



Fiabilité d'une liste minimale de descripteurs agromorphologiques recommandée par le COGENT dans l'étude de la diversité génétique du cocotier (*Cocos nucifera* L.)

Saraka Didier Martial YAO*^{1,2}, Konan Jean-Louis KONAN², Raoul Sylvère SIE³, Nafan DIARRASSOUBA¹, Tacra T. LEKADOU², Eric-Blanchard Z. KOFFI³, Koffi YOBOUE^{2,3}, Roland BOURDEIX⁴, Auguste E. ISSALI², Franceline DOH^{2,3}, Kouassi ALLOU², Arsène Irié ZORO BI³

¹UFR Sciences Biologiques, Université Peleforo Gon Coulibaly, BP 1328 Korbogo, Côte d'Ivoire

²Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), Station Marc Delorme de Port-Bonêt, Programme cocotier, 07 BP 13 Abidjan 07, Côte d'Ivoire

³UFR Sciences de la Nature, Université Nangui Abrogoua, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

⁴Centre de Coopération International en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), Avenue Agropolis 34398, Montpellier Cedex 5, France.

*Auteur correspondant : E-mail : didierys@yahoo.fr ; Tel : (+225) 04737926

Mots-clés : Cocotier Grand, liste minimale de descripteurs du cocotier, COGENT, diversité agromorphologique, Côte d'Ivoire

Key words: Tall coconut populations, minimum list of descriptors for coconut, COGENT, morphological diversity, Côte d'Ivoire

1. RESUME

L'objectif de cette étude est de tester, dans les conditions agroclimatiques de la Côte d'Ivoire, la fiabilité de la liste minimale de 20 descripteurs (17 quantitatifs et 3 qualitatifs) proposée par le Coconut Genetic Resources Network (COGENT) en 2007 pour l'étude de la diversité agromorphologique des populations de cocotier. Il s'agit des descripteurs hauteur du stipe (HAUT), circonférence du bulbe ou du stipe à 20 cm du sol (C20), circonférence du stipe à 150 cm du sol (C150), la longueur entre 11 cicatrices foliaires sur le stipe (L11CF), nombre de fleurs femelles (NBFF), le nombre d'épillets (NEP), la masse de la noix (MN), masse de la noix débourrée (MND), la masse de la bourre (MB), la masse de l'eau (ME), la masse de la coque (MC), masse de l'albumen (MALB), épaisseur de l'albumen (EA), masse de coprah par noix (CN), teneur en huile de l'albumen séché (HS), nombre de régime par arbre par an (NRAA), nombre de noix par arbre par an (NFAA), couleur du fruit immature (CFim), forme de la section polaire du fruit (FPF) et forme de la noix débourrée (FND). Ainsi, la variabilité phénotypique des caractères qualitatifs et quantitatifs a été évaluée chez 11 populations de cocotiers Grand. De même, la diversité agromorphologique générée par une longue liste de 50 descripteurs quantitatifs a été confrontée avec celle des 17 recommandés par le COGENT. Excepté les caractères liés à la feuille, une très grande variabilité a été observée dans l'expression des caractères liés au fruit, à l'inflorescence et au stipe. De même, l'alternative de l'utilisation des caractères qualitatifs décrivant les formes de la noix débourrée et de la section polaire du fruit pour la caractérisation des populations



de cocotier Grand semble justifiée puisque ces deux caractères présentent un polymorphisme élevé. La description et la structuration de la diversité des populations de cocotiers Grand étudiées à partir de la liste réduite de 17 descripteurs quantitatifs et de celle de 50 descripteurs ont été similaires. Ainsi, l'adoption de la liste minimale de 17 descripteurs quantitatifs établis par le réseau COGENT comme liste standard de descripteurs agromorphologiques permettra un gain de temps considérable dans l'évaluation des collections au champ, facilitera les échanges, les comparaisons et l'utilisation des informations biologiques sur les ressources génétiques de cocotier à travers le monde.

ABSTRACT

The objective of this study is to test in agro-climatic conditions of Côte d'Ivoire the reliability of the minimum list of descriptors for coconut (17 quantitative and 3 qualitative morphological descriptors) proposed by the Coconut Genetic Resources Network (COGENT) in 2007 for morphological diversity assessment in coconut palm populations. These morphological descriptors are stem height (SH), stem girth at 20 cm above soil level (C20), stem girth at 1.5 cm height (C150), height between 11 leaf scars (H11LS), number of female flowers (NFF), number of spikelets (NS), fruit weight (FW), husk weight (HW), husked nut weight (NW), shell weight (SW), water weight (WW), endosperm weight (EW), endosperm thickness (ET), number of bunches per palm per year (NBPY), number of fruits harvested per palm per year (NFPY), coprah weight per nut (CWN), dry meat oil content (DMOC), immature fruit colour (FCim), fruit polar section shape (FPSS) and husked nut shape (HNS). Thus, the variability of these qualitative and quantitative morphological descriptors was analyzed in 11 Tall coconut populations. In the same way, the morphological diversity generated by a long list of 50 quantitative descriptors was confronted with the one of the 17 advisable by the COGENT. The results were indicated that excepted leaf traits, high variability in fruit, inflorescence and stem traits was observed. Similarities were observed between clustering of the Tall coconut populations, obtained each from the long list of 50 quantitative descriptors and the other minimal list of 17 descriptors. In the same way, according to their high polymorphism, both qualitative traits describing fruit polar section and husked nut shapes could alternatively be used for characterize Tall coconut populations. Thus, adoption of the minimum list of 17 quantitative morphological descriptors established by the COGENT as standardized core set of morphological descriptors will allow a considerable gain of time in the assessment of field gene bank, more easily data exchanges, comparisons and using of coconut genetic resources data through the world.

2. INTRODUCTION

Le cocotier (*Cocos nucifera* L.) est une oléagineuse diploïde à $2n = 2x = 32$ chromosomes. Il appartient à la famille des *Arecaceae* et constitue la seule espèce du genre *Cocos* (Batugal *et al.*, 2005). Son origine se situe dans les bassins océaniques du Pacifique et de l'Indo-Atlantique (Gunn *et al.*, 2011). Le cocotier est cultivé dans les zones tropicales

humides où presque toutes ses parties sont valorisées par l'homme en éléments essentiels à sa vie tels que la nourriture, la boisson et l'habitat (Van der Vossen et Chipungahelo, 2007 ; Young *et al.*, 2009). Pour soutenir la filière nucicole, les programmes d'amélioration variétale de divers pays réunis au sein du réseau international Coconut Genetic Resources



Network (COGENT) exploitent la très grande variabilité inter et intra écotypes présente chez le cocotier. Cependant, l'évaluation préalable de la diversité génétique de ces écotypes détermine leur utilisation judicieuse et leur implication dans les croisements. Dans l'exploration de la diversité génétique disponible dans les collections au champ de cocotier, les marqueurs morphologiques constituent un outil incontournable et puissant d'évaluation (Batugal *et al.*, 2005 ; Gotor *et al.*, 2008). De plus, pour suivre l'identité des populations de cocotier pendant la régénération d'une collection, il est primordial de disposer d'une liste réduite de descripteurs morphologiques hautement discriminants. Les descripteurs morphologiques révèlent une large diversité chez le cocotier. Ils ont permis de décrire les deux formes naturelles de cocotier que sont les types Nain et Grand (Leech *et al.*, 2003 ; Arunachalam *et al.*, 2005). Toutefois, en raison du grand nombre de caractères phénotypiques proposés dans le descripteur du cocotier (IPGRI, 1995), chaque station de recherche en extrait un effectif réduit, compatible avec les moyens humains et financiers ainsi que les objectifs des recherches entreprises. Sur l'ensemble des descripteurs disponibles chez le cocotier, une liste minimale de 20 descripteurs agromorphologiques dont 17 quantitatifs et 3 qualitatifs a été éditée en 2007 sur la base de l'avis des chercheurs spécialisés membres du réseau COGENT sous la supervision du Centre de Coopération Internationale pour la Recherche Agricole et le Développement (CIRAD). Il s'agit de la hauteur du stipe, de la circonférence du bulbe, de la circonférence du stipe à 150 cm du sol, de la longueur entre 11 cicatrices foliaires sur le stipe, du nombre de fleurs femelles, du nombre d'épillets, de la masse de la noix, de la masse de la noix débourrée, de la masse de la bourre, de la masse

de l'eau, de la masse de la coque, de la masse de l'albumen, de l'épaisseur de l'albumen, de la masse de coprah par noix, de la teneur en huile de l'albumen séché, du nombre de régime par arbre par an, du nombre de noix par arbre par an, de la couleur du fruit immature, de la forme de la section polaire du fruit et de la forme de la noix débourrée. Toutes les observations et les mesures de ces caractères agromorphologiques peuvent être réalisées selon le IPGRI-COGENT Manual on Standardized Research Techniques in Coconut Breeding disponible sur le site http://www.biodiversityinternational.org/publications/Web_version/108/. Cette liste a été proposée aux différentes stations de recherche, membres du réseau COGENT (www.biodiversityinternational.org). Cependant, du fait à la fois de l'influence exercée par les conditions environnementales sur l'expression du phénotype et de la localisation des stations sur des sites différents, il convient de tester leur pertinence sur la station Marc Delorme avant leur adoption en Côte d'Ivoire.

Dans les études antérieures seuls N'cho *et al.* (1993) ont mis en évidence la pertinence de 23 descripteurs morphologiques sur 17 populations de cocotier Grand en Côte d'Ivoire. Dans cette étude les descripteurs agromorphologiques relatifs aux composantes du fruit n'ont pas été pris en compte. Aujourd'hui, une liste minimale consensuelle de descripteurs morphologiques pertinente et susceptible de décrire les populations de cocotier, sans perte d'informations biologiques, n'est pas disponible. L'objectif de la présente étude est de tester la fiabilité de la liste minimale de descripteurs agromorphologiques proposée par le COGENT en 2007 pour la description et la structuration de la diversité génétique des populations de cocotier dans les conditions écologiques de la Côte d'Ivoire.

3. MATERIEL ET METHODES



3.1. Matériel végétal: Onze populations de cocotier Grand issues d'une première génération de régénération par la méthode de fécondation contrôlée (Konan *et al.*, 2008) ont été utilisées

(Tableau 1). Ces populations de cocotier Grand sont originaires de trois zones géographiques que sont l'Afrique (1 population), le Pacifique Sud (4 populations) et l'Extrême Orient (6 populations).

Tableau 1 : Quelques caractéristiques des 11 populations de cocotier Grand régénérées étudiées

Population	Code	Pays d'origine (Groupe géographique)	Nombre d'individus analysés
Grand Ouest Africain	GOA G1	Côte d'Ivoire (Afrique)	30
Grand Cambodge Ream	GCB7 G1	Cambodge (Extrême Orient)	30
Grand Cambodge Sre Cham	GCB8 G1	Cambodge (Extrême Orient)	30
Grand Cambodge Battambang	GCB9 G1	Cambodge (Extrême Orient)	30
Grand Cambodge Koh Rang	GCB10	Cambodge (Extrême Orient)	30
Grand de Thaïlande Sawi	GTH1 G1	Thaïlande (Extrême Orient)	30
Grand de Thaïlande Ko Samui	GTH4 G1	Thaïlande (Extrême Orient)	30
Grand Polynésie Tahiti	GPY1 G1	Polynésie (Pacifique Sud)	30
Grand Polynésie Rangiroa	GPY2 G1	Polynésie (Pacifique Sud)	30
Grand Rennel	GRL G1	Iles Salomons (Pacifique)	30
Grand Salomons	GSN G1	Iles Salomons (Pacifique)	30
Total :	11	5 (3)	330

G1 : 1^{er} cycle de populations régénérées par la méthode de fécondation contrôlée.

3.2. Dispositif expérimental et caractéristiques pédoclimatiques du site d'étude : Les populations de cocotier ont été plantées en 1988 à la densité de 143 individus.ha⁻¹ sur la parcelle n°091 de la Collection internationale de cocotier pour l'Afrique et l'Océan Indien localisée à la station de recherche Marc Delorme en Côte d'Ivoire. La station est située entre 5°14,5' de latitude Nord et 3°54,5' de longitude Ouest (CCT, 2006). Le dispositif en bloc de Fisher avec 6 répétitions de 24 arbres par parcelle élémentaire a été utilisé. Les observations ont été effectuées sur un effectif de 5 plantes saines sélectionnées de façon aléatoire sur chaque parcelle élémentaire. Soit un total de 30 individus par population. Le sol de la station Marc Delorme est essentiellement constitué de sable tertiaire composé de 5,2 g.kg⁻¹ de carbone (C), de 0,5 g.kg⁻¹ d'azote (N), de 4,2 Cmol⁽⁺⁾kg⁻¹ de

sol de capacité d'échange cationique (CEC), de 0,25 Cmol⁽⁺⁾kg⁻¹ de sol de somme de bases échangeables et 0,04 g.kg⁻¹ de phosphore (P) assimilable avec un pH_{eau} égal à 5,7 (N'goran, 2005). Le climat est de type soudano-guinéen. Pendant la collecte des données agromorphologiques sur les deux années 2009 et 2010, la pluviosité et la température moyenne mensuelle ont été respectivement de 174,98 mm et 26,37°C.

3.3. Descripteurs agromorphologiques évalués : Cinquante trois descripteurs agromorphologiques dont 50 quantitatifs et 3 qualitatifs ont été évalués (Tableau 2). De même, 2 listes de descripteurs ont été étudiées. Il s'agit d'une longue liste de 50 descripteurs quantitatifs et d'une liste réduite de 20 descripteurs (17 quantitatifs et 3 qualitatifs) publiée par le COGENT en 2007. Les caractères quantitatifs ont été mesurés suivant les



méthodes proposées par De Nuce et Rognon (1982) et Wuidart et Rognon (1978) regroupées dans le IPGRI-COGENT Manual on Standardized Research Techniques in Coconut Breeding disponibles sur le site http://www.bioversityinternational.org/publications/Web_version/108/. Les 3 descripteurs qualitatifs sont exclusivement issus de la liste minimale de descripteurs et ont été observés sur les fruits

immatures de rang 20 et matures de rang 24, âgées respectivement de 8 et 12 mois, en s'appuyant sur les modalités déjà établies (www.bioversityinternational.org; IPGRI, 1995). Les colorations de la noix immature portée par le régime de rang 20 ont été regroupées dans les quatre couleurs que sont jaune, rouge, verte et brune (Tableau 2).

Tableau 2 : Liste des 53 descripteurs agromorphologiques y compris la liste minimale de descripteurs évalués chez le cocotier

N°	Organe Code descripteur	Signification	Unité de mesure (SI)
	Descripteurs quantitatifs		
	Stipe		
1	HAUT (cm)†	Hauteur du stipe	Centimètre (cm)
2	C20 (cm) †	Circonférence du bulbe	Centimètre (cm)
3	C150 (cm) †	Circonférence du stipe	Centimètre (cm)
4	NCF	Nombre de cicatrices foliaires sur le stipe	
5	L11CF (cm) †	Longueur entre 11 cicatrices foliaires sur le stipe	Centimètre (cm)
	Feuille		
6	LP (cm)	Longueur du pétiole	Centimètre (cm)
7	LGP (cm)	Largeur du pétiole	Centimètre (cm)
8	EP (mm)	Épaisseur du pétiole	Millimètre (mm)
9	NBF	Nombre de folioles	
10	LR (cm)	Longueur du rachis	Centimètre (cm)
11	LF (cm)	Longueur de la foliole	Centimètre (cm)
12	LGF (cm)	Largeur de la foliole	Centimètre (cm)
13	SFT (m²)	Surface foliaire théorique	Mètre carré (m²)
	Inflorescence		
14	ILP (cm)	Longueur du pédoncule florale	Centimètre (cm)
15	ICP (cm)	Circonférence du pédoncule florale	Centimètre (cm)
16	ILA (cm)	Longueur de l'axe de l'inflorescence	Centimètre (cm)
17	NBFF†	Nombre de fleurs femelles	
18	NEPAFF	Nombre d'épillets avec fleurs femelles	
19	NEPSFF	Nombre d'épillets sans fleurs femelles	
20	ILE (cm)	Longueur de l'épillet	Centimètre (cm)
21	ILPRF (cm)	Longueur entre la base de l'épillet au premier fruit	Centimètre (cm)
22	NEP†	Nombre d'épillets	
23	RFFEP	Rapport NBFF/NEP	
	Fruit		
24	DPN (cm)	Diamètre polaire de la noix	Centimètre (cm)
25	DEN (cm)	Diamètre équatoriale de la noix	Centimètre (cm)
26	RDPDEN	Rapport DPN/DEN	
27	CPN (cm)	Circonférence polaire de la noix	Centimètre (cm)
28	CEN (cm)	Circonférence équatoriale de la noix	Centimètre (cm)
29	DPPEN (cm)	Distance pôle proximal-équateur de la noix	Centimètre (cm)
30	DPND (cm)	Diamètre polaire de la noix débourrée	Centimètre (cm)
31	DEND (cm)	Diamètre équatoriale de la noix débourrée	Centimètre (cm)
32	RDPDEND	Rapport DPND/DEND	
33	CPND (cm)	Circonférence polaire de la noix débourrée	Centimètre (cm)



34	CEND (cm)	Circonférence équatoriale de la noix débourrée	Centimètre (cm)
35	DPPEND (cm)	Distance pôle proximal-équateur de la noix	Centimètre (cm)
36	MN (g) †	Masse de la noix	Gramme (g)
37	MND (g) †	Masse de la noix débourrée	Gramme (g)
38	MB (g) †	Masse de la bourre	Gramme (g)
39	ME (g) †	Masse de l'eau	Gramme (g)
40	MC (g) †	Masse de la coque	Gramme (g)
41	MALB (g) †	Masse de l'albumen	Gramme (g)
42	EC (mm)	Épaisseur de la coque	Millimètre (mm)
43	EA (mm) †	Épaisseur de l'albumen	Millimètre (mm)
44	MS (%)	Pourcentage de matière sèche de l'albumen	Pourcentage (%)
45	Q (%)	Pourcentage de copra dans la noix sans eau	Pourcentage (%)
46	CN (g) †	Masse de coprah par noix	Gramme (g)
47	HF (%)	Teneur en huile de l'albumen frais	Pourcentage (%)
48	HS (%) †	Teneur en huile de l'albumen séché	Pourcentage (%)
49	NRAA †	Nombre de régime par arbre par an	
50	NFAA †	Nombre de noix par arbre par an	
Descripteurs qualitatifs			
51	CFim †	Couleur du fruit immature (jaune, rouge, vert et brune)	
52	FPF †	Forme section polaire du fruit (ronde, ovoïde, poire et elliptique)	
53	FND †	Forme noix débourrée (pointée, ovoïde, ronde et aplatie aux pôles)	

† Liste des 20 descripteurs de la liste minimale du cocotier publiée par le COGENT en 2007 (www.biodiversityinternational.org)

3.4 . Analyses statistiques : Les analyses univariées ont été réalisées pour étudier la variabilité des descripteurs et leur pouvoir discriminant. Pour les descripteurs qualitatifs, la variabilité a été appréciée à partir des indices de diversité de Shannon-Weaver normalisé (H') et de Simpson (D) qui varient de 0 à 1 (Baudouin et Santos, 2005) :

$$H' = - \sum_{i=1}^n \left(\frac{N_i}{N} \right) \times \ln \left(\frac{N_i}{N} \right) / \ln (n)$$

$$D = \sum_{i=1}^n N_i (N_i - 1) / (N(N - 1))$$

Avec N_i l'effectif observé de $P_i^{\text{ème}}$ modalité pour un descripteur donné, N l'effectif total des individus et n le nombre de modalité pour un caractère. Contrairement à D , lorsque H' tend vers 1 la diversité d'un descripteur est élevé dans l'ensemble des populations de cocotier Grand étudiées (Arunachalam *et al.*, 2005). L'équiprobabilité des fréquences ($p_i = N_i/N$) d'apparition des modalités d'un descripteur donné a été testée à l'aide du test χ^2 au seuil 5 %. Pour les caractères quantitatifs, le degré de variabilité d'un descripteur a été considéré comme faible si la valeur du coefficient de variation $CV = s \times 100 / \bar{X}$ est inférieure à 10 %, moyen si elle est comprise entre 10 et 20 % et élevé si elle est

supérieure à 20 % (Konan *et al.*, 2006; Hegde et Mishra, 2010). Avec s l'écart-type et \bar{X} la moyenne arithmétique d'un descripteur donné. L'analyse de variance (ANOVA1) avec la population comme facteur a été utilisée pour révéler la puissance de discrimination des descripteurs quantitatifs. De même, les données collectées ont fait l'objet de trois types d'analyses multivariées. Il s'agit de l'analyse multiple de variance (MANOVA), de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) et de la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH). L'analyse multiple de variance (MANOVA) a permis d'évaluer la concordance des pouvoirs discriminant des listes complète et réduite de descripteurs quantitatifs dans la différenciation des populations de cocotiers Grand. L'ACP et la CAH ont permis de confronter la description et la structuration agromorphologique des populations de cocotier Grand étudiées fournies par les deux listes de descripteurs quantitatifs. La Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) a été réalisée selon la méthode Unweighted Pair Groups Method of Analysis (UPGMA). Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide des logiciels STATISTICA version 7.1 (StatSoft France, 2005) et SPSS version 16 (SPSS, 2007).



4. RESULTATS

4.1 Variabilité des descripteurs qualitatifs :

Les 4 phénotypes de la forme de la section polaire du fruit : ronde, ovoïde, en poire et elliptique, apparaissent à des fréquences égales ($\chi^2 = 4,49$; $p = 0,213$) (Tableau 3). Le test χ^2 a été significatif ($\chi^2 = 50,43$; $p < 0,001$) pour les 4 phénotypes décrivant la forme de la noix débourrée. Ainsi, les 3 phénotypes ovoïde, ronde et aplatie de la noix débourrée avec respectivement 28,2 %, 33,9 % et 29,4% des individus ont été considérés comme majoritaires. Une proportion élevée d'individus (71,8 %) a présenté des fruits de couleur verte. D'autres phénotypes comme le rouge (14,4 %) et le

brun (12,4 %) existent également chez les cocotiers de type Grand. Moins de 5 % des arbres de cocotier Grand ont présenté des régimes portant des noix de couleur jaune. Les formes de la noix débourrée et de la section polaire du fruit mature ont présenté les indices de diversité de Shannon normalisé les plus élevés (H' a varié de 0,93 à 0,98). La probabilité que deux arbres de cocotier Grand tirés au hasard dans la collection présentent le même phénotype a été plus élevée ($D = 0,55$) pour le caractère couleur du fruit immature que les caractères formes de la noix débourrée et de la section polaire du fruit mature (D a varié de 0,25 à 0,29).

Tableau 3 : Variabilité des 3 caractères qualitatifs de la liste minimale de descripteurs agromorphologiques du cocotier proposée par le COGENT

Descripteurs qualitatifs	Modalités	Fréquence (%)	H'	D
Forme section polaire fruit	Ronde	22,7	0,98	0,25
	Ovoïde	27,6		
	Poire	21,5		
	Elliptique	28,2		
	χ^2	4,49		
	p	0,213		
Forme noix débourrée	Pointée	8,5	0,93	0,29
	Ovoïde	28,2		
	Ronde	33,9		
	Aplaties aux pôles	29,4		
	χ^2	50,43		
	p	< 0,001		
Couleur Fruit immature	Jaune	1,4	0,60	0,55
	Rouge	14,4		
	Verte	71,8		
	Brune	12,4		
	χ^2	252,01		
	p	< 0,001		

H' : indice de diversité de Shannon-Weaver normalisé ; D : indice de Simpson ;

χ^2 : Valeur du test Chi-2 ; p : Valeur de la probabilité associée au test χ^2

4.2. Variabilité des descripteurs

quantitatifs : Des écarts importants ont été observés entre les minima et les maxima pour les caractères quantitatifs mesurés sur 3 (stipe, inflorescence et fruit) des 4 organes de cocotier étudiés (Tableau 4). Exceptée la feuille, la variabilité exprimée par le coefficient de variabilité sur les

organes précités a été élevé ($CV > 20\%$) dans certains cas. A l'exception du nombre de folioles (NBF) et de la distance pôle proximal-équateur de la noix (DPPEN) les caractéristiques ont été hautement significatives. Les 17 descripteurs quantitatifs recommandés par le COGENT ont été tous discriminants (Tableau 4).

Tableau 4 : Valeur minimale, maximale, moyenne et coefficient de variation des 50 descripteurs quantitatifs étudiés

Descripteur	Valeur minimale	Valeur maximale	Valeur moyenne	Coefficient de variation (CV %)	F	p
-------------	-----------------	-----------------	----------------	---------------------------------	---	---



Stipe						
HAUT (cm)†	594	1338	1033,33	14,83	41,05	< 0,001
C20 (cm) †	93	275	155,01	17,72	13,44	< 0,001
C150 (cm) †	72,5	116,5	88,71	8,19	10,09	< 0,001
NCF	8	29	13,77	23,97	17,07	< 0,001
L11CF (cm) †	34	118	75,59	21,76	18,26	< 0,001
Feuille						
LP (cm)	99	196,5	125,65	10,65	2,08	0,020
LGP (cm)	6	12	7,89	10,27	20,32	< 0,001
EP (mm)	2,3	4,6	3,12	10,44	5,86	< 0,001
NBF	92	186	119,77	8,3	1,63	0,097
LR (cm)	140	524	416,19	9,52	7,16	< 0,001
LF (cm)	98,25	171,7	129,65	8,82	3,47	< 0,001
LGF (cm)	4	7,2	5,43	10,83	2,17	0,014
SFT (m2)	7,72	36,92	16,44	19,42	14,28	< 0,001
Inflorescence						
ILP (cm)	30	87	56,54	16,7	13,47	< 0,001
ICP (cm)	6,2	12,8	9,47	13,13	5,68	< 0,001
ILA (cm)	24	59	40,01	13,73	3,6	< 0,001
NBFF†	2	200	19,88	86,66	11,79	< 0,001
NEPAFF	2	197	17,89	78,1	10,38	< 0,001
NEPSFF	0	60	23,52	48,27	9,14	< 0,001
ILE (cm)	7,5	69	44,08	18,69	11,5	< 0,001
ILPRF (cm)	4	45	7,84	35,75	4,5	< 0,001
NEP†	8	257	41,14	34,29	4,16	< 0,001
RFEP	0,04	2,82	0,48	69,8	11,34	< 0,001
Fruit						
DPN (cm)	15,6	30,5	21,03	12,11	9,62	< 0,001
DEN (cm)	10	29,8	16,45	14,43	21,88	< 0,001
RDPDEN	0,86	1,97	1,29	15,96	32,11	< 0,001
CPN (cm)	5,5	62,2	10,89	43,2	6,75	< 0,001
CEN (cm)	8,5	76,3	58,87	11,93	26,77	< 0,001
DPPEN (cm)	34	75,7	53,44	13,38	1,08	0,378
DPND (cm)	8,5	17	12,21	11,07	14,5	0,001
DEND (cm)	7,3	15	11,54	13,03	37,49	< 0,001
CPND (cm)	0,81	1,54	1,07	14	17,13	< 0,001
CEND (cm)	3,6	40,5	6,82	30,5	37,23	< 0,001
DPPEND (cm)	7,2	48,4	38,889	10,61	3,06	< 0,001
RDPDEND	25,1	51,1	38,626	12,4	24,96	< 0,001
MN (g) †	450	3350	1269,5	27,19	22,18	< 0,001
MND (g) †	250	1550	821,32	29,65	28,73	< 0,001
MB (g) †	150	1950	448,17	37,88	6,75	< 0,001
ME (g) †	25	800	255,84	57,23	17,33	< 0,001
MC (g) †	37,5	400	178,94	30,07	17,59	< 0,001
MALB (g) †	142	750	387,24	30,13	12,57	< 0,001
EC (mm)	2,12	5,2	3,54	16,26	2,15	0,012
EA (mm) †	3,27	14,65	10,81	11,57	14,54	< 0,001
MS (%)	38	79	57,16	10,47	8,56	< 0,001
Q (%)	7,92	42,43	23,41	24,23	7,98	< 0,001
CN (g) †	76,29	470,74	234,15	30,1	11,53	< 0,001
HF (%)	20,4	54,6	39,14	14,14	12,95	< 0,001
HS (%) †	40,56	94,46	68,48	9,13	13,23	< 0,001
NRAA †	1,8	12,8	7,58	27,66	7,26	< 0,001
NFAA†	4,1	70	36,8	42,96	6,43	< 0,001

† Liste des 17 descripteurs agromorphologiques quantitatifs de la liste minimale publiée par le COGENT en 2007 (www.biodiversityinternational.org). F : valeur de la statistique du test ANOVA ; p : valeur de la probabilité du test ANOVA

4.3. Ressemblances agromorphologiques des populations de cocotier Grand à partir des deux listes de descripteurs : Les analyses multiples de variance (MANOVA) réalisées avec la

longue liste et la liste réduite de descripteurs agromorphologiques ont permis de déceler des niveaux identiques de différenciation entre les



populations ($p < 0,001$) de cocotiers Grand étudiées et les groupes géographiques (Tableau 5).

Tableau 5 : Valeurs de probabilité associées à l'analyse MANOVA révélées par chacune des deux listes de descripteurs quantitatifs suivant les facteurs population et groupe géographique

Liste de descripteurs	Facteurs	F	p
50 descripteurs quantitatifs	Populations	7,37	< 0,001
	Groupes géographiques	273,63	< 0,001
17 descripteurs quantitatifs	Populations	8,11	< 0,001
	Groupes géographiques	213,64	< 0,001

F : valeur de la statistique du test MANOVA ; p : valeur de la probabilité du test MANOVA

L'analyse comparée de la structuration de la diversité agromorphologique, des populations de cocotiers Grand, générée à partir des deux listes de descripteurs a été effectuée à travers des Analyses en Composantes Principales et par la construction de dendrogrammes. Les Analyses en Composantes Principales (ACP) réalisées à partir de la liste complète et minimale de descripteurs quantitatifs ont montré que les axes 1 et 2 ont cumulé

respectivement 61,93 % et 69,11 % de la variabilité totale des cocotiers Grand (Tableau 6). L'analyse simultanée de l'ACP réalisée avec les deux listes de descripteurs quantitatifs a permis d'identifier un premier facteur de production et un second végétatif impliqués respectivement dans l'explication de 34,43 à 39,4 % et de 24,5 à 29,71% de la variabilité agromorphologique totale des populations de cocotier Grand (Tableau 6).

Tableau 6 : Valeurs propres et pourcentages de variation exprimés par les principaux axes à partir des descripteurs agromorphologiques de type quantitatif évalués chez 11 populations régénérées de cocotier Grand

	50 descripteurs quantitatifs		17 descripteurs quantitatifs de la liste minimale	
	Axe 1	Axe 2	Axe 1	Axe 2
Valeur propre	17,216	13,750	6,698	5,051
Variance totale (%)	34,438	27,501	39,403	29,715
Cumule de variance totale (%)	34,438	61,939	39,403	69,118
Stipe				
HAUT†	0,181	0,921	-0,517	0,837
C20†	0,113	0,854	-0,513	0,701
C150†	0,346	0,807	-0,297	0,763
NCF	0,072	-0,904	-	-
L11CF†	-0,036	0,940	-0,678	0,688
Feuille				
LP	0,198	0,119	-	-
LGP	0,340	-0,423	-	-
EP	-0,219	-0,244	-	-
NBF	0,219	0,481	-	-
LR	0,285	0,549	-	-
LF	-0,200	-0,227	-	-
LGF	-0,048	0,453	-	-
SFT	-0,047	0,349	-	-
Inflorescence				
ILP	0,648	-0,332	-	-
ICP	0,211	-0,897	-	-

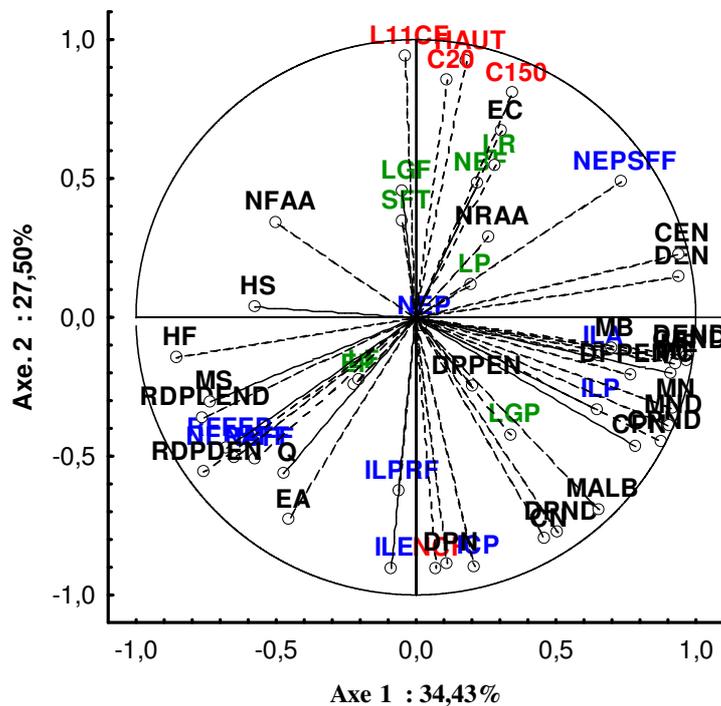


	ILA	0,655	-0,142	-	-
	NBFF†	-0,573	-0,510	-0,086	-0,744
	NEPAFF	-0,649	-0,506	-	-
	NEPSFF	0,734	0,487	-	-
	ILE	-0,089	-0,903	-	-
	ILPRF	-0,062	-0,625	-	-
	NEP†	0,018	-0,032	0,073	-0,163
	RFEP	-0,679	-0,472	-	-
Fruit					
	DPN	0,113	-0,886	-	-
	DEN	0,938	0,145	-	-
	RDPDEN	-0,760	-0,557	-	-
	CPN	0,787	-0,462	-	-
	CEN	0,938	0,228	-	-
	DPPEN	0,205	-0,250	-	-
	DPND	0,508	-0,775	-	-
	DEND	0,967	-0,140	-	-
	CPND	0,876	-0,449	-	-
	CEND	0,966	-0,158	-	-
	DPPEND	0,768	-0,206	-	-
	RDPDEND	-0,765	-0,361	-	-
	MN†	0,916	-0,331	0,903	0,393
	MND†	0,908	-0,388	0,920	0,348
	MC†	0,914	-0,201	0,822	0,477
	MS	-0,733	-0,303	-	-
	EC	0,308	0,671	-	-
	EA†	-0,453	-0,729	0,168	-0,886
	MB†	0,699	-0,112	0,635	0,397
	ME†	0,929	-0,170	0,778	0,520
	MALB†	0,655	-0,692	0,941	-0,041
	CN†	0,463	-0,799	0,872	-0,223
	Q	-0,474	-0,563	-	-
	HF	-0,857	-0,146	-	-
	HS†	-0,576	0,036	-0,404	-0,405
	NRAA†	0,258	0,291	-0,045	0,537
	NFAA†	-0,499	0,343	-0,649	0,072

† Liste des 17 descripteurs quantitatifs de la liste minimale publiée par le COGENT en 2007 (www.biodiversityinternational.org); **Corrélation significative en gras**

Sur la base de la qualité de représentation sur les 2 premiers axes factoriels, de l'ensemble des 50 descripteurs quantitatifs y compris les 17 descripteurs quantitatifs de la liste minimale, les descripteurs du fruit, de l'inflorescence et du stipe se sont révélés être les meilleurs descripteurs de discrimination des populations de cocotier (Figure 1). De fortes

corrélations existent entre les descripteurs mesurés sur chacun de ces organes. Aussi, les caractères décrivant la feuille ont été liés positivement avec ceux du stipe. De même, des liaisons positives étroites ont été observées entre les descripteurs quantitatifs des dimensions du fruit et ceux décrivant les composantes du fruit (Figure 1).



- Descripteurs quantitatifs décrivant le fruit du cocotier
- Descripteurs quantitatifs décrivant le stipe du cocotier
- Descripteurs quantitatifs décrivant l'inflorescence du cocotier
- Descripteurs quantitatifs décrivant la feuille du cocotier

Figure 1. Cercle de corrélation entre les 50 descripteurs agromorphologiques de type quantitatif et les deux principaux axes de l'ACP.

Les structurations des populations de cocotier Grand fournies par l'ACP et la CAH réalisées à partir de chacune des deux listes de descripteurs étudiés ont été identiques (Figures 2, 3 et 4). A un niveau de la troncature fixée à 560, le dendrogramme a permis d'identifier 2 groupes de populations de cocotier Grand au lieu de 4, fournis par l'Analyse en Composantes Principales (Figure

4). Le groupe 1 a été composé de la population de cocotier d'origine africaine GOA G1 avec deux populations du Pacifique Sud que sont le GSN G1 et le GPY1 G1. Le groupe 2 inclut une population de cocotier du Pacifique sud, le GPY2 G1 et 7 populations de l'Extrême-Orient que sont GTH1 G1, GTH4 G1, GCB7 G1, GCB8 G1, GCB9 G1, GCB10 G1 et GRL G1.

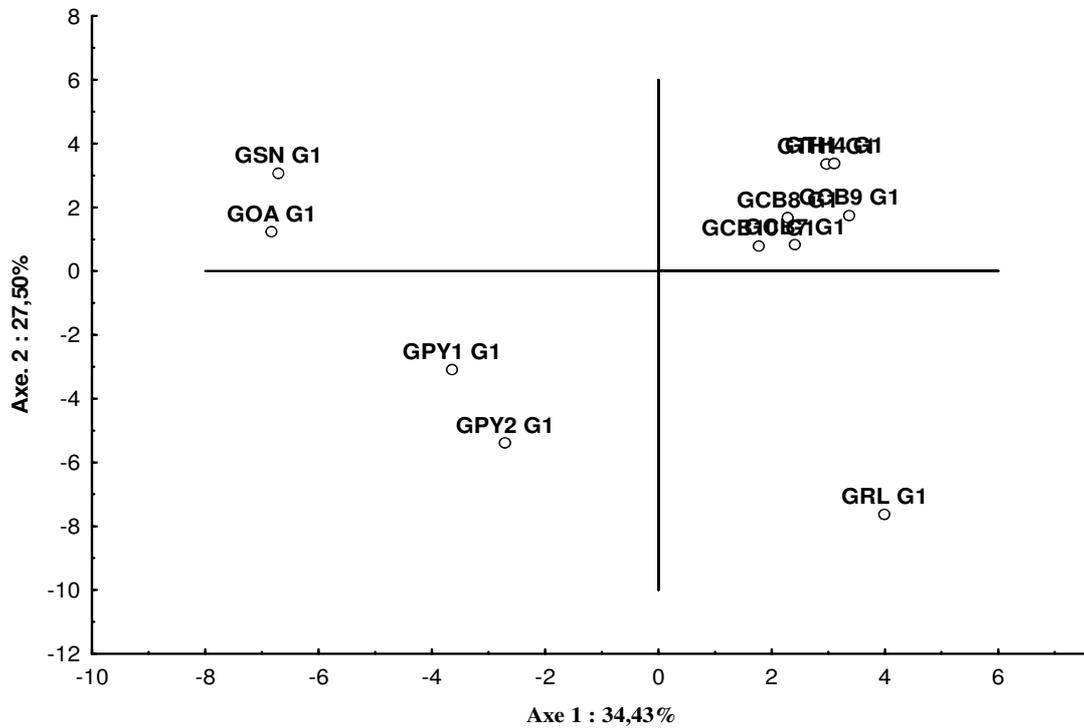


Figure 2. Répartition de 11 populations régénérées de cocotiers Grand dans le plan 1-2 de l'ACP réalisée à partir de 50 descripteurs agromorphologiques de type quantitatif

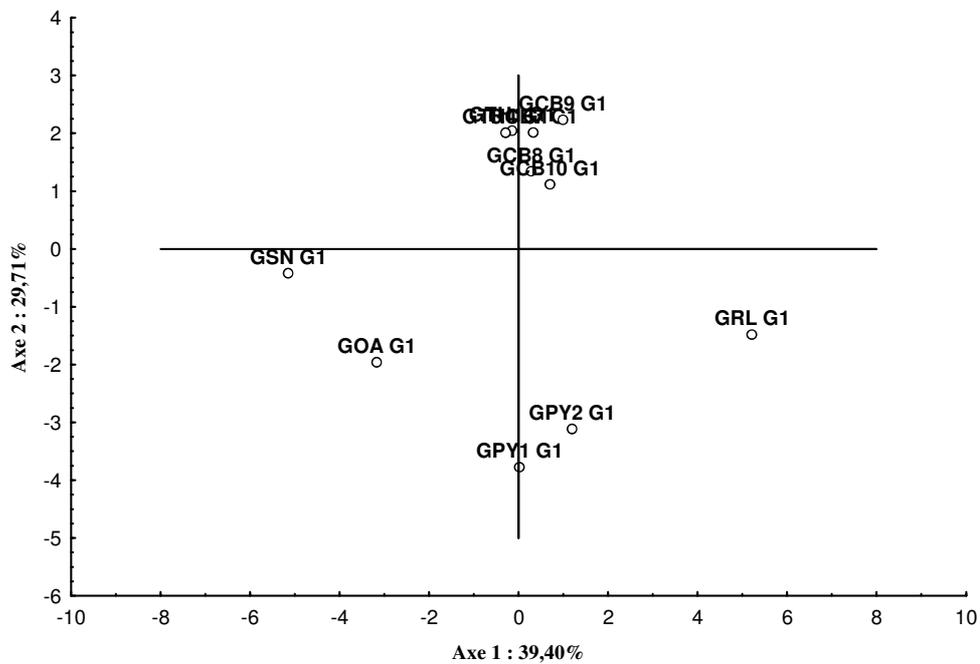


Figure 3 : Répartition de 11 populations régénérées de cocotiers Grand dans le plan 1-2 de l'ACP réalisée à partir de 17 descripteurs agromorphologiques de type quantitatif issus de la liste minimale

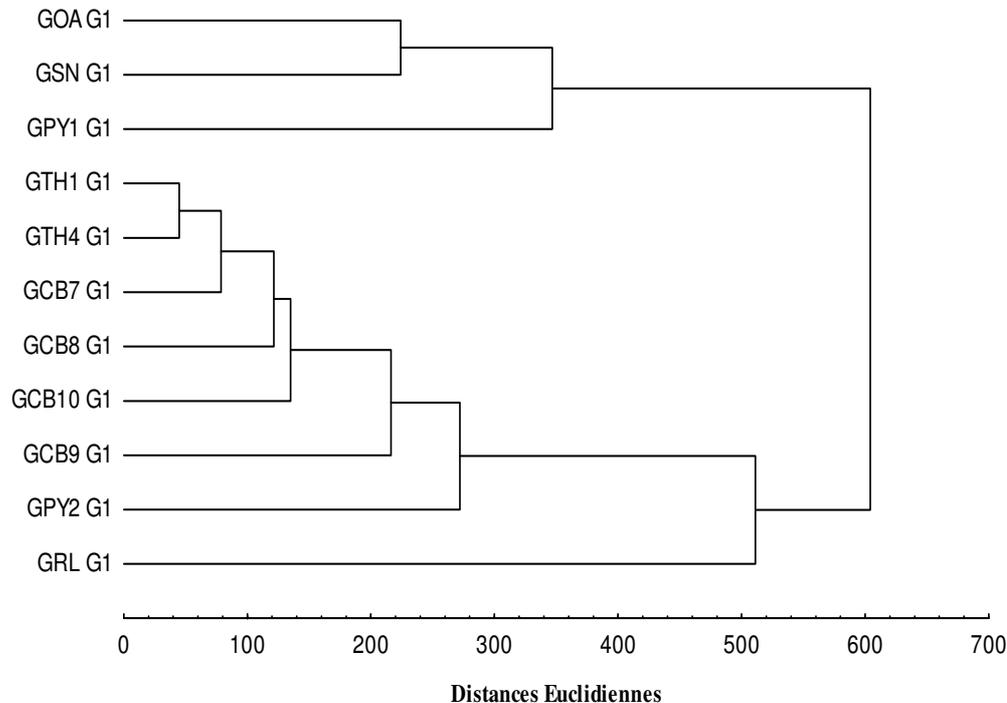


Figure 4 : Dendrogramme UPGMA réalisé à partir de 50 ou 17 descripteurs quantitatifs révélant les similitudes agromorphologiques de 11 populations régénérées de cocotiers Grand

5 . DISCUSSION

L'alternative de l'utilisation des phénotypes multicaractères tels que les formes de la noix débourrée et de la section polaire du fruit mûre, dans les études de diversité agromorphologique des populations de cocotier Grand, semble justifiée puisque ces deux caractères présentent un polymorphisme élevé comme l'ont rapporté Abraham *et al.* (2008). De même, Diarrassouba *et al.* (2009) ont révélé également que la forme des fruits du karité est très discriminante dans les études agromorphologiques. La coloration du fruit immature a par contre montré une dominance du phénotype vert. Ainsi, l'examen de l'indice de diversité de Simpson a montré que la probabilité que deux individus tirés au hasard dans la collection de cocotier Grand présentent la même coloration de la noix immature est élevée (55 %). Ces résultats suggèrent que la coloration de la noix immature est moins discriminante que les formes de la noix

débourrée et de la section polaire du fruit. L'évaluation de la diversité agromorphologique à l'aide des descripteurs quantitatifs a montré que hormis les caractères liés à la feuille, la plupart de ceux décrivant le stipe, l'inflorescence et le fruit ont présenté une variabilité importante chez les cocotiers de type Grand. Le mode de reproduction allogame des cocotiers Grand explique la variabilité observée au niveau des organes indiqués. Les résultats corroborent ceux de Sankaran *et al.* (2012) qui ont également révélé la variabilité des caractères quantitatifs dans l'étude de la diversité des populations de cocotier hébergées par *World Coconut Germplasm Centre* (WCGC) en Inde. Sur des plantes pérennes comme le palmier à huile (Bakoumé *et al.*, 2001), l'olivier (Idrissi et Ouazzani, 2003) et le karité (Diarrassouba *et al.*, 2007) les descripteurs quantitatifs ont été également utilisés pour révéler la variabilité phénotypique.



L'étude comparée de la diversité agromorphologique chez les cocotiers Grand à l'aide de la liste minimale de 17 descripteurs quantitatifs établis par le réseau COGENT et de celle de 50 descripteurs a donné des résultats similaires. Les résultats démontrent la fiabilité de la liste réduite de descripteurs quantitatifs établis par le COGENT dans les études de diversité agromorphologique chez les cocotiers Grand. Aussi, les résultats confirment la faible contribution des descripteurs de la feuille à la variabilité exprimée puisque ceux-ci ne sont pas réélus dans la liste minimale. Les résultats confirment ceux de Sugimura *et al.* (1997) qui classent l'importance des descripteurs foliaires comme secondaire chez le cocotier. Ils ont fait une classification de la pertinence des descripteurs quantitatifs chez le cocotier en attribuant aux caractères du fruit et du stipe un pouvoir discriminant plus élevé. Compte tenu de leur puissance de discrimination, les caractères du fruit ont été spécifiquement utilisés comme critères d'identification variétale chez le cocotier (Harries, 1981) et pour la caractérisation des populations de cocotier au Pacifique Sud (Ashburner *et al.*, 1997). Cependant, la faible contribution des caractères de la feuille dans la description de la diversité chez le cocotier est en désaccord avec Arunachalam *et al.* (2005). Ils ont révélé une importante diversité phénotypique foliaire des populations de cocotier provenant du Pacifique et de l'Océan indien. La différence apparue entre les deux types d'étude résiderait dans le fait que les populations de cocotiers étudiées par ces auteurs regroupent à la fois des types Nain et Grand. Les caractères de la feuille sont importants à considérer dans les études de diversité qui incluent à la fois une comparaison entre cocotiers Nain et Grand. Le pourcentage de variabilité expliquée par

les deux principaux axes de l'Analyse en Composantes Principales a été plus élevé pour les descripteurs de la liste minimale. Ce résultat, en conformité avec celui révélé par l'analyse multiple de variance, témoigne du pouvoir discriminant de la liste réduite de descripteurs agromorphologiques. Il s'expliquerait par la présence de corrélations entre les descripteurs évalués chez le cocotier. En effet, les résultats relatifs au cercle de corrélation entre les variables ont révélé des liaisons positives entre les descripteurs sur le stipe, les feuilles, les inflorescences et les fruits. Les corrélations mises en évidence sur les différents organes du cocotier ont déjà été pour la plupart, rapportés dans les travaux antérieurs (Konan *et al.*, 2010 ; N'cho *et al.*, 1993). La prise en compte des corrélations peut permettre de réduire le nombre de descripteurs. En effet, l'information biologique apportée par deux descripteurs positivement corrélés est similaire (N'cho *et al.*, 1993). Des déductions semblables ont permis à Diarrassouba *et al.* (2007) de réduire le nombre de descripteurs quantitatifs discriminants chez le karité. Cela démontre que la variabilité phénotypique observée au niveau des cocotiers Grand ne se retrouve pas seulement dans la taille de la noix et des composantes du fruit mais aussi dans les dimensions du stipe et de l'inflorescence. Les corrélations observées entre les descripteurs mesurés sur chacun des organes ont été à l'origine de la fiabilité dans la restitution de l'information biologique fournie par la présente liste minimale. Ainsi, la présence de ces corrélations a permis d'identifier deux principaux facteurs, le premier de production et le second végétatif, pouvant être considérés dans les études ultérieures pour la description des populations de cocotier Grand de diverses origines géographiques.

6 CONCLUSION

L'objectif de l'étude était de tester la fiabilité d'une liste minimale de descripteurs agromorphologiques recommandée par le COGENT pour l'étude de la diversité génétique chez le cocotier. Le pouvoir discriminant de ces descripteurs a été évalué à l'aide d'analyses univariées et multivariées. Les résultats ont montré que les caractères formes de la noix déburrée et de la section polaire du fruit peuvent caractériser efficacement les populations de cocotier

Grand. De même, il a été révélé un degré de polymorphisme important des descripteurs quantitatifs chez le cocotier excepté ceux liés à la feuille. Ainsi, les descripteurs liés au fruit, à l'inflorescence et au stipe sont celles qui permettent de différencier les populations de cocotier Grand. Sur les mêmes organes stipe, inflorescence et fruit des corrélations positives significatives entre les descripteurs quantitatifs existent. Par conséquent,



l'utilisation de la liste réduite de 17 descripteurs quantitatifs composée de la hauteur du stipe (HAUT), la circonférence du bulbe (C20), la circonférence du stipe à 150 cm du sol (C150), la longueur entre 11 cicatrices foliaires sur le stipe (L11CF), le nombre de fleurs femelles (NBFF), le nombre d'épillettes (NEP), la masse de la noix (MN), la masse de la noix débourrée (MND), la masse de la bourre (MB), la masse de l'eau (ME), la masse de

la coque (MC), la masse de l'albumen (MALB), l'épaisseur de l'albumen (EA), la masse de coprah par noix (CN), la teneur en huile de l'albumen séché (HS), le nombre de régime par arbre par an (NRAA) et le nombre de noix par arbre par an (NFAA) s'avère fiable pour une structuration et une caractérisation agromorphologique complète des populations de cocotier.

7 REMERCIEMENTS

Les Auteurs remercient la Division Amélioration Génétique de la Station de recherche sur le cocotier Marc Delorme du Centre National de Recherche Agronomique (CNRA, Côte d'Ivoire) pour son apport technique et financier. La contribution de

tous les chercheurs membres du réseau COGENT pour l'élaboration d'une liste minimale de descripteurs agromorphologiques chez le cocotier est également appréciée.

8 REFERENCES

- Abraham Z, Senthikumar R, John K, Sharma S, Nair V, Unnikrishnan P, Kumaran P, George K, Uma S, Latha M, Malik S, Mishra K, Bhandari C. et Pareek S : 2008. Collection of plant genetic resources from Andaman and Nicobar Islands. *Genetic Resources and Crop Evolution* 55: 1279-1289.
- Arunachalam V, Jerad B, Damodaran V, Ratnambal M. et Kumaran P : 2005. Phenotypic diversity of foliar traits in coconut germplasm. *Genetic Resources and Crop Evolution* 52: 1031-1037.
- Ashburner G, Thompson W, Halloran G. et Foale M : 1997. Fruit component analysis of south Pacific coconut palm populations. *Genetic Resources and Crop Evolution* 44: 327-335.
- Bakoumé C, Adon B, Cochard B, Potier F, Durand-Gasselin T. et Amblard P : 2001. Assessment of yocoboue wild oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) from Côte d'Ivoire. *Euphytica* 121: 59-64.
- Baudouin L. et Santos G : 2005. Morphometric methods of determining diversity in coconut. In: Batugal P, Ramanatha V & Olivier J (Eds). Coconut Genetic Resources. Serdang, Malaysia : IPGRI-APO ; pp 209-223.
- Batugal P. et Jayashree K : 2005. COGENT's multi-site International Coconut Genebank. Batugal P, Ramanatha V. et Olivier J (Éditeurs) In. Coconut Genetic Resources. Serdang, Malaysia : IPGRI-APO ; pp 106-114.
- CCT : 2006. Centre de Cartographie et de Télédétection du Bureau National d'Étude Techniques et du Développement. Abidjan, Côte d'Ivoire.
- De Nuce L. et Rognon F : 1982. L'observation des caractéristiques de développement végétatif, de floraison et de production chez le cocotier. *Oléagineux* 37 (6): 291-297.
- Diarrassouba N, N'Guessan A, Koffi E. et Sangaré A : 2007. Évaluation des performances de quelques descripteurs quantitatifs et leur utilisation dans la structuration de la population d'un parc naturel de karité en Côte d'Ivoire. *Plant Genetic Resources Newsletter*, 152: 65 -72.
- Diarrassouba N, Fofana I, Issali A, Bup N. et Sangaré A : 2009. Typology of shea trees (*Vitellaria paradoxa*) using qualitative morphological trait in Côte d'Ivoire. *Plant Genetic Resources Newsletter*, 205: 10 -15.
- Gotor E, Alercia A, Ramanatha Rao V, Watts J. et Caracciolo F : 2008. The scientific information activity of Bioversity International: the descriptor lists. *Genetic Resources Crop Evolution*, 55:757-772.
- Gunn BF, Baudouin. L. et Olsen KM : 2011. Independent origins of cultivated coconut (*Cocos nucifera* L.) in the old world tropics.



- PLoS ONE 6, e21143. doi :10.1371/journal.pone.0021143.
- Harries C : 1981. Identification pratique des variétés de cocotier. *Oléagineux* 36 (2) : 62-79.
- Hegde V. et Mishra K : 2010. Landraces of cowpea, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. as potential sources of genes for unique characters in breeding. *Genetic Resources Crop Evolution* 56:615–627.
- Idrissi et Ouazzani 2003. Apport des descripteurs morphologiques à l'inventaire et à l'identification des variétés d'olivier (*Olea europaea* L.). *Plant Genetic Resources Newsletter* 136: 1-10.
- IPGRI : 1995. Descriptors for coconut (*Cocos nucifera* L.). International Plant Genetic Resources Institute, Rome (Italy), 61 pp.
- Konan JL, Bourdeix R, Sangaré A. et Mondeil F : 2006. Caractérisation de quelques cultivars de cocotier (*Cocos nucifera* L.) tolérant à la sécheresse en Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine* 18 (2) : 145-156.
- N'cho Y, Sangaré A, Bourdeix R, Bonnot F. et Baudouin L : 1993. Évaluation de quelques écotypes de cocotier par une approche biométrique. 1. Étude des populations de grands. *Oléagineux* 48 (3) : 121-132.
- N'goran A : 2005. Amélioration de la fertilité chimique des sables quaternaires en Côte-d'Ivoire dans l'association cocotier/*Acacia spp.* PhD thesis. Gent, Belgique, 193 pp.
- Sankaran M, Damodaran V, Singh DR, Sankar I. et Jerard BA : 2012. Characterization and diversity assessment in coconut collections of Pacific Ocean Islands and Nicobar Islands. *African Journal of Biotechnology* 11 (97): 16320-16329.
- SPSS : 2007. SPSS 16.0 for Windows. SPSS, Inc., 233 south wacker drive, 11th floor Chicago, USA.
- StatSoft France : 2005. STATISTICA, logiciel d'analyse de données version 7.1. www.statsoft.fr.
- Sugimura Y, Itano M, Salud C, Otsuji K. et Yamaguchi H : 1997. Biometric analysis on diversity of coconut palm: cultivar classification by botanical and agronomical traits. *Euphytica* 98 : 29 -35.
- Van der Vossen H. et Chipungahelo G : 2007. *Cocos nucifera* L. Van der Vossen H. et Mkamilo G (Editors). PROTA 14 : Vegetable oils/Oléagineux. Wageningen, Pays Bas : [CD-Rom]. PROTA.
- Wuidart W. et Rognon F : 1978. L'analyse des composantes de la noix du cocotier. Méthodes de détermination du coprah. *Oléagineux* 33 (5) : 225-233.