

## Relation entre les descendants de quatre géniteurs de BC1 : NJM X (NJM X GOA) à travers l'évaluation de leurs caractéristiques morphologiques au germe et à la pépinière

Nanoulo N'NAN ALLA<sup>1\*</sup>, Auguste Emmanuel ISSALI<sup>2</sup>, Konan Jean Louis KONAN<sup>3</sup>,  
Thierry Tacra LEKADOU<sup>3</sup>, Roland BOURDEIX<sup>4</sup> et Luc BAUDOIN<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Université Félix Houphouët Boigny, UFR Biosciences, Laboratoire de Génétique,  
22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

<sup>2</sup> Université Marien N'Gouabi, Ecole Normale Supérieure d'Agronomie et de Foresterie,  
Laboratoire de Production Végétale, BP 69, Congo-Brazzaville

<sup>3</sup> Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), Programme Cocotier, Station de Recherche Marc  
Delorme, Port Bouët, 07 BP 13 Abidjan 07, Côte d'Ivoire

<sup>4</sup> Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement,  
Unité Mixte de Recherche, UMR 3 AGAP, Avenue Agropolis 34398 Montpellier, France

<sup>5</sup> Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement,  
Unité Mixte de Recherche 1334 AGAP, Avenue Agropolis, 34398 Montpellier Cedex 5, France

(Reçu le 22 Juin 2021 ; Accepté le 16 Août 2021)

\* Correspondance, courriel : [nanoulo@yahoo.fr](mailto:nanoulo@yahoo.fr)

### Résumé

Dans le but de mieux comprendre l'histoire de l'évolution du cocotier et développer des outils génomiques pour son amélioration, l'établissement de la carte génétique du cocotier a été initié. Le plan de croisement convenu pour produire la population de cartographie est le back cross 1 : NJM x (NJM x GOA<sup>+</sup>) où quatre géniteurs issus du croisement NJM x GOA ont été recroisés au NJM. L'objectif de cette étude est de déterminer le degré de similarité entre les géniteurs utilisés dans ce croisement. Cela permettra de s'assurer de l'efficacité du croisement pour l'établissement de la carte génétique vu que chez les espèces allogames, il est difficile d'obtenir des populations homogènes. Pour cela les plants (descendants) issus de 120 noix semences, dont 64 sont issues des 4 géniteurs impliqués dans le BC1 et 56 récoltées sur 3 témoins NJM, PB121<sup>+</sup>, et GOA ont été utilisés. Cinq variables ont été mesurées sur différentes périodes de croissance au germe et à la pépinière. Sur l'ensemble des caractères morphologiques mesurés au germe et à la pépinière, seule la circonférence au collet a été le descripteur plus pertinent. Elle a permis de mettre en évidence que la population constituée par les 4 géniteurs est une population homogène, une similarité entre eux a été montrée. Ces géniteurs issus du croisement NJM X GOA ont eu une plus grande affinité avec le NJM. Cette étude a aussi montré que l'expression du nanisme ne s'observe qu'à partir de 844 jours après la mise en germe.

**Mots-clés :** *géniteurs, descendants, BC1, homogène, Cocos nucifera L.*

## Abstract

### Relationship the offsprings of four genitors involving in BC1 : MYD (MYD x WAT) through the evaluation of their morphological traits at nursery

In order to understand the evolutionary history of the coconut palm and develop genomic tools for its improvement, the establishment of the genetic map of the coconut palm has been initiated. The agreed crossing plan to produce the mapping population is the backcross 1 : NJM x (NJM x GOA +) where four parents from the NJM x GOA crossed, were crossed to the NJM. The objective of this study is to determine the degree of similarity between the parents used in this cross. This will ensure that the cross is efficient in establishing the genetic map, as allogamous species it is difficult to obtain homogeneous populations. For this, the plants (offsprings) from 120 seednuts, 64 of which came from the 4 parents involved in BC1 and 56 harvested from 3 controls, NJM, PB121 +, and GOA were used. Five variables were measured over different growth periods at the nursery. Of all the morphological characters measured at the nursery, only girth size was the most relevant descriptor. It made it possible to demonstrate that the population constituted by the 4 parents is a homogeneous population, a similarity between them has been shown. These parents from the NJM X GOA crossed, had a greater affinity with NJM. This study also showed that the expression of dwarfism was observed until 844 days after sowing.

**Keywords :** *parents, offsprings, BC1, homogeneous, Cocos nucifera L.*

## 1. Introduction

Le cocotier, *Cocos nucifera* L, est une plante pérenne très importante pour l'homme. Toutes ses parties, depuis les racines jusqu'aux feuilles, sont utilisées dans différents domaines : industrie, pharmacie, artisanat et pour l'alimentation [1, 2]. Il est appelé arbre de vie pour ses multiples utilisations [3]. Le cocotier couvre une superficie d'environ 12 millions d'hectares et fait vivre environ 10 millions de familles [4]. En Côte d'Ivoire, la cocoteraie couvre une superficie de 50000 hectares avec une production annuelle de 55 000 tonnes de Coprah [5]. Cette plante est la principale source de revenus d'environ 23 mille familles domiciliées essentiellement sur le littoral [6]. Au sein de l'espèce *Cocos nucifera* L, il existe naturellement deux grands groupes d'écotypes que sont les cocotiers "Grand" et les cocotiers "Nain". Il existe des différences entre ces 2 écotypes dans leurs caractéristiques biologiques [7]. Les cocotiers Nains sont plus précoces et produisent un plus grand nombre de régimes avec un nombre élevé de noix que les cocotiers Grands et ont une croissance en hauteur lente. Les noix produites par les cocotiers Grands sont cependant plus grosses et les écotypes grands ont une croissance en hauteur plus rapide [8]. L'amélioration génétique du cocotier initiée, depuis plusieurs années [9 - 11], a conduit à trois types d'hybrides qui résultent des croisements Nain x Nain, Nain x Grand, et Grand x Grand [12, 13]. Parmi les hybrides, ceux issus des croisements Nain X grand sont les plus performants. L'hybride PB121 qui résulte du croisement entre le Nain Jaune Malais (NJM) et le Grand Ouest Africain (GOA) demeure l'hybride le plus performant et le plus diffusé au monde. Une partie de ces hybrides a été décrite par de nombreux auteurs dont [14, 15]. Ils sont plus performants que leurs parents grâce à l'effet d'hétérosis [16, 17]. Dans un effort pour mieux comprendre son histoire de l'évolution et développer des outils génomiques pour son amélioration, plusieurs études dont l'établissement de la carte génétique du cocotier ont été entreprises [18, 19]. La cartographie des caractères quantitatifs exige qu'on sélectionne et/ou développe des populations de cartographie appropriées. Ces populations peuvent être populations expérimentales pour la cartographie par analyse de liaison ou populations naturelles sélectionnées pour la cartographie d'association. Elle exige également qu'on mesure le phénotype des individus de la population pour les caractères d'intérêt comme les caractères morphologiques, caractères agronomiques, taux de

sensibilité à des maladies et ravageurs, résistance à la sécheresse si possible dans différents environnements [20]. Le choix de la population de cartographie appropriée est très important pour la réussite de tout projet de cartographie de caractères quantitatifs [21, 22]. Selon [22], Les analyses génétiques chez les espèces allogames sont beaucoup plus complexes que chez les espèces qui peuvent être autofécondées pour produire des lignées consanguines ou des populations homogènes. Certaines difficultés surgissent lorsque des parents hétérozygotes et hétérogènes sont croisés pour développer une population de cartographie. Chez le cocotier, plante avec certains écotypes allogames, le plan de croisement convenu pour produire la population de cartographie est le back cross 1 : NJM x (NJM x GOA<sup>+</sup>). Le Grand Ouest Africain (GOA<sup>+</sup>) est un écotype grand, originaire du Bassin Océanique Indo-Atlantique alors que le Nain Jaune Malis (NJM) est un écotype nain issu du Bassin Pacifique [23]. La population de cartographie BC1 créée, a été plantée sur la parcelle 122 de la Station Marc Delorme en novembre 2016. Quatre géniteurs issus du croisement NJM X GOA ont été impliqués dans le plan de croisement BC1 : NJM x (NJM x GOA<sup>+</sup>). Il s'agit des hybrides PB121<sup>+</sup> (NJM x GOA<sup>+</sup>) occupant les positions 02 24, 03 20, 48 17 et 48 21 sur la parcelle 115. Ils proviennent de 2 géniteurs P994 et P3145. L'objectif de ce travail est de mesurer le degré de similarité entre les quatre géniteurs impliqués dans le Back Cross pour s'assurer de l'homogénéité des populations utilisées pour l'établissement de la carte génétique, vu que chez cocotier certains écotypes sont allogames et que l'établissement de carte génétique nécessite des populations homogènes. Il s'est agi de mesurer et de comparer les caractéristiques morphologiques des quatre géniteurs impliqués dans Back Cross 1 au germoir et à la pépinière. En plus de connaître le degré de similarité entre les 4 géniteurs, il fallait aussi déterminer leur degré de similitude avec leurs ascendants. Cette étude devrait conduire également à identifier des marqueurs qui peuvent être utilisés comme outils de sélection indirecte en matière d'amélioration génétique.

## 2. Matériel et méthodes

### 2-1. Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué de plants issus de 120 noix semences dont 64 ont été obtenues à partir du Back Cross 1 (BC1) effectué entre quatre géniteurs de l'hybride PB 121<sup>+</sup> (NJM X GOA<sup>+</sup>) et le NJM et les 56 autres noix semences, prélevées sur trois témoins, le NJM, le GOA et le PB121<sup>+</sup>. Les noix semences issues du Back Cross 1 ont été obtenues à partir de pollinisation assistée alors que celles des parents NJM et GOA utilisés comme témoins sont issues de pollinisation libre. Les expérimentations ont été réalisées à la Station de Recherche sur le Cocotier Marc Delorme (SRCMD) du CNRA.

### 2-2. Approche méthodologique

Les noix semences issues du Back Cross BC1 : NJM x (NJM x GOA<sup>+</sup>), ont été récoltées et stockées sur une parcelle de la pépinière pendant 21 jours à l'air libre pour homogénéiser leur maturation avant leur mise en germoir. Les noix semences ont été enfouies au germoir selon un dispositif en randomisation totale avec 4 répétitions. Les noix semences issues de Back Cross BC1 en provenance de chacun des quatre parents ont constitués chacun, un traitement codé G1, G2, G3, G4 et celles des témoins ont constituées chacun un traitement. Sur une parcelle élémentaire 4 noix d'un même parent ont été enfouies. Quatre parcelles élémentaires représentant 4 répétitions de chacun des traitements ont été constituées. Au total 16 noix semences ont été utilisées pour chacun des traitements. Le germoir a été mis en place le 20/01/2015. La longueur du germoir était de 3,60 m. Sa largeur valait 2,40 m. Sept mois et demi après le semis, soit 226 jours, les plants obtenus ont été transférés à la pépinière. En pépinière, les plants ont été disposés selon un dispositif bi-plant en randomisation totale. La pépinière mesurait 3,98 m de long et 3,75 m de large.

### 2-3. Variables Mesurées

Les variables ont été mesurées aussi bien au germoir qu'en pépinière. Une semaine après le semis des noix semences, la durée de la date de sortie de chaque tigelle ainsi que celle de sortie de la première racine hors de la bourre ont été enregistrées. Ces mesures ont été relevées tous les 2 jours après la première semaine. A partir du quatrième mois après le semis au germoir, la longueur de la plus longue feuille et la circonférence au collet ont été mesurées respectivement avec une règle en bois et un mètre ruban et le nombre de feuilles émises ont été dénombrées. En dehors des deux premières variables, toutes les données ont été collectées au germoir et à la pépinière. Les données concernant la longueur de la plus longue feuille, la circonférence au collet et le nombre de feuilles émises ont été collectées sur deux périodes c'est-à-dire 6 mois après le semis (Période 1) et 9 mois après le semis (période 2) pour le stade germoir. En pépinière, un intervalle de 3 mois a été retenu pour la collecte des données. Ainsi les variables ont été mesurées à 3, 6, 9, 12 et 15 mois après la transplantation en sacs correspondant aux périodes P1, P2, P3, P4 et P5 de la pépinière.

### 2-4. Analyse statistique des données

Les tests non paramétriques du Chi-deux d'homogénéité et de conformité au seuil de probabilité de 5 % ont été utilisés pour vérifier l'homogénéité des effectifs des plants issus des 4 parents G1, G2, G3 et G4 impliqués dans le BC1 : NJM x (NJM x GOA<sup>+</sup>). Pour tester la force des relations linéaires entre les 3 variables de croissance mesurées au germoir, les tests paramétriques liés aux corrélations linéaires de Pearson ont été utilisés au seuil de risque de 5 %. Les données relative à la circonférence au collet et à la longueur de la plus longue feuille ont fait l'objet de transformations logarithmiques tandis que celle relative au nombre de feuilles à fait l'objet de transformation racine carrée. Pour évaluer l'effet du géniteur sur les différentes variables morphologiques, une analyse de variance (ANOVA) a été réalisée au seuil de signification 5 %. Lorsque L'ANOVA est significative, la séparation des moyennes est effectuée par le test de Games-Howell [25] au seuil de 5 %. La comparaison des moyennes du descripteur de développement végétatif le plus pertinent identifié sur les périodes de croissance au germoir et celle à la pépinière a été faite à l'aide du test de Student. Les données collectées ont été analysées avec les logiciels SPSS version 22.0 et Xlstat version 2007.

## 3. Résultats

### 3-1. Étude du potentiel de régénération en plants des descendants des parents impliqués dans BC1 : NJM x (NJM x GOA<sup>+</sup>) au germoir

Sur les 64 noix semences enfouies au germoir, 28 noix semences ont été régénérées en plants. Les noix semences des traitements G1, G2, G3 et G4, issus des quatre géniteurs ont donné respectivement 6, 5, 11 et 6 plants. L'analyse statistique de ces effectifs n'a révélée aucune différence significative entre les effectifs observés et les effectifs théoriques attendues selon le test du Chi-deux ( $p\text{-value} = 0,370$ ) (*Tableau 1*). Les effectifs théoriques attendus ont été de 7 plants pour chacun des descendants des quatre géniteurs. Au niveau des témoins, quarante plants ont été régénérés.

**Tableau 1 : Potentiel de régénération en plants à partir des noix semences issues des géniteurs du BC1**

Parents	Effectif des noix semences	Effectif observé des plants régénérés	Effectif théorique des plants régénérés	Résidus	Source	Valeur associée
G1	16	6	7	-1	Khi-deux ddl p-value	3,143
G2	16	5	7	-2		3
G3	16	11	7	4		0,370
G4	16	6	7	-1		
Total -	64	28	28	0		

**3-2. Évaluation des variables morphologiques au germoir et à la pépinière**

**3-2-1. Évaluation des temps d'émission de la tigelle et de la radicule des noix au germoir**

Le temps nécessaire qu'il a fallu pour l'émission de la tigelle a varié de 39,60 jours pour les plants issus du traitement G1 à 112,727 jours pour les plants issus du témoin GOA. Celui de la radicule a oscillé entre 45 jours pour le traitement G1 et 94,556 jours pour le traitement témoin GOA. Les analyses statistiques ont permis d'identifier deux groupes distincts. Le premier groupe est composé des quatre géniteurs impliqués dans le BC1, des témoins NJM et PB121<sup>+</sup>. Le second groupe renferme uniquement le témoin GOA. Les caractéristiques morphologiques mesurées au germoir sur les plants issus des semences des géniteurs du premier groupe ont été statistiquement les plus faibles avec des valeurs comprises entre 39,60 et 76,75 pour le temps nécessaire pour la sortie de la tigelle et de 45 à 64 jours pour le temps qu'il faut pour la sortie de la radicule. Le second groupe formé uniquement par le témoin GOA<sup>+</sup> a eu les valeurs les plus élevées pour les deux variables mesurées, respectivement de 112,17 et 94,55 jours pour le temps nécessaire pour la sortie de la tigelle et de la radicule (**Tableau 2**). Par ailleurs, aucune différence significative n'a été mise en évidence entre les plants des quatre parents impliqués dans le BC1 même si les plants provenant du géniteur G1 semblent plus précoces. Les plants issus du GOA ont été tardifs dans l'émission de de la tigelle et de la radicule.

**Tableau 2 : Classification des moyennes de la durée de sortie de la tigelle et celles de la durée de sortie de la radicule**

Variable dépendante	Parent	Moyenne	CV (%)*
Dusogerm	G1	39,60a	54,76
	G4	45,167a	60,53
	G3	47,333a	30,30
	NJM	52,417a	49,32
	PB121 <sup>+</sup>	62,562a	15,90
	G2	76,75a	52,20
	GOA	112,727b	42,30
Dusorad	G1	45,000a	38,28
	NJM	47,909a	31,36
	G3	52,545a	19,89
	PB121 <sup>+</sup>	53,083a	17,16
	G4	53,750a	37,44
	G2	64,000a	51,40
	GOA	94,556b	53,58

*Légende : G1 : géniteur 1 du BC1 ; G2 : géniteur 2 du BC1 ; G3 : géniteur 3 du BC1 ; G4 : géniteur 4 du BC1  
Dusogerm : durée de sortie du germe (tigelle) ; Dusorad : durée de sortie de la radicule ; NJM : Nain Jaune*

*Malais ; PB121+ : Port-Bouët 121, Hybride NJM x GOA amélioré ; GOA : Grand Ouest Africain, CV (%)<sup>\*</sup> : Coefficient de variation en pourcentage. Les valeurs portant les mêmes lettres dans une même colonne et pour une même période sont statistiquement identique (test de Games-Howell au seuil de 5 %)*

### 3-2-2. Évaluation des variables de développement au germe et à la pépinière

Pour évaluer l'effet de la période de développement sur l'expression des variables de développement au germe, leur pertinence a été appréciée. Les résultats des tests statistiques ont permis de montrer que, la circonférence au collet, le nombre de feuilles émises et la longueur de la plus longue feuille sont très hautement, positivement et significativement corrélés. Cependant le lien entre la circonférence au collet et la longueur de la plus longue feuille a été plus fort que celui entre la circonférence au collet et le nombre de feuilles émises ainsi que celui entre la longueur de la plus longue feuille et le nombre de feuilles émises. Par conséquent, il était possible d'utiliser la circonférence au collet et la longueur de la plus longue feuille pour décrire les performances des descendants des parents du BC1 (**Tableau 3**). Les résultats de l'ANOVA ont permis d'affiner le choix du descripteur le plus pertinent. Il est ressorti de cette analyse que des deux descripteurs les plus corrélés que sont la circonférence au collet et la longueur de la plus longue feuille, seule la circonférence au collet enregistre la valeur critique la plus faible (p-value = 0,000). En conséquence, elle exprime donc le plus fort pouvoir discriminant (**Tableau 4**). Une seule de ces variables, la circonférence au collet a donc été utilisée comme descripteur pour décrire au germe et à la pépinière les plants issus des noix semences des géniteurs impliqués dans le BC1 : NJM x (NJM x GOA+).

**Tableau 3 : Lien entre les variables mesurées évaluées grâce aux corrélations linéaires de Pearson**

Descripteur	Circol*	Nbfeuille*	Longlof*
Circol	+ 1	+ 0,771***	+ 0,883***
(p-value)	(0,000)	(< 0,0001)	(< 0,0001)
Nbfeuille	+ 0,771***	+ 1	+ 0,719***
(p-value)	(< 0,0001)	(0,000)	(< 0,0001)
Longlof	+ 0,883***	+ 0,719***	+ 1
(p-value)	(< 0,0001)	(< 0,0001)	(0,000)

*Légende : Circol\* : Circonférence au collet ; Nbfeuille\* : Nombre de feuilles émises ; Longlof\* : Longueur de la plus longue feuille ; p-value\* : Valeur critique.*

**Tableau 4 : Évaluation du pouvoir discriminant de 2 des 3 descripteurs du développement végétatif mesurés au germe**

Variables	Sources de variation	SCE	Ddl	CM	F	P-value
Circoll	Modèle corrigé	126,641a	6	21,107	4,642	0,000
	Constante	11908,110	1	11908,110	2619,087	0,000
	Donneur	126,641	6	21,107	4,642	0,000*
	Erreur	563,786	124	4,547		
	Total	14456,690				
	Total corrigé	690,427				
Nbfeu	Modèle corrigé	48,099b	6	8,016	2,583	0,022
	Constante	7677,478	1	7677,478	2474,117	0,000
	Donneur	48,099	6	8,016	2,583	0,022
	Erreur	384,787	124	3,103		
	Total	9519,000	131			

	Total corrigé	432,885	130			
Longlof	Modèle corrigé	8474,498	6	1412,416	3,301	0,005
	Constante	556033,370	1	556033,370	1299,397	0,000
	Donneur	8474,498	6	1412,416	3,301	0,005
	Erreur	53061,662	124	427,917		
	Total	725632,800	131			
	Total corrigé	61536,160	130			

Légende : SCE : Somme des carrés des écarts. ddl : Nombre de degré de liberté ; CM : Carré moyen ; F : Statistique du test de Fisher-Snedecor ; p-value : Valeur critique ; Circoll : circonférence au collet ; Nbfeu : Nombre de feuilles émises ; Longlof : longueur de la plus longue feuille.

### 3-2-2-1. Évaluation de la circonférence au collet des plants en fonction de la période de croissance au germoir

Les analyses statistiques ont permis de mettre en évidence 6 mois après le semis correspondant à la période P1 et 9 mois après le semis correspondant à la période P2, des différences significatives de la croissance de la circonférence au collet. La période P1 a enregistré la plus faible croissance (9,423 cm) et la période P2 la plus forte croissance (10,973 cm). Durant la première période de croissance, aucune différence significative n'a été notée entre les circonférences au collet des plants issus des descendants des quatre géniteurs impliqués dans le BC1 et les 3 témoins. Cependant durant la seconde période de croissance, deux groupes distincts ont été identifiés. Le premier groupe est constitué du témoin GOA. Il est caractérisé par une croissance de la circonférence au collet faible (8,146cm). Le second groupe est composé des descendants des quatre géniteurs impliqués dans le BC1, du NJM et du PB121+. Ce groupe se distingue par une croissance de la circonférence au collet élevée (11,4 cm) (**Tableau 5**). Les descendants des géniteurs impliqués dans le BC1 ont eu une croissance similaire à celle des témoins NJM et PB 121+. Au germoir, la croissance de la circonférence au collet pendant les 6 premiers mois n'a pas permis de déceler des différences entre les différents géniteurs ainsi qu'entre eux et les différents témoins. Il a fallu attendre la seconde phase de croissance pour pouvoir identifier les différents groupes. Une période de 9 mois est nécessaire au germoir pour la mise en évidence des différences dans le développement des plants.

**Tableau 5 : Évolution la circonférence au collet des plants durant la première et seconde période de croissance au germoir**

Période	Parents	Moyenne	CV(%)
Période1	GOA	8,54a	22,83
	PB121+	8,759a	10,20
	G4	9,283a	21,10
	G3	9,336a	9,43
	NJM	10,136a	19,72
	G1	10,286a	23,93
	G2	10,325a	10,44
Période2	GOA	8,146b	30,96
	G4	10,817a	25,93
	PB121+	11,033a	15,47
	NJM	11,400a	20,52
	G3	11,882a	14,79
	G2	12,880a	15,62
	G1	13,033a	17,47

Légende : GOA : Grand Ouest Africain ; PB121+ : Port-Bouët 121 amélioré ; NJM : Nain Jaune Malais ; G1 : géniteur 1 du BC1 ; G2 : géniteur 2 du BC1 ; G3 : géniteur 3 du BC1 ; G4 : géniteur 4 du BC1 ; CV(%) : Coefficient de Variance. Les valeurs portant les mêmes lettres dans une même colonne et pour une même période sont statistiquement identiques (test de Games-Howell au seuil de 5 %)

### 3-2-2-2. Évaluation de la circonférence au collet des plants en fonction de la période de croissance à la pépinière

Les résultats des analyses statistiques ont permis de montrer des différences hautement significatives entre les 5 périodes de développement définies pour les variables de croissance. La circonférence au collet a varié d'une période à l'autre. ( $P < 0,001$ ). Quatre groupes distincts ont été identifiés. Le premier groupe représenté par la période (P1), est caractérisé par la plus faible croissance de la circonférence au collet (11,713 cm). Au cours de cette période la circonférence au collet croît mais faiblement par rapport à sa croissance durant les autres périodes. Le deuxième, correspondant à la période (P2), est marqué par une croissance de la circonférence au collet de 13,823 cm. Durant cette période la croissance de la circonférence au collet croît légèrement plus que durant la première période. Le troisième groupe, regroupant les périodes P3 (18,008 cm) et période P4 (18,441 cm) se singularise par une croissance moyenne de la circonférence au collet. Au cours de cette période la circonférence au collet croît pour passer d'une moyenne de 13 à 18 cm. Le quatrième groupe, correspondant à période P5, se distingue par une plus forte croissance de la circonférence au collet (20,288) (**Tableau 6**). La période 5 correspond à la période de forte croissance de la circonférence au collet. Cette forte croissance débute durant les périodes 3 et 4. La croissance de la circonférence au collet débute faiblement durant les premières périodes et augmente de façon significative durant les périodes 3 et 4 pour atteindre la plus forte croissance durant la période 5.

**Tableau 6 :** Classification des moyennes de la circonférence au collet selon les périodes de croissance

Période	Moyennes	CV (%)
Période1 (P1)	11,713a	18,47
Période2 (P2)	13,823b	17,08
Période3 (P3)	18,008c	15,70
Période4 (P4)	18,441c	22,85
Période5 (P5)	20,288d	20,47

*Légende : CV (%) : coefficient de variation*

*NB : les moyennes indexé par la même lettre minuscule sont statistiquement identiques (test Games-Howell au seuil de 5 %)*

### 3-3. Effet des géniteurs sur l'expression de la croissance de la circonférence au collet en pépinière

Les analyses statistiques ont permis de révéler des différences significatives entre les traitements sur certaines périodes de croissance. Au cours de la première et la seconde période de croissance P1 et P2, aucune différence significative n'a été mise en évidence non seulement entre les descendants des 4 géniteurs impliqués dans le BC1, mais également entre eux et les témoins (NJM, PB121<sup>+</sup>, GOA), (**Tableau 7**). Cependant durant les périodes P3, P4 et P5 des différences significatives ont été observées. Durant les périodes de croissance P3 et P4, deux groupes distincts ont été identifiés. Le premier groupe est constitué des plants issus des 4 géniteurs impliqués dans le BC1 et du NJM. Ces plants se caractérisent par une croissance de la circonférence au collet faible. Cette croissance au collet est de 15,86 cm. Cette valeur représente celle du parent témoin NJM et est considéré comme la valeur seuil du nanisme. Le second groupe est composée des plants des témoins GOA et PB121<sup>+</sup>. Ces plants se démarquent par une croissance de la circonférence au collet supérieur à celle du témoin NJM (15, 86), considéré comme référence dans cette partie de l'étude. Pour la période P5, également deux groupes statiquement distincts ont été obtenus. Le premier groupe comprend les plants issus des quatre géniteurs impliqués dans le BC1 et du témoin NJM. Ces plants se singularisent par une croissance de la circonférence au collet similaire à celle du témoin NJM. Le second groupe est constitué du GOA et du PB121<sup>+</sup>. Les plants de ce groupe se distinguent par une croissance de la circonférence au collet supérieur (18 et 20) et à celle du témoin NJM. Trois grandes périodes ont été définies en fonction du



comportement des plants sur chacune de ces périodes. Les périodes P1 et P2 qui correspondent à la première grande période est celle au cours de laquelle il est difficile d'utiliser la circonférence au collet pour mettre en évidence une hétérogénéité entre les différents écotypes et géniteurs utilisés dans cette étude à la pépinière. Cependant lorsqu'on attend les deux dernières grandes périodes, des différences apparaissent. Ces périodes constituent donc les périodes idéales pour mettre en évidence une hétérogénéité dans la croissance des plants. A la pépinière il est important d'attendre les 3 dernières périodes que sont P3, P4 et P5 pour mettre en évidence des différences dans le développement des plants. Ces périodes correspondent à 9, 12 et 15 mois de croissance à la pépinière. Durant les 6 premiers de développement des plants à la pépinière, il est difficile de mettre en évidence des différences dans le développement des plants. Il faut attendre 9 mois pour voir apparaître des différences lorsque qu'elles existent. Ces différences s'accroissent au-delà du 12<sup>ème</sup> mois.

**Tableau 7 :** *Classification des moyennes de la circonférence au collet des descendants des 4 parents donneurs selon les 4 périodes de croissance à la pépinière*

Période	Parents	Moyenne	CV (%)
Période 1	GOA	10,146a	24,94
	G4	11,317a	26,11
	PB121+	11,811a	14,68
	NJM	11,858a	15,77
	G3	12,182a	14,35
	G2	12,940a	15,33
	G1	13,033a	14,41
Période 2	GOA	13,123a	24,74
	NJM	13,192a	17,03
	G4	13,633a	11,59
	G2	13,880a	16,25
	PB121+	14,222a	17,27
	G3	14,427a	10,23
	G1	14,433a	17,13
Période 3 et 4	NJM	15,865a	17,73
	G4	16,792a	19,43
	G3	17,953a	14,75
	G1	18,345a	18,04
	G2	18,438a	15,40
	GOA	18,588b	117,11
	PB121+	20,327b	13,15
Période 5	NJM	17,609a	20,89
	G4	18,633a	21,35
	G2	19,686a	18,10
	G3	19,780a	18,91
	G1	20,717a	21,48
	GOA	21,277b	21,45
	PB121+	22,500b	17,19

*Légende : GOA : Grand Ouest Africain ; PB121<sup>+</sup> : Port-Bouët 121 amélioré ; NJM : Nain Jaune Malais ; G1 : géniteur 1 du BC1 ; G2 : géniteur 2 du BC1 ; G3 : géniteur 3 du BC1 ; G4 : géniteur 4 du BC1*  
*NB : les valeurs portant les mêmes lettres dans une colonne et pour une même période sont statistiquement identiques selon le test Z de Student au seuil de risque de 5 %.*

#### 4. Discussion

Les noix semences produites par les quatre géniteurs G1, G2, G3 et G4 impliqués dans le Back Cross 1 ont exprimé un potentiel de régénération similaire en plants au germe et en pépinière. Une telle similarité est un avantage pour une étude de cartographie, vu que le cocotier est une plante qui en fonction des écotypes, peut être allogame. En effet l'idée d'utiliser un Back Cross 1 pour la réalisation de la carte génétique du cocotier vient du fait que le cocotier est aussi une plante avec des écotypes allogames, chez laquelle il n'est pas aisé de trouver le croisement idéal pour la constitution d'une carte génétique. En effet les analyses génétiques chez les espèces allogames sont beaucoup plus complexes que chez les espèces qui peuvent être autofécondées (autogames) pour produire des populations homogènes. Certaines des difficultés surgissent lorsque des parents hétérozygotes et hétérogènes sont croisés pour développer une population de cartographie. Pour surmonter ces problèmes chez les allogames, les stratégies du double pseudo-testcross, des familles de demi-frères et de plein-frères issus de croisements contrôlés sont utilisées. Chez les espèces autogames, les études de cartographie utilisent des populations développées par le croisement de deux parents homozygotes (lignées pures) clairement différents au niveau des caractères phénotypiques d'intérêt. Dans cette étude les quatre géniteurs proviennent du croisement GOA X NJM, où le GOA est allogame, donc très hétérogène. Le NJM du fait de son régime de reproduction autogamie préférentielle est très homogène [24].

Il était question de montrer que les individus issus de ce croisement utilisées dans le Back Cross 1 soient homogènes. Cette étude a montré que les quatre géniteurs utilisés sont identiques pour ce qui concerne leurs caractéristiques morphologiques au germe et à la pépinière. Ils sont appropriés pour des études de cartographie. Une telle similarité pourrait être due au patrimoine génétique commun partagé par ces 4 géniteurs. En effet toutes les noix semences produites proviennent d'un même croisement (NJM X GOA<sup>+</sup>). En plus leur sélection s'est faite sur la combinaison de la sélection préliminaire à travers les calculs électroniques et une sélection définitive au champ au moyen de 5 critères définis par l'IPGRI [25]. Ils pourraient avoir un même fond génétique et, partant, une constitution génétique identique. La combinaison de tels paramètres de sélection pour homogénéiser une population est une avancée notable. Cela permet de dire que de tels croisements permettent de fixer certains caractères. Généalogiquement, ils descendent de 2 parents, à savoir : le P994 et le P3145. Ces derniers présentaient des facteurs de résistance à *Phytophthora* [26, 27]. Par ailleurs, en dehors des études de cartographie, des études ultérieures, au stade adulte pourraient permettre de vérifier la résistance de ces descendants au *Phytophthora*. Une telle résistance pourrait permettre d'améliorer les rendements des cocoteraies et donc le revenu des nuciculteurs. La maladie à *Phytophthora* a détruit plus de 80 % de la production par la chute des noix immature [28].

Ces descendants ont exprimé un même potentiel de mobilisation et de transfert des métabolites emmagasinés dans les organes de réserve. En effet ce sont les métabolites mobilisés et transférés successivement des divers organes et qui sont utilisés dans la morphogenèse des plantules de cocotier. Les variables utilisées dans cette étude pour comparer les différents géniteurs à savoir la circonférence au collet, la longueur de la plus longue feuille et le nombre de feuille sont les mêmes qui ont été déjà utilisées pour décrire les performances des hybrides PB113<sup>+</sup> et PB121<sup>+</sup> au germe et à la pépinière. Les quatre géniteurs impliqués dans le BC1 pourraient aussi être utilisés dans d'autres croisements BC1 notamment le croisement (NJM X GOA<sup>+</sup>) X GOA. Un tel plan de croisement a été proposé récemment pour remédier à l'anomalie de brunissement de l'amande de certaines noix mures du PB 121 destinées à l'exportation. En effet, les plants BC1 pourraient améliorer la qualité des amandes des noix mures dédiées à l'exportation. Des trois descripteurs, seul la circonférence au collet a été révélée comme descripteur le plus pertinent. En effet, elle a montré une forte liaison avec les deux autres variables de développement. Rognon et Boutin [29] ont montré l'importance de ce descripteur pour la mesure de la croissance au stade juvénile, mais surtout comme prédicteur de la croissance et de la haute production de noix et régimes au stade adulte. Au germe, les deux

périodes de croissance ont enregistré des effets distincts alors qu'à la pépinière, quatre périodes sur cinq initialement définies, ont permis de discriminer les géniteurs au niveau de leur développement végétatif. Cette étude a montré que les intervalles de temps d'au moins 3 mois sont suffisants pour déceler des différences statistiques entre les périodes de croissance au germe et à la pépinière. Les descendants des quatre parents impliqués dans le BC1 ont exprimé des performances comparables aussi bien durant chacune des deux périodes de croissance définies au germe que durant chacune des quatre périodes identifiées à la pépinière montrant ainsi leur similarité et donc la preuve d'une population homogène. Cette étude a permis de montrer que les géniteurs impliqués dans le Back Cross 1 présentent les mêmes caractéristiques que l'écotype NJM. Ils peuvent être considérés comme appartenant au groupe des écotypes nains. Au cours de la troisième période de croissance à la pépinière, il a été observé une régression de la circonférence au collet du NJM comparé aux témoins GOA et PB121<sup>+</sup>. Cette période correspond donc au début de l'expression du nanisme qui apparaît 844 jours après la mise en germe. En effet, les Nains sont caractérisés par une faible circonférence au collet à 20 cm et 150 cm du sol [29]. C'est sur la base de ce critère que les quatre géniteurs impliqués dans le Back Cross 1 ont été considérés comme étant des nains. La moyenne du NJM, notamment 15,86 cm, exprimée durant la troisième période de croissance a servi de référentiel. Ainsi, tous les descendants des quatre géniteurs impliqués dans le BC1, ayant montré une moyenne inférieure ou égale à 15,86 se sont vus accordés le phénotype [nain]. Ces données sont compatibles avec l'hypothèse d'une forte homozygotie du NJM. En effet, son taux d'autogamie a été estimé à 95 % [31].

## 5. Conclusion

L'étude de l'homogénéité de la population proposée pour l'établissement de la carte génétique du cocotier à travers l'évaluation des caractéristiques morphologiques des descendants des quatre géniteurs impliqués dans le croisement BC1 : NJM x (NJM x GOA<sup>+</sup>) de cocotier (*Cocos nucifera* L.) montre une similarité entre eux, et entre eux et le NJM. Les descendants des quatre géniteurs ont exprimé les mêmes potentiels de germination et de développement durant les 9 premiers mois de leur croissance au germe et à la pépinière montrant qu'ils sont génétiquement très proches. Parmi les variables de développement végétatif mesurées au germe et à la pépinière, la circonférence au collet a été la plus pertinente et celle utilisée pour caractériser la population de descendants. La fréquence d'au moins 3 mois entre les variables de croissance végétative au germe et à la pépinière est suffisante pour permettre la détection des différences entre des groupes homogènes. Cette étude qui est un préalable à l'établissement de la carte génétique montre que le croisement effectué BC1 : NJM x (NJM x GOA<sup>+</sup>) est approprié pour l'étude de la carte génétique. La mesure de la circonférence au collet au germe et à la pépinière est suffisante pour évaluer le développement des plants.

## Références

- [1] - R. BOURDEIX, L. BAUDOUIN, N. BILLOTTE, J. P. LABOUISSSE, J. M. NOIRET, Le cocotier. Repères : L'amélioration des plantes tropicales. Ouvrage édité par Charrier A., Jacquot M., Hamon S., Nicolas D (CIRAD, ORSTOM), (1997) 217 - 239
- [2] - P. BATUGAL, Implication of restricted coconut germplasm movement. In Proceedings of meeting, 21 - 23 April, Kajang Rome, Italy, (1998) 56 p.
- [3] - P. LEVANG, Le cocotier est aussi une plante sucrière. *Oléagineux*, 43 (4) (1988) 159 - 154
- [4] - FAO, Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation. Noix de coco, une culture essentielle pour les paysans du sud. Rapport, (2014) 4 - 5

- [5] - J. L. KONAN, R. BOURDEIX, A. SANGARE, F. MONDEIL, Caractérisation de quelques cultivars de cocotier (*Cocos nucifera* L.) tolérant à la sécheresse en Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 18 (2) (2006) 145 - 156
- [6] - R. R. ASSA, J. L. KONAN, J. NEMLIN, A. PRADES, N. G. AGBO et R. S. SIE, Diagnostic de la cocoteraie paysanne du littoral ivoirien. *Science et Nature*, 3 (2) (2006) 113 - 120
- [7] - H. C. HARRIES, Evolution, dissemination and classification of *Cocos nucifera* L. *Botanical Review*, 44 (1978) 265 - 320
- [8] - M. DE NUCE LAMOTHE, F. ROGNON, Les cocotiers Nains à Port Bouet. I. Nain Jaune Ghana, Nain Rouge Malais, Nain Vert Guinée Equatoriale, Nain Rouge Cameroun. *Oléagineux*, 32 (8-9) (1977) 365 - 375
- [9] - M. NUCE DE LAMOTHE, Application du principe des croisements interorigines au cocotier. Premiers résultats obtenus en Côte-d'Ivoire. *Oléagineux*, 25 (1970) 207 - 210
- [10] - R. BOURDEIX, Y. P. N'CHO, J. LESAIN, A. SANGARE, Une stratégie de sélection du cocotier *Cocos nucifera* L. I. Synthèse des acquis. *Oléagineux*, 45 (8-9) (1990) 359 - 372
- [11] - R. BOURDEIX, J. MEUNIER, Y. P. N'CHO, Une stratégie de sélection du cocotier *Cocos nucifera* L. II. Amélioration des hybrides grand X grand. *Oléagineux*, 46 (7) (1991) 267 - 186
- [12] - J. MEUNIER, A. SANGARE, J. P. LE SAINT, F. BONNOT, Analyse génétique des caractères du rendement chez quelques hybrides de cocotier *Cocos nucifera* L. *Oléagineux*, 39 (1984) 581 - 586
- [13] - R. BOURDEIX, L. BAUDOUIN, J. L. KONAN, In Coconut Hybrids for Smallholders, Batugal P, Dante B, Olivier J (eds). *CFC technical paper*, (42) (2005) 111 - 131
- [14] - J. P. LE SAIN, L. DE NUCE, Les hybrides de cocotiers nains : Performances et intérêt. *Oléagineux*, 42 (10) (1987) 353 - 362
- [15] - P. BATUGAL, In coconut hybrids for smallholders. Ouvrage édité par Pons Batugal, Dante Benigno and Jeffrey Oliver. *Common Fund For Commodities, Amsterdam (Netherlands)*, (2005) 151 - 156
- [16] - J. MAC KEY, Genetic and evolutionary principles of heterosis. *Heterosis in plant breeding in Proceedings of 7th Congress of Eucarpia. Elsevier*, (1974) 364 p.
- [17] - R. BOURDEIX, A. SANGARE, J. P. LE SAINT, Y. P. N'CHO, (1988). - Efficacité des tests hybrides d'aptitude individuelle à la combinaison chez le cocotier : premiers résultats, *Oléagineux*, 44 (1989) 209 - 214
- [18] - B. F. GUNN, L. BAUDOUIN, T. BEULE, P. ILBERT, C. DUPERRAY, M. CRISP, A. ISSALI, J. L. KONAN, A. RIVAL, Ploidy and domestication are associated with genome size variation in Palms. *American Journal of botany*, 102 (10) (2015) 1 - 9
- [19] - Y. XIAO, P. XU, H. FAN, L. BAUDOUIN, W. XIA, S. BOCS, J. XU, Q. LI, A. GUO, L. ZHOU, J. LI, Y. WU, Z. MA, A. ARMERO, A. E. ISSALI, N. LIU, M. PENG and Y. YANG, The genome draft of coconut (*Cocos nucifera*). *Giga Science*, 6 (2017) 1 - 11
- [20] - D. S. FALCONER, T. F. C. MACKAY, Introduction to quantitative genetics. Ouvrage 4th Ed. Longman Sci. and Tech., Harlow, UK, (1996)
- [21] - M. LYNCH, B. WALSH, Genetics and analysis of quantitative genetics. Sinauer Associates, Inc. Publishers. Sunderland, Massachusetts, USA, (1998)
- [22] - A. DARVASI, Experimental strategies for the genetic dissection of complex traits in animal models. *Nature Genetics*, 18 (1998) 19 - 24
- [23] - B. F. GUNN, L. BAUDOUIN, K. M. OLSEN, Independent origins of cultivated coconut (*Cocos nucifera* L.) in the old world tropics. *PLoS ONE*, 6 (6) (2011) 1 - 8
- [24] - L. PARERA, J. R. RUSSELL, J. PROVAN, W. POWELL, Levels and distribution of genetic diversity of coconut from Sri Lanka assessed by microsatellite markers. *Euphytica*, 132 (2001) 381 - 389
- [25] - IPGRI, Institut international des ressources phytogénétiques. Rome (Italie), (1995) 137 p.
- [26] - G. QUILLEC, J. L. RENARD, La pourriture à *Phytophthora* du cocotier. *Oléagineux*, 39 (3) (1986) 143 - 147

- [27] - B. N'GORAN, K. ALLOU, N. A. YAO, J. L. K. KONAN, J. M'PIKA, T. T. LEKADOU, A. E. ISSALI, S. AKE, Action de l'acide phosphoreux in vitro sur *Phytophthora katsurae* (Pythiaceae), parasite du cocotier en Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 4 (6) (2010) 1976 - 1987
- [28] - K. ALLOU K, R. BOURDEIX, S. AKE, J. L. KONAN, N. ZAKRA, *Phytophthora katsurae* (Pythiaceae) du cocotier en Côte d'Ivoire : tolérances variétales de 53 hybrides et données épidémiologiques de base. *Agronomie Africaine*, 4 (2) (2002) 99 - 115
- [29] - F. ROGNON et D. BOUTIN, La circonférence au collet chez le cocotier hybride PB121 : une mesure pratique de la croissance. *Oléagineux*, 43 (4) (1988) 165 - 168
- [30] - R. BOURDEIX, Etude du déterminisme génétique de la couleur du germe chez le cocotier Nain. *Oléagineux*, 43 (10) (1988) 371 - 374