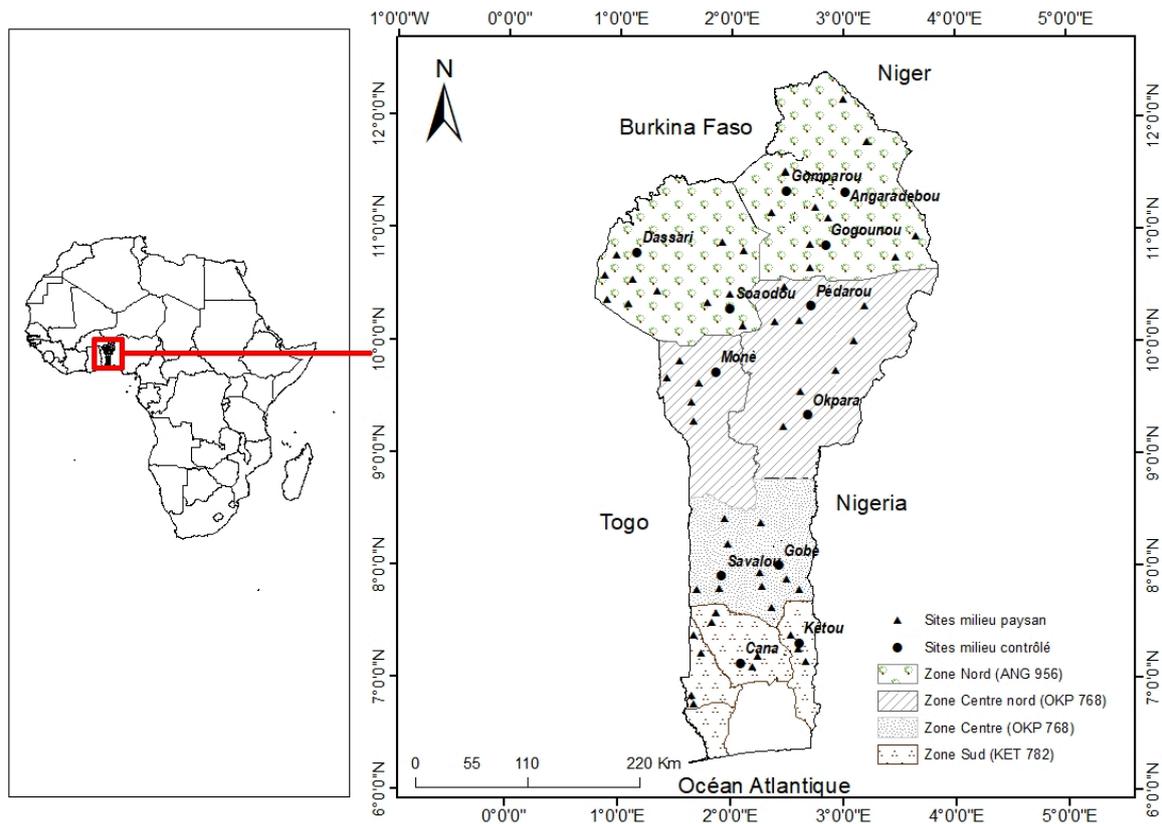


Figure 1 : Carte de la zone d'étude montrant le dispositif multi-local des sites d'expérimentation en milieux contrôlé et paysan

Pour mieux apprécier les conditions hydriques de culture, les données pluviométriques ont été collectées sur chaque site en milieu contrôlé. La pluviométrie utile a été calculée en prenant seulement en compte toutes les hauteurs d'eau tombées entre les dates de semis des cotonniers et de l'ouverture de 50 % de leurs capsules. Cette pluviométrie enregistrée au cours des 3 années d'évaluation variétale montre une importante variation inter annuelle. La moyenne annuelle de la quantité d'eau qu'ont reçue les cotonniers pour l'ensemble des zones varie de 614 (année 2015) à 714 mm d'eau (année 2016).

Les cotonniers de la zone nord sont les plus arrosés suivis respectivement de ceux des zones centre-nord, centre et sud (figure 2). En effet, le centre et le sud sont les zones ayant 2 saisons pluvieuses et la culture cotonnière est réalisée au cours de la 2^{ème} saison pluvieuse. Ainsi, les cotonniers de ces zones ne bénéficient que d'une partie de la pluviométrie de la saison contrairement aux zones nord et centre-nord ayant une seule saison pluvieuse.

La durée de la pluviométrie utile exprimée en nombre de jours après semis est relativement plus élevée au centre et au sud mais qui malheureusement n'est pas suivie d'une amélioration des hauteurs d'eau tombées. L'année 2017 a été la plus arrosée dans les zones cotonnières nord et centre-nord pendant que le centre et le sud ont enregistré leur meilleure pluviométrie au cours de l'année 2016.

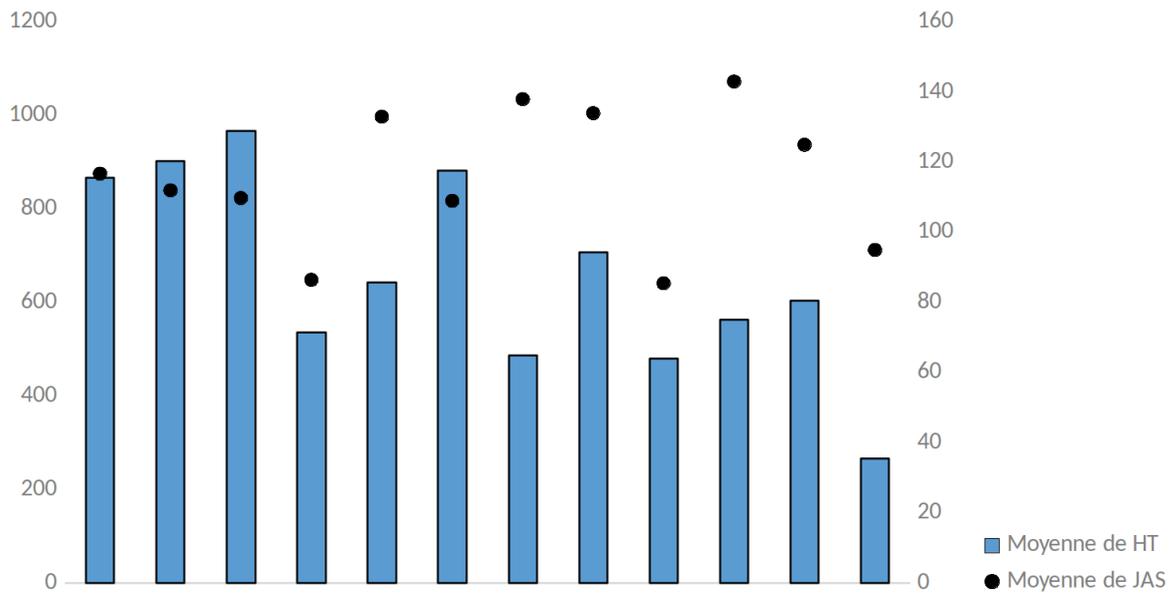


Figure 2 : Pluviométrie utile annuelle des 3 années dans les zones cotonnières

Conduite des essais

L'activité d'évaluation variétale a été conduite au cours des campagnes agricoles de 2015-2016 à 2017-2018 sur les Centres Permanents d'Expérimentation (CPE) du Centre de Recherches Agricoles Coton et Fibres (CRA-CF) constituant le milieu contrôlé. Le milieu paysan est représenté par les parcelles des producteurs de coton sur lesquelles les essais ont été également conduits sous gestion paysanne (figure 1). La synthèse des résultats a porté sur 146 essais analysés soit 31 en milieu contrôlé et 115 en milieu paysan (tableau 1).

Tableau 1 : Nombre d'essais en milieux contrôlé et paysan pris en compte dans l'étude

Campagnes agricoles		2015-2016		2016-2017		2017-2018		Total MC	Total MP	Total
Zones de production	Milieu Contrôlé (CPE)	Milieu Paysan (Cotonculteurs)	Milieu contrôlé (CPE)	Milieu Paysan (Cotonculteurs)	Milieu contrôlé (CPE)	Milieu Paysan (Cotonculteurs)				
Nord	4	17	3	16	5	17	12	50	62	
Centre-Nord	2	7	2	5	3	12	7	24	31	
Centre	2	6	2	7	2	8	6	21	27	
Sud	2	5	2	6	2	9	6	20	26	
Total Milieu	10	35	9	34	12	46	31	115	146	
Total Campagne	45		43		5					

Zone Nord= Alibori+Atacora, Zone Centre-Nord= Borgou+Donga, Zone Centre=Collines, Zone Sud= Zou+Couffo+Plateau, MC= Milieu Contrôlé, MP= Milieu Paysan, CPE= Centre Permanent d'Expérimentation.

Le matériel végétal est constitué de 10 géotypes sélectionnés au Bénin ayant un port élancé-arborescent dont 7 géotypes-candidate en fin de sélection comparés à 3 témoins vulgarisés. Les mêmes géotypes ont été évalués dans les 2 milieux durant les 3 campagnes agricoles. Les géotypes P 625-1 et P 746-1 ont été comparés aux témoins respectifs des différentes zones de production cotonnière simultanément sur CPE et auprès des producteurs de coton. Les géotypes Q 674-2, Q 723-4, Q792-2, R 663-4 et R 689-1 ont été évalués exclusivement sur les CPE.

**Tableau 2 : Nature des géotypes mis en comparaison en milieux contrôlé et paysan de 2015 à 2017**

Dénomination	Origine génétique (croisement)	Origine du croisement	Type d'essai	Nature objet
ANG 956	A 12/.../D 470-3	Bénin	MC/MP	Témoin zone Nord
OKP 768	F 145-2 x F 244-1	Bénin	MC/MP	Témoin zones Centre-nord et Centre
KET 782	G 165 x CR 92-534	Bénin	MC/MP	Témoin zone Sud
P 625-1	I 875-3 x H 279-1	Bénin	MC/MP	Évalué
P 746-1	I 187-3 x H 279-1	Bénin	MC/MP	Évalué
Q 674-2	K 173-2 x K 235-2	Bénin	MC	Évalué
Q 723-4	K 235-1 x Siokra 324	Bénin	MC	Évalué
Q 792-2	I 188-1 x STAM 18 A	Bénin	MC	Évalué
R 663-4	M 644-2 x H 782-3	Bénin	MC	Évalué
R 689-1	M 843-1 x K 195-4	Bénin	MC	Évalué

MC : milieu contrôlé. MP : milieu paysan. Source : (9)

Sur chaque site expérimental, le dispositif utilisé est le Bloc Aléatoire Complet (BAC) à 6 répétitions. Sur les CPE, les parcelles élémentaires sont constituées de 4 lignes de 9 mètres et les semis sont réalisés à un écartement de 0,8 x 0,3 m et démarrés à un plant par poquet soit une densité de 41.666 plants.ha⁻¹. Les opérations culturales ont été réalisées suivant les conditions optimales de production recommandées par la recherche (9).

Ainsi, toutes les parcelles sont labourées au tracteur. Les semis de la zone nord sont effectués dans les deux premières décades du mois de juin. Dans la zone centre nord, les semis sont intervenus dans les deux dernières décades de juin. Les parcelles des zones centre et sud ont été semées entre la 3^{ème} décade de juin et la 1^{ère} décade de juillet de chaque campagne agricole. Avant l'installation des essais, l'herbicide total a été utilisé pour désherber les sites.

Pour réduire le nombre de sarclage, l'herbicide sélectif de prélevée a été appliqué au semis. Par la suite 2 sarclages et un sarclo-buttage ont été réalisés pour contrôler les mauvaises herbes sur les parcelles. Pour la fumure minérale la dose recommandée de 200 kg.ha⁻¹ d'engrais coton N₁₄P₂₃K₁₄S₅B₁ a été appliquée dans les 15 premiers jours après semis. Un complément d'engrais azoté (Urée 46 % d'azote) a été apporté aux cotonniers au 40^{ème} jour après semis. La protection insecticide a été renforcée pour minimiser toute influence des ravageurs sur la productivité des

génotypes, avec un programme de traitements phytosanitaires composé de produits alternatifs, de binaires acaricides et de binaires aphicides.

Démarré dès le 45^{ème} jour après levée, un total de 10 traitements phytosanitaires hebdomadaires a été réalisé. Les quatre premiers traitements insecticides ont été réalisés avec l'insecticide Cobra 120 EC (Spinétorame 56 g.L⁻¹ + acetamipride 64 g.L⁻¹) à la dose de 0,25 L.ha⁻¹ par traitement. Les 3 traitements suivants ont été réalisés avec Lamdacal P 215 (lamdacyalothrine 15 g.L⁻¹ + profénofos 200 g.L⁻¹) à la dose d' 1 L.ha⁻¹ et par traitement. Le binaire aphicide Thunder 145 O-TEQ (β cyfluthrine- 45 g.L⁻¹ - imidachloprid 100 g.L⁻¹) appliqué à la dose de 0,2 L.ha⁻¹ par traitement a été utilisé lors des 3 derniers traitements.

En milieu paysan, les semis sont réalisés à un écartement de 0,8 x 0,4 m avec des parcelles élémentaires de 3 lignes de 20 mètres et un démariage à 2 plants par poquet soit une densité de 62.500 plants.ha⁻¹. Tout comme en milieu contrôlé, l'engrais minéral (N₁₄P₂₃K₁₄S₅B₁) a été utilisé à la dose recommandée de 200 kg.ha⁻¹. L'urée a été apportée à la dose de 50 kg.ha⁻¹. Hormis la densité de semis et la dose de fumure minérale, les autres opérations culturales sont entièrement laissées à l'appréciation du producteur-expérimentateur.

Analyses statistiques

Le rendement en coton-graine (Rdt) estimé en kg.ha⁻¹ est la seule variable mesurée dans cette étude. Il a été calculé à partir des poids de coton graine récoltés sur les deux lignes centrales en milieu contrôlé et la seule ligne centrale en milieu paysan.

Pour tester l'effet de la variété (*var*) et de l'année (*an*) sur les rendements (*y*) dans chaque zone cotonnière, le modèle linéaire à effets mixtes a été progressivement réduit par soustraction des interactions non significatives. Dans le modèle initial, la variété et l'année sont traitées comme effets fixes, alors que les sites (respectivement *CPE* en milieu contrôlé et *commune* en milieu paysan) et producteurs ajoutés aux *blocs* sont considérés comme des effets aléatoires.

Le facteur *bloc* est emboîté dans le facteur *CPE* pour l'essai en milieu contrôlé. De la même manière en milieu paysan, le dispositif est tel que le *bloc* est emboîté dans le facteur *producteur* qui lui-même est emboîté dans le facteur *commune*. Tous ces facteurs aléatoires sont emboîtés dans la composante aléatoire du facteur *an*. Pour l'étude de la variable réponse qu'est le rendement en coton graine, nous avons élaboré et testé plusieurs modèles d'analyse.

Le meilleur modèle a été sélectionné sur la base de la plus faible valeur du critère d'information de Akaike (5). Ainsi, les 2 meilleurs modèles retenus qui ajustent mieux les données respectivement en milieu contrôlé et en milieu paysan indiquent que les effets fixes (variétés et années) sont additifs. Les effets aléatoires expliquant le mieux la variabilité des rendements sont ceux liés au bloc par site et par année d'une part et ceux liés au choix des sites par année (voir équation des modèles ci-dessous).

Modèle1 : milieu contrôlé



$$y = \mu + var + an + (var \times an) + (CPE \times an) + (bloc \times CPE \times an) + \varepsilon$$

Modèle2 : milieu paysan

$$y = \mu + var + an + (var \times an) + (producteur \times commune \times an) + (bloc \times producteur \times commune \times an) + \varepsilon$$

où μ désigne la moyenne générale des rendements et ε est le terme d'erreur. Les facteurs en gras sont des composantes aléatoires.

L'analyse de variance par la méthode de Satterthwaite est effectuée à partir de ces modèles (26). En cas de différences significatives, une comparaison des modalités des effets fixes est faite en utilisant la méthode des contrastes suite à l'estimation des moyennes corrigées par la méthode des moindres carrés ordinaires (27).

Pour l'évaluation des interactions GxE, le modèle AMMI (Additive Main effects and Multiplicative Interaction) a été utilisé (21). Dans cette analyse entre zones, les témoins n'ont pas été pris en compte parce qu'ils n'ont pas été uniformément évalués dans toutes les zones et chaque combinaison année-CPE a été considérée comme un environnement différent. Toutes ces analyses ont été réalisées sous le logiciel R version 3.4.3 (25) avec les packages "agricolae" (23) et "lmerTest" (19).

Résultats et discussion

Variations inter zonales et inter annuelles des rendements en coton-graine des géotypes

La moyenne des 3 années d'évaluation des rendements en coton-graine en milieu contrôlé de l'ensemble des géotypes varie de 1114 kg.ha⁻¹ (zone sud) à 2261 kg.ha⁻¹ (zone nord). En milieu paysan le rendement au champ est compris entre 1330 kg.ha⁻¹ (zone sud) et 1775 kg.ha⁻¹ (zone nord). Les mêmes tendances sont observées en 2016 et 2017. Il se dégage alors une amélioration du rendement en coton graine de la zone sud vers la zone nord. Seule l'année 2015 a connu un changement de rang entre les zones centre-nord et centre (tableaux 3, 4, 5 et 6). Ce gradient nord sud observé dans cette étude confirme les résultats des travaux précédents (15).

Les facteurs climatiques (pluie utile, température, durée d'insolation, humidité relative de l'air) de la partie septentrionale sont donc plus favorables à la production cotonnière. En effet, une augmentation de la durée d'ensoleillement et de la hauteur d'eau utile améliorent la productivité de la culture (24). Ces conditions optimales diminuent du nord au sud où les rendements en coton-graine des géotypes sont les plus faibles.

En raison de l'absence d'interaction géotypes x années ($p > 0,05$), il est aisé de constater que les performances relatives des différents géotypes ne dépendent pas de l'année. Les conditions climatiques d'une année ont cependant affecté le rendement en coton-graine de l'ensemble des

génotypes sans que l'effet ne soit significatif ($p > 0,05$) (tableaux 3, 4 et 6). En témoignent les plus faibles rendements en coton-graine obtenus en 2015 dans les zones nord, centre nord et sud (tableaux 3, 4 et 6). Les faibles quantités d'eau enregistrées et leur mauvaise répartition temporelle pourraient contribuer à ce résultat (figure 2).

Par ailleurs, en 2015, globalement, il n'y avait pas d'effet des génotypes sur le rendement en coton-graine ($p > 0,05$) dans toutes les zones sauf le sud (tableaux 3,4, 5 et 6). En 2016 et 2017, les différences entre génotypes étaient significatives dans toutes les zones sauf au centre en 2016 (tableaux 3,4, 5 et 6). La bonne pluviométrie observée au cours des années 2016 et 2017 a certainement amélioré le rendement au champ des génotypes étudiés. Nous émettons l'hypothèse que la sécheresse réduit non seulement le rendement moyen en coton-graine des génotypes testés, mais aussi qu'elle ne permet pas de bien discriminer ces derniers.

Performances des génotypes par zones cotonnières

Les rendements moyens en coton-graine des génotypes en milieu contrôlé de la zone nord varient entre $2122 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (ANG 956) et $2406 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (R 663-4). L'analyse de variance des rendements moyens en coton-graine des génotypes sur l'ensemble des 3 campagnes révèle que le génotype R 663-4 a affiché la meilleure performance ($p = 2,767 \times 10^{-6}$) (figure 3.a). Ce génotype a enregistré un gain de rendement en coton graine de 13 % soit $300 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de plus que le témoin. La P 746-1 est le deuxième génotype le plus performant ($p < 0,001$) dans cette zone, avec un gain de rendement de 10 %.

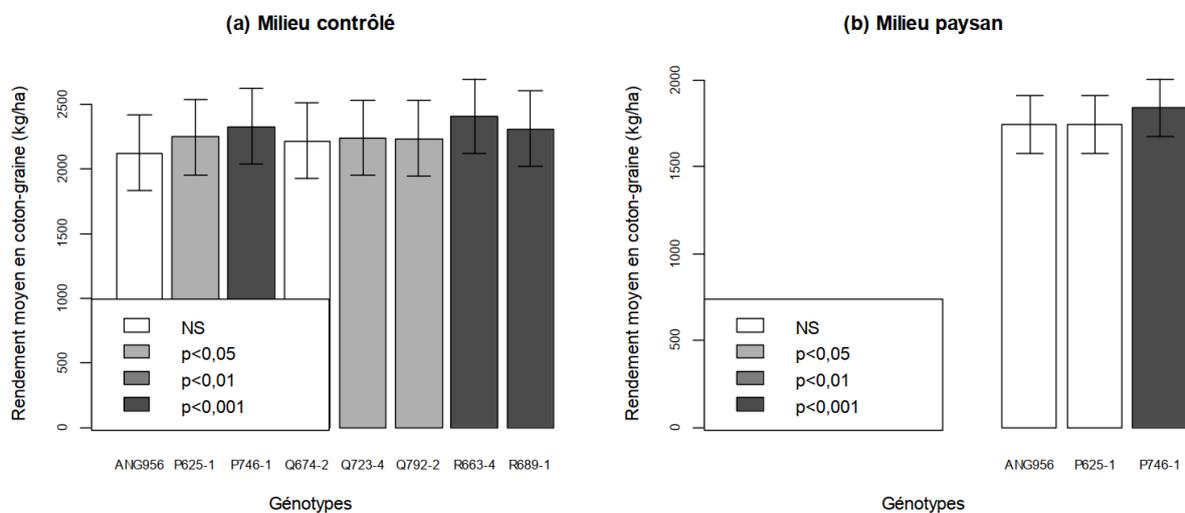


Figure 3 : Moyenne des 3 années des rendements moyens en coton-graine des génotypes étudiés en milieux contrôlé (3.a) et paysan (3.b) dans la zone nord

En milieu paysan de la zone nord, le génotype P 746-1 s'est également montré significativement supérieur au témoin (ANG 956) ($p < 0,001$) et surpasse sa performance de 6 % (figure 3.b). Ce résultat confirme les observations faites en milieu contrôlé sur ce génotype. Les mêmes tendances sont observées au cours des années 2016 et 2017 dans ces deux milieux (tableau 3).

**Tableau 3 : Rendements moyens en coton-graine des différents génotypes de cotonnier par année dans la zone nord (Alibori+Atacora) du Bénin**

Génotypes	Rendements moyens \pm ES (kg.ha ⁻¹) en Milieu Contrôlé			Rendements moyens \pm ES (kg.ha ⁻¹) en Milieu Paysan		
	2015	2016	2017	2015	2016	2017
ANG 956 (témoin)	1901,62 \pm 103	1944,83 \pm 111 d	2406,26 \pm 75 c	1660,31 \pm 61	1710,44 \pm 60 b	1800,83 \pm 65 b
P 625-1	1986,11 \pm 105	2127,32 \pm 148 bcd	2525,33 \pm 105 abc	1611,43 \pm 58	1751,99 \pm 61 b	1775,87 \pm 59 b
P 746-1	2034,43 \pm 112	2204,09 \pm 115 bc	2629,33 \pm 107 ab	1613,61 \pm 58	1848,72 \pm 58 a	1948,89 \pm 71 a
Q 674-2	1970,78 \pm 125	2116,13 \pm 101 bcd	2466,64 \pm 95 c	nd	nd	nd
Q 723-4	1949,84 \pm 126	2188,66 \pm 136 bc	2501,40 \pm 91 bc	nd	nd	nd
Q 792-2	2043,52 \pm 110	2066,74 \pm 110 cd	2484,62 \pm 97 c	nd	nd	nd
R 663-4	2003,76 \pm 129	2515,82 \pm 103 a	2663,97 \pm 106 a	nd	nd	nd
R 689-1	2023,73 \pm 128	2288,97 \pm 115 b	2541,92 \pm 98a bc	nd	nd	nd
Moyenne	1989,22 \pm 41	2181,57 \pm 43	2527,43 \pm 34	1628,8 \pm 34	1770,11 \pm 60	1841,51 \pm 31
P variétés	0,86	2,462e-06 ***	6,87e-03*	0,87	8,86e-04***	3,02e-04***

*: significatif au seuil de 5 % ; *** : significatif au seuil de 0,1 % ; les génotypes portant les mêmes lettres alphabétiques ne sont pas significativement différents au seuil de 5 % ES : erreur standard nd : non disponible

Dans les zones centre-nord et centre, les rendements moyens en coton graine en milieu contrôlé sont compris respectivement entre 1672 kg.ha⁻¹ (Q 723-4) et 1996 kg.ha⁻¹ (OKP 768) et 1470 kg.ha⁻¹ (Q 723-4) et 1725 kg.ha⁻¹ (R 663-4). Une différence significative a été observée entre les génotypes ($p < 0,001$) à partir de l'analyse de variance des résultats des 3 années d'évaluation dans la zone centre-nord ($p = 3,031e-09$) et centre ($p = 5,85e-04$). Mais aucun des génotypes évalués ne s'est montré significativement supérieur au témoin OKP 768 tant en milieu contrôlé qu'en milieu paysan ($p > 0,05$) (figures 4 et 5). Les mêmes observations ont été effectuées en 2016 et 2017 (tableaux 4 et 5). Ainsi, la variété OKP 768 demeure toujours la meilleure, suivie des génotypes R 663-4, R 689-1 et P 746-1 dans la zone centre nord. Les génotypes R 663-4 et P 625-1 affichent des performances proches de celles du témoin en milieu contrôlé dans la zone centre (figure 5.a).

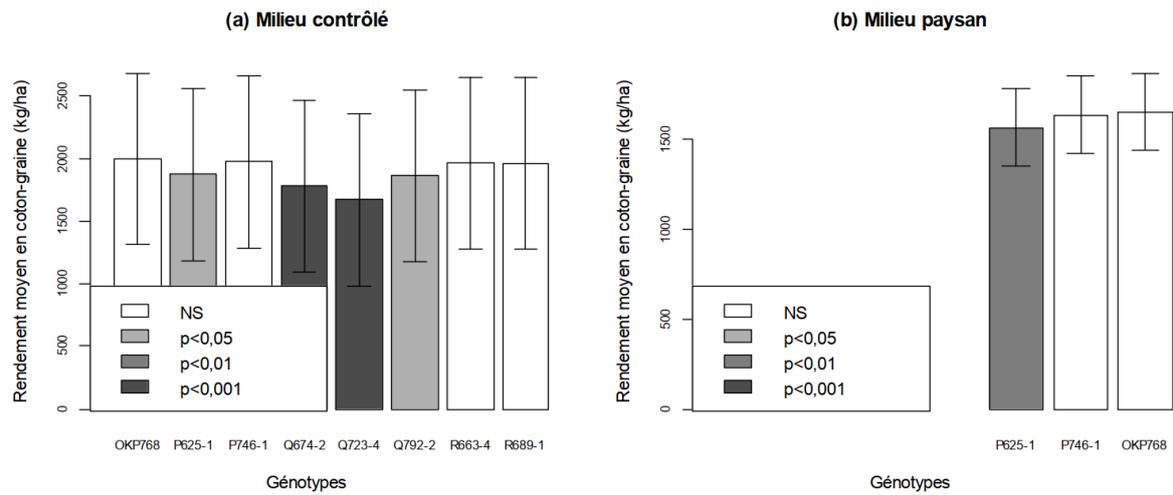


Figure 4: Moyenne des 3 années des rendements moyens en coton-graine des géotypes étudiés en milieux contrôlé (4.a) et paysan (4.b) dans la zone centre-nord

Les géotypes représentés par des barres non colorées ne sont pas significativement différents du témoin (OKP 768)

**Tableau 4 : Rendements moyens en coton-graine (kg.ha⁻¹) des différents géotypes de cotonnier par année dans la zone centre nord (Borgou +Donga) du Bénin**

Géotypes	Rendements moyens ± ES (kg.ha ⁻¹) en Milieu Contrôlé			Rendements moyens ± ES (kg.ha ⁻¹) en Milieu Paysan		
	2015	2016	2017	2015	2016	2017
OKP 768 (témoin)	1605,95±199ab	1649,88±154 a	2484,93±207 a	1444,96±74	1806,91±91	1698,97±77 a
P 625-1	1470,82±94bc	1685,76±147 ab	2268,8±188 bc	1404,51±80	1730,20±93	1582,03±75 b
P 746-1	1651,38±194ab	1668,89±129 ab	2389,93±207 ab	1493,92±83	1731,25±81	1669,15±75 a
Q 674-2	1486,33±96bc	1555,38±150 bc	2124,19±187 cd	nd	nd	nd
Q 723-4	1380,83±102c	1493,05±136 bc	1984,73±160 d	nd	nd	nd
Q 792-2	1450,57±171bc	1520,83±175 bc	2366,08±185 ab	nd	nd	nd
R 663-4	1486,16±167bc	1706,59±158 a	2455,87±216 a	nd	nd	nd
R 689-1	1726,03±120a	1619,21±147 ab	2348,91±215 ab	nd	nd	nd
Moyenne	1532,26±51	1598,16±52	2302,93±69	1447,80±45	1755,90±51	1650,05±43
P variétés	2,33e-02*	2,92e-02*	1,08e-06 ***	0,2926	0,3877	8,59e-03**

*: significatif au seuil de 5 % ; *** : significatif au seuil de 0,1 % ; les géotypes portant les mêmes lettres alphabétiques ne sont pas significativement différents au seuil de 5 % ES : erreur standard nd : non disponible

Tableau 5 : Rendements moyens en coton-graine (kg.ha⁻¹) des différents géotypes de cotonnier par année dans la zone centre (Collines) du Bénin

Géotypes	Rendements moyens ± ES (kg.ha ⁻¹) en Milieu Contrôlé			Rendements moyens ± ES (kg.ha ⁻¹) en Milieu Paysan		
	2015	2016	2017	2015	2016	2017
OKP 768 (témoin)	1674,76±226	1615,74±91	1649,31±129 ab	1366,49±97	1450,89±79	1400,64±59 b
P 625-1	1833,33±279	1641,2±149	1548,62±107 abc	1336,28±101	1264,88±69	1425,00±63 b
P 746-1	1696,75±260	1541,66±120	1475,7±112 bc	1332,63±100	1361,6±79	1574,21±65 a
Q 674-2	1787,03±272	1576,39±108	1339,12±79 cd	nd	nd	nd
Q 723-4	1638,89±222	1454,86±87	1387,74±72 cd	nd	nd	nd
Q 792-2	1775,46±264	1475,69±106	1428,24±102 cd	nd	nd	nd
R 663-4	1769,67±253	1650,46±112	1756,95±199 a	nd	nd	nd
R 689-1	1663,19±263	1431,71±80	1482,64±74 bc	nd	nd	nd
Moyenne	1730,84±87	1548,46±38	1508,54±41	1344,41±56	1359,12±44	1467,17±36
P variétés	0,2797	0,1183	5,29e-03**	0,8444	0,07792	7,74e-03**

*: significatif au seuil de 5 % ; *** : significatif au seuil de 0,1 % ; les géotypes portant les mêmes lettres alphabétiques ne sont pas significativement différents au seuil de 5 % ES : erreur standard nd : non disponible

La moyenne de rendement en coton graine en milieu contrôlé dans la zone cotonnière sud varie de 1049 kg.ha⁻¹ (Q 674-2) à 1298 kg.ha⁻¹ (P 625-1). L'analyse de variance des rendements pour l'ensemble des 3 années indique un effet géotype significatif suggérant que des différences de performances existent entre les géotypes testés (p<0,001).

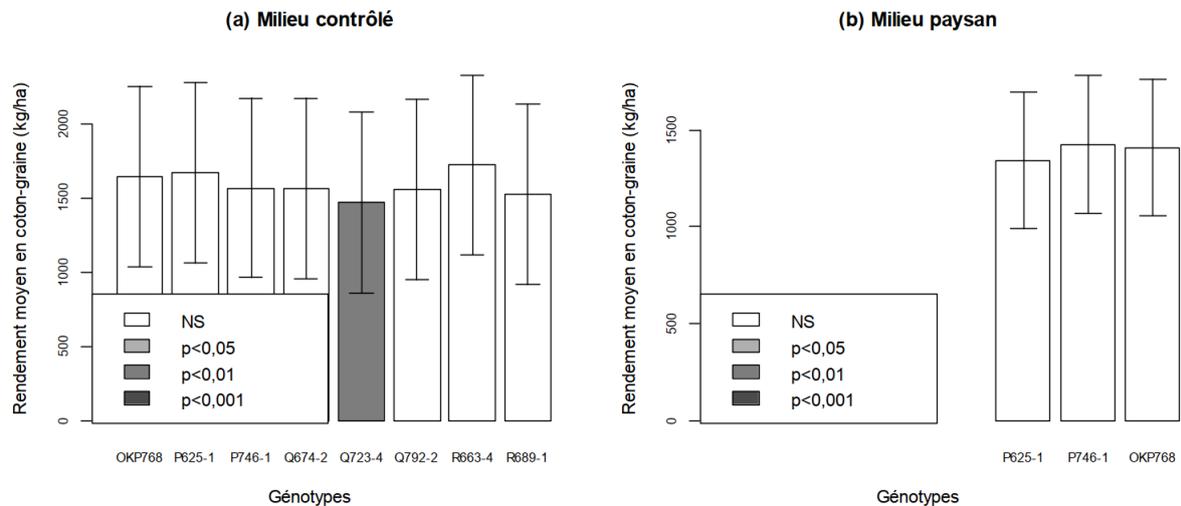


Figure 5: Moyenne des 3 années des rendements moyens en coton-graine des géotypes étudiés en milieux contrôlé (5.a) et paysan (5.b) dans la zone centre

Les géotypes représentés par des barres non colorées ne sont pas significativement différents du témoin (OKP 768)

Les résultats ont montré la supériorité du géotype P 625-1 sur le témoin KET 782 en milieu contrôlé. En effet, ce géotype a amélioré la performance du témoin avec un surplus de 18 % soit près de 200 kg.ha⁻¹ de son rendement en coton graine (figure 6.a).

En milieu paysan, les deux variétés P 625-1 et P 746-1 dont les performances sont égales, sont toutes supérieures au témoin (p<0,01) (figure 6.b). La P 625-1 permet d'obtenir un gain de rendement de 9 %. Des résultats similaires ont été obtenus en 2015 et 2017 (tableau 6).

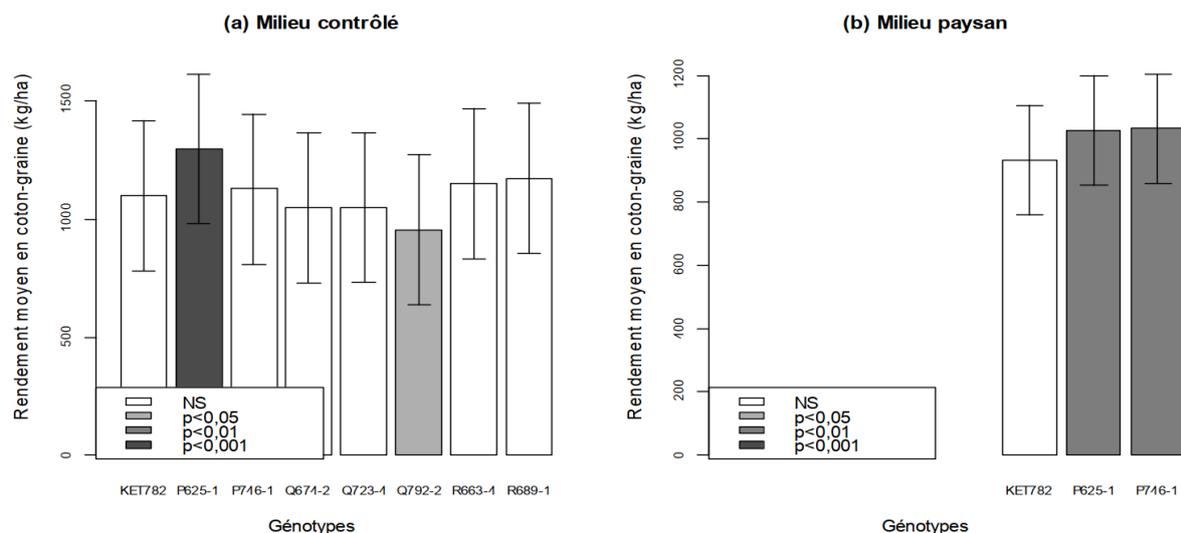


Figure 6: Moyenne des 3 années des rendements moyens en coton-graine des géotypes étudiés en milieux contrôlé (6.a) et paysan (6.b) dans la zone sud

Les géotypes représentés par des barres non colorées ne sont pas significativement différents du témoin (KET 782)

Les performances des géotypes étudiés sur les Centres Permanents d'Expérimentation (CPE) ont connu de fortes variations. Les meilleurs rendements en coton graine sont obtenus à Angaradebou dans la zone nord, Okpara dans la zone centre-nord et les CPE de Gobé et Cana respectivement dans les zones centre et sud (tableau 7). Cette observation suggère une relative hétérogénéité des zones qui n'a pas été mesurée au cours de la présente étude.

Tableau 7 : Effet aléatoire des sites sur le rendement en coton graine (kg.ha⁻¹) des variétés étudiées en milieu contrôlé

Zones	CPE	Effet moyen du site sur 3 années (kg.ha ⁻¹)
Nord	Angaradebou	227
	Dassari	-171
	Gogounou	-4
	Gomparou	-139
	Soaodou	86
Centre nord	Bembereke	104
	Mone	-609
	Okpara	505
Centre	Gobe	458
	Savalou	-458
Sud	Cana	221
	Kétou	-221

Au vu de ces résultats, il apparaît que les géotypes P 746-1 et P 625-1 testés en milieu paysan ont des rendements en coton-graine significativement supérieurs aux témoins respectifs des zones nord (ANG 956) et sud (KET 782). L'adoption de ces géotypes induirait une amélioration du rendement au champ et donc du revenu des producteurs de ces zones de 6 à 10 %. Dans l'hypothèse d'un prix d'achat de coton-graine à 260 FCFA.kg⁻¹, les producteurs des zones nord et sud, gagneraient en plus, respectivement 26.000 FCFA.ha⁻¹ et 32500 FCFA.ha⁻¹.

Analyse des interactions entre les géotypes et les zones cotonnières

Le comportement des 7 nouveaux géotypes testés en milieu contrôlé, discrimine les 4 zones cotonnières en des environnements distincts (Figure 7). L'absence de courbes parallèles sur



l'ensemble des 4 zones révélée par l'allure des graphes démontre que les réactions des génotypes sont variables suivant les environnements (6). Cette situation laisse présager de la présence d'une interaction entre les génotypes évalués et leurs environnements. En présence d'interactions GxE, le classement des variétés peut être modifié entre deux environnements (4), ce qu'indiquent les tableaux 3, 4,5 et 6.

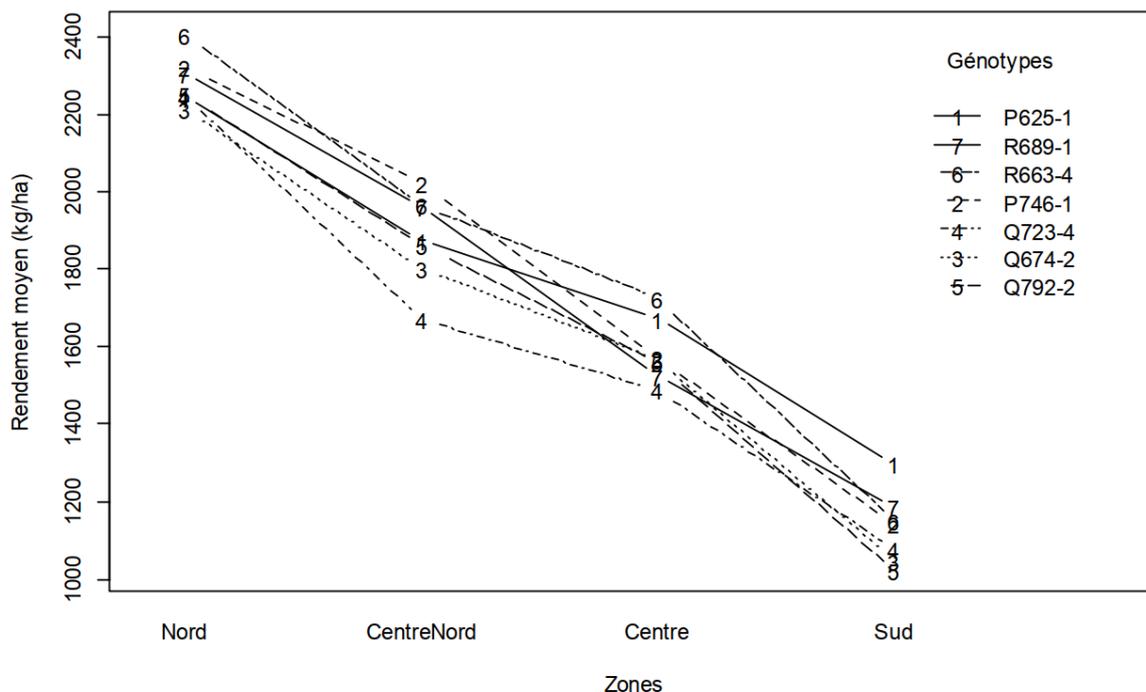


Figure 7 : Réponses observées pour les 7 génotypes étudiés pendant 3 années dans les zones cotonnières.

Tous les segments de droite non parallèles sur la figure 7 indiquent un changement du rang des génotypes considérés d'une zone à l'autre, et donc une probable interaction génotypes x zones. Toutefois, les segments de droite des génotypes P 625-1 et Q 723-4 dans les zones centre-nord, centre et sud sont parallèles et révèlent donc l'absence d'interaction entre ces génotypes et lesdits environnements. De la même manière, les génotypes R 663-4 et Q 674-2 se sont comportés de la même manière dans les zones cotonnières nord, centre-nord et centre. En conclusion, aucun des génotypes évalués n'est spécifique à tous les 4 environnements en raison de la présence des interactions.

L'allure des courbes démontre que les interactions sont d'ordre qualitatif du fait de changement de classement des génotypes d'une zone à une autre (12). Ces interactions entre génotypes et zones bien que faibles sont significatives (Tableau 8). En effet, seulement 1,5 % de la variabilité totale du rendement en coton graine est due aux interactions des génotypes avec les zones (GxE). L'environnement (E) constitue la source de variation la plus importante expliquant 96,5 % de cette variabilité. Cette forte influence de l'environnement sur le rendement en coton graine étudié dans cette activité de recherche est due certainement à la faible héritabilité du caractère (16).

Tableau 8 : Analyse de variance selon le modèle AMMI du rendement en coton-graine de 7 variétés de coton testées sur 3 années dans les 4 zones cotonnières du Bénin.

Source de variation	ddl	SCE	CME	F-obs	Probabilité	% SCE
Environnement (E)	3	236012816	78670939	37,8692	< 2,2e-16 ***	96,5
Bloc/E	182	378093810	2077439	28,489	< 2,2e-16 ***	-
Génotypes (G)	6	5028252	838042	11,4925	1,716e-12 ***	2,1
G X E	18	3623259	201292	2,7604	0,0001092 ***	1,5

ddl : degré de liberté, SCE : somme des carrés des écarts, CME : carrés moyens, F-obs : statistique F de Fisher.

La figure 8 présente les scores des génotypes et des environnements sur les deux premières composantes principales (PC1 et PC2) de l'AMMI. Ces composantes sont significatives et expliquent 96,9 % de la variabilité observée (figure 8). Toutes les 4 zones sont discriminantes mais la zone sud l'est davantage comme l'indique la valeur élevée prise par son vecteur. Les zones centre et sud sont les moins productives et s'opposent aux zones nord et centre-nord plus productives (figure 8). Les génotypes Q 792-2 et Q 723-4 présentent des scores proches de l'origine des axes. Ces génotypes contribuent donc peu à l'interaction. Les résultats de la figure 8 suggèrent que le génotype P 625-1 est spécifique à la zone sud. Le génotype P 746-1 s'est bien exprimé dans les zones nord et centre-nord sans y être spécifique. Il en est de même pour le génotype R 663-4 dans le nord, le centre-nord et le centre et le génotype R 689-1 dans le nord et le centre-nord.

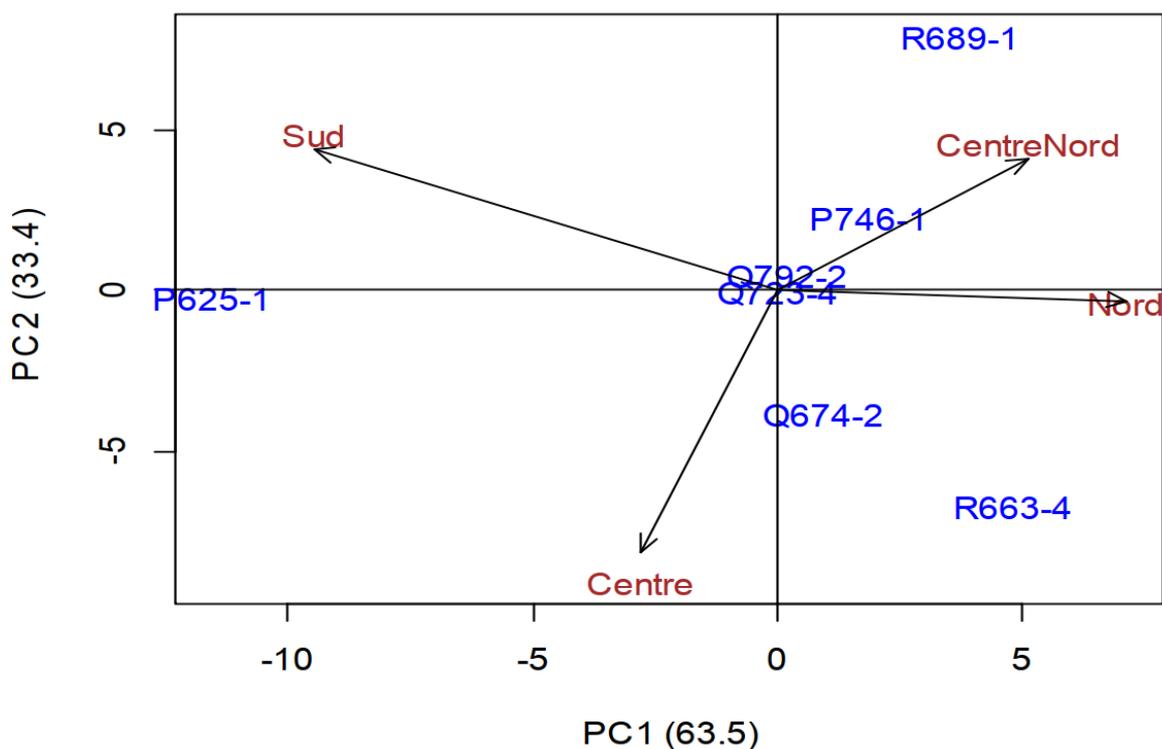


Figure 8 : Biplot AMMI des scores des génotypes et des environnements sur les deux premiers axes

Conclusion

La conduite des essais pluriannuels est une étape décisive en amélioration des cotonniers pour l'évaluation et la recommandation des variétés. L'analyse des interactions génotypes x environnements à l'aide des différents modèles permet de préciser que les génotypes de cotonnier en fin de sélection ont un comportement différent de celui des témoins et variable selon la zone de production. La présence de l'interaction génotype x environnement est confirmée par le changement de rang selon les zones cotonnières. Le génotype R 663-4 est potentiellement identifié comme le plus productif en milieu contrôlé dans la zone nord. Il peut passer l'ultime étape du processus de sélection variétale qu'est l'évaluation en milieu paysan. En milieu paysan, les génotypes P 746-1 et P 625-1 ont été plus performants que les témoins respectivement dans les zones nord et sud. Dans ces zones, ces derniers pourraient être proposés à la vulgarisation s'ils ne présentent pas de caractères technologiques rédhitoires.

Bibliographie

1. Afouda R. et al., 2013. La filière coton tisse sa toile au Bénin : Les organisations de producteurs étoffent leurs services aux exploitations agricoles familiales. SNV Bénin, KIT publishers. 112p.
2. Annicchiarico P., Bellah F. & Chiari T., 2005. Defining sub regions and estimating benefits for a specific adaptation strategy by breeding programs: a case study. *Crop Sci.*, **45**, 1741-1749.

3. Ashokkumar K. & Ravikesavan R., 2011. Morphological diversity and per se performance in Upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) *Journal of Agricultural Science*. Vol **3**, **2**, 107-113.
 4. Baker R.J., 1988. Tests for crossover genotype-environmental interactions. *Can. Journal Plant Sci.* **68**: 405-410
 5. Bolker B. M., Brooks M. E., Clark V. J. , Geange S. W., Poulsen J. R., M. H. H. Stevens, & White J.-S. S. 2009. Generalized linear mixed models: a practical guide for ecology and evolution. *Trends in Ecology and Evolution* **24**:127-135.
 6. Brancourt-Hulmel M., 2000. Sélection pour l'adaptation au milieu et prise en compte des interactions génotype/milieu. *OCL* **7** : 504-511.
 7. Climat-data.org <https://fr.climate-data.org/location/794734/>, (20/03/2018).
 8. CNUCED, 2006. L'amélioration de la durabilité de la production du coton en Afrique de l'ouest et du centre. CFC Technical paper N°41. 37p.
 9. CRA-CF, 2015. Fiche technique du coton, campagne agricole 2015-2016. Bénin. 10p
 10. Crétenet M., 2015. Potentialités du milieu, rendement et qualité en culture cotonnière. In : Crétenet M. & Gourlot J.-P, éd. *Le cotonnier*. Editions Quae, CTA, Presses agronomiques de Gembloux. Pp51-108.
 11. CTA, 2008. L'Association Interprofessionnelle du Coton au Bénin. Inter-Réseaux, Développement Rural. 13p.
 12. Foucteau V., 2001. Méta-analyse statistique: intégration de trois réseaux d'expérimentation pour améliorer l'efficacité de la sélection des variétés de tournesol. Thèse de doctorat, Institut National Agronomique Paris-Grignon 156pp.
 13. Gourlot J.P, Fruteau de Laclos A.L., Sigrist J.C., N'doye O.O., Fortuno S. & Gérardaux E., 2015. Atelier innovation technique et indicateurs de durabilité sur la culture du coton. Actes Atelier ITK-Aid coton. Dakar du 14 au 18 septembre 2015. 42p.
 14. Hougni A., Imorou, L., Dagoudo, A., Zoumarou-Wallis, N., 2016. Caractérisation agromorphologique de variétés de cotonnier (*Gossypium hirsutum*) pour une régionalisation économique pour la production du coton au Bénin. *European Scientific Journal* **36 (12)**, 210-227.
 15. Hougni A., Sêkloka, E., Djaboutou, M., Lançon, J., 2001. Au Bénin, la qualité du coton graine varie suivant les quatre zones agro-écologiques : Seed index, rendement à l'égrenage, longueur, micronaire et couleur, In : CIRAD, éd. *Actes des journées coton du Cirad* : Montpellier, 23 et 24 juillet 2001. Montpellier : CIRAD-CA, pp : 81- 86.
 16. Hougni D.J.M, Aboua D. C., Araye E., Hounton T., Amonmide I., Sinha M. & Hougni A. 2017. Evaluation of the heritability of key architectural traits and yield components in the Beninese cotton breeding program. *Journal of Cotton Science* **21**:306-314.
 17. INSAE <http://benin.opendataforafrica.org/kbekwme/climatologie-annuaire-benin>, (20/03/
-



- 2018)
18. ITC, 2011. Coton et changement climatique : impacts et options de réduction et d'adaptation. Document technique. ITC, Genève. 36p.
 19. Kuznetsova A., Brockhoff P.B. & Christensen R. H. B., 2017. "lmerTest Package: Tests in Linear Mixed Effects Models." *Journal of Statistical Software*, **82**(13), pp. 1-26. doi: 10.18637/jss.v082.i13 (URL: <http://doi.org/10.18637/jss.v082.i13>).
 20. Lacape J. M., Loison R. et Fonceka D., 2015. Amélioration de l'adaptation des cultures à la sécheresse en zone de savane africaine. In : Emmanuel Torquebiau (ed), *Agricultures et Défis du Monde Changement climatique et agricultures du Monde*. Collection CIRAD et AFD, PP 63- 74.
 21. Ly D., 2016. Prédiction génomique des interactions Génotype x Environnement à l'aide d'indicateurs agro-climatiques chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Thèse de doctorat. Sciences agricoles. Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II.
 22. MAEP, 2000. Schéma directeur du développement agricole et rural Vol. 2 stratégies sous sectorielles. Projet SPPD/BEN/99/004/. PNUD/FAO MAEP. Cotonou, Bénin, 171 p.
 23. de Mendiburu F., 2015. *agricolae : statistical procedures for agricultural research. R package version 1.2-3*. URL <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>
 24. Mergeai G. et Demol J., 1991. Contribution à l'étude de l'influence de divers facteurs météorologiques sur la production et la qualité des fibres chez le cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.) Bull. Rech. Agron. Gembloux **26 (1)**, 113-124.
 25. R Core Team, 2017. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
 26. Schaalje G.B., McBride J.B., Fellingham G.W., 2002. Adequacy of approximations to distributions of test Statistics in complex mixed linear models. *Journal of Agricultural, Biological and Environmental statistics*, **7** (512).
 27. Smyth, G. K., 2004. Linear models and empirical Bayes methods for assessing differential expression in microarray experiments. *Statistical Applications in Genetics and Molecular Biology*, **3**(1), Article 3. <http://www.statsci.org/smyth/pubs/ebayes.pdf>.
 28. UEMOA, 2010. Coton de l'UEMOA : l'or blanc d'Afrique de l'ouest à la conquête du marché mondial. Ouagadougou, Burkina Faso. UEMOA, > 21 p.