

Analyse de la variabilité phénotypique Variabilité des paramètres de croissance

L'analyse de variance a montré un effet significatif des communes et des villages pour la plupart des variables étudiées.

Un effet village très significatif a été observé pour tous les paramètres dendrométriques à l'exception du houppier alors qu'un effet des communes a été seulement noté pour la variable port de l'arbre (Tableau II).

- Trois groupes ont été obtenus suivant la hauteur (Tableau III). Le premier groupe représenté par les APEs du village de Keur Aliou Gueye est caractérisé par des arbres plus développés de 24 % par rapport à ceux du second groupe constitué des APEs des villages de Keur Babou Diouf, Keur Samba Are, Keur Mama Lamine, Missira Niombato et de Touba Barya. Par contre, les villages de Keur Samba Gueye et Touba Mouride constituent un groupe intermédiaire.

- La même tendance a été plus ou moins observée pour la variable diamètre avec la prévalence d'APes à gros diamètre dans les villages de Keur Aliou Gueye ($36,0 \pm 9,4$ cm), Touba Mouride ($36,0 \pm 4,0$ cm) et Keur Samba Gueye ($34,2 \pm 6,53$ cm) (Tableau III). Par ailleurs la variable diamètre a présenté un coefficient de variation élevé de 32 % témoignant une variabilité entre les géotypes sélectionnés.

3.1.1.2 Variabilité des feuilles des APEs

Une différence significative des communes et villages a été observée pour la variable longueur de la feuille alors que la surface foliaire et la biomasse sèche se trouvent seulement dépendante des communes (Tableau II). En effet, les APEs de Keur Samba Gueye possèdent des feuilles plus longues de 22 % par rapport à celles des APEs de Touba Mouride (Tableau III).

3.1.1.3 Variabilité florale des APEs

L'analyse de la morphologie florale a montré que les communes et les villages différaient significativement pour les variables nombre de fleurs mâles, saison de floraison, et nombre de pics de floraison, mais pas pour le nombre de fleurs hermaphrodites (Tableaux II et III). En effet, les panicules des APEs de Keur Samba Are sont caractérisées par un nombre de fleurs mâles supérieur de 78 % par rapport à ceux des individus du village de Keur Aliou Gueye (Tableau III).

La variable saison de floraison quant à elle, a permis de discriminer trois groupes : le premier groupe qui renferme les villages de Touba Mouride et Keur Babou Diouf est constitué d'individus à floraison tardive alors que les APEs à floraison précoce sont concentrés dans les villages de Keur Mama Lamine, Keur Samba Gueye, Missira Niombato et Touba Barya. Un groupe intermédiaire dans lequel les deux types (floraison précoce et tardive) prévalent mais à des proportions différentes est composé des APEs de Keur Aliou Gueye et Keur Samba Gueye. Concernant le nombre de pics de floraison, la même tendance a été notée avec deux groupes: le premier groupe qui se compose d'arbres des villages de Touba Mouride et de Keur Samba Are avec deux pics de floraison tandis que le second groupe représentant le reste des villages est caractérisé par des individus ayant trois pics de floraison.

Tableau II : Test de significativité des variables phénotypiques étudiées entre communes et villages.

Variables	<u>Communes</u>		<u>Communes: Villages</u>		Moyenne (e.t)
	F	P>F	F	P>F	
<u>Paramètres dendrométriques</u>					
Hauteur (m)	0,27	0,77	6,5	0,0002	6,75 (0,87)
Diamètre (cm)	0,1	0,9	5,71	0,0005	26,3 (8,5)
Houppier (m)	0,75	0,48	2,24	0,07	12,59 (2,03)
Port de l'arbre	14,8	1,87 E-05	8,22	2,69E-05	5,53 (1,67)
<u>Morphologie foliaire</u>					
Longueur (cm)	647,45	2,20E-16	103,77	2,20E-16	10,82 (0,65)
Largeur (cm)	1,03	0,37	1,2	0,33	7,36 (0,87)
Surface foliaire (cm ²)	10,24	0,0003	1,33	0,27	69,26 (12,15)
Biomasse sèche (g)	3,62	0,04	2,31	0,06	0,61 (0,16)
Forme	3,7	0,08	0,39	0,86	1,53 (0,94)
<u>Morphologie florale</u>					
Nombre de fleurs mâles	3,78	0,03	3,07	0,02	47,8 (20,91)
Nombre de fleurs hermaphrodites	2,02	0,15	0,83	0,54	10,9 (6,54)
Ratio	2,63	0,09	1,25	0,31	8,51 (9,33)
Saison de floraison	4,53	0,02	7,86	4,03E-05	1,37 (0,5)
Nombre de pics de floraison	103,92	6,57E-16	27,91	1,32E-11	2,75 (0,43)
<u>Production et caractérisation des noix</u>					
Longueur (mm)	1,99	9,66E-05	4,16	0,004	36,49 (3,98)
Largeur (mm)	12,76	6,09E-05	5,22	0,001	22,41 (2,53)
Epaisseur (mm)	9,45	0,0003	2,09	0,08	18,21 (1,87)
Poids (g)	22,97	3,27E-07	5,4	0,0008	8,81 (2,32)
Production 2016 (kg)	9,78	0,0004	7,84	4,09E-05	8,61 (7,81)
Nombre de noix au kilo	28,88	2,71E-08	4,88	0,002	121,22 (34,73)
Production 2017 (kg)	1,87	0,17	5,6	0,0006	8,66 (14,99)
Production moyenne (kg)	3,79	0,03	7,96	3,57e -05	8,64 (10,40)

Les nombres en parenthèses représentent l'écart type.

3.1.1.4 Variabilité de la performance des APEs en termes de production et de caractéristiques de noix

La production en noix en 2016 et 2017 s'est révélée aussi fortement dépendante des villages alors qu'un effet significatif des communes a été seulement noté en première année de suivi (2016) (Tableau II). La meilleure performance a été enregistrée chez les APEs de Keur Aliou Gueye et Touba Barya avec une production moyenne avoisinant 28,86 et 14,33 kg, respectivement.

L'analyse de variance portée sur les noix a révélé que les variables relatives à la dimension de la noix (longueur, largeur) et au grainage sont fortement dépendantes des communes et villages, exception faite pour la variable épaisseur. En effet, la meilleure performance a été observée chez les APEs de Keur Babou Diouf qui possèdent des noix avec une longueur supérieur de 26 %, une largeur plus grande de 22 %, un poids plus important de 60 % avec un nombre de noix au kilo plus faible (86 noix au kg0 par rapport aux noix des APEs de Touba Barya (Tableau III).

Tableau III : Variation des traits quantitatifs des anacardiens de la collection

Traits	Villages								Coefficient de variation : CV (%)
	Keur Babou Diouf	Keur Mama Lamine	Keur Samba Are	Keur Aliou Gueye	Keur Samba Gueye	Missira niombato	Touba barya	Touba mouride	
Hauteur (m)	6,54 ^b	6,30 ^b	6,52 ^b	8,04 ^a	7,47 ^{ab}	6,19 ^b	6,40 ^b	7,56 ^{ab}	12,89
Diamètre (cm)	23,50 ^b	19,45 ^b	26,49 ^b	36,00 ^a	34,17 ^{ab}	23,25 ^b	20,47 ^b	36,00 ^a	32,32
Longueur feuille (cm)	10,55 ^{cd}	11,20 ^b	10,87 ^c	11,00 ^b	12,25 ^a	10,12 ^{cd}	12,08 ^a	9,87 ^d	6,01
Nombre de fleurs mâles	52,25 ^{ab}	42,25 ^{ab}	71,25 ^a	34,10 ^b	23,42 ^b	44,67 ^{ab}	41,42 ^{ab}	39,58 ^{ab}	43,74
Longueur noix (mm)	40,39 ^a	35,64 ^{ab}	34,61 ^{ab}	35,46 ^b	35,71 ^b	36,15 ^{ab}	30,80 ^b	32,29 ^b	10,91
Largeur noix (mm)	25,03 ^a	22,47 ^a	20,83 ^{ab}	22,44 ^{ab}	20,84 ^{ab}	21,25 ^b	20,11 ^{ab}	19,42 ^{ab}	11,29
Poids noix (g)	11,37 ^a	8,18 ^b	7,56 ^b	9,13 ^b	6,55 ^b	8,00 ^b	6,11 ^b	6,46 ^b	26,33
Production 2016 (kg)	8,62 ^b	7,55 ^b	2,28 ^b	24,4 ^a	3,77 ^b	8,46 ^b	5,07 ^b	7,17 ^b	90,71
Nombre de noix au kg	85,57 ^c	126,5 ^{ab}	139,14 ^{ab}	109,6 ^{bc}	152,67 ^{ab}	129 ^{ab}	173,33 ^a	159 ^{ab}	28,65
Production 2017 (kg)	4,53 ^b	7,34 ^b	2,04 ^b	33,28 ^a	1,89 ^b	5,43 ^b	23,58 ^{ab}	2,42 ^b	173,09
Production moyenne (kg)	6,57 ^b	7,45 ^b	2,16 ^b	28,86 ^a	2,83 ^b	6,95 ^b	14,33 ^{ab}	4,79 ^b	120,37

3.1.2 Structuration de la variabilité phénotypique

L'analyse de la structuration de la variabilité phénotypique observée par la méthode UPGMA a permis de classer les 45 APEs en trois groupes distincts à un niveau de dissimilarité de 0,70 (Figure 4, Tableau IV). En accord avec le profil du dendrogramme, l'ACP a également permis de visualiser trois groupes (Figure 5) avec un groupe représentant les APEs du village de Keur Babou Diouf.

Le groupe I qui regroupe 58 % de l'effectif total est constitué d'APEs de tous les villages à l'exception de Keur Babou Diouf et Touba mouride (Tableau IV). Ce groupe est caractérisé par une production moyenne de 10,4 kg par arbre, des noix de petite taille avec un bon grainage (137 noix au kilo) (Tableau V). Les APEs de ce groupe sont tous de type floraison précoce et 77 % de ces APEs ont trois pics de floraison (Décembre - Février - Mai). Les 23 % restants ont deux pics de floraison par année. Il est important de signaler que le groupe I regroupe le top cinq des APEs à haut rendement représenté par quatre arbres du village de Keur Aliou Gueye à savoir A647 avec 50,84 kg, A643 avec 44,47 kg, A646 avec 22,77 kg et A645 avec 17,32 kg et un APE de Touba Barya A581 avec une production moyenne de 31,13 kg par année.

Le groupe II renferme seulement cinq (5) APEs dont trois de Touba Mouride, un de Keur Samba Are et un autre de Keur Aliou Gueye (Tableau IV). Ce groupe dont les caractéristiques des noix sont similaires à ceux du groupe I est composé d'arbres à floraison précoce caractérisés par un diamètre plus grand de 45 % et une faible production en noix (5,32 kg), comparés aux APEs du groupe I (Tableau V).

Le groupe III est un groupe homogène constitué uniquement des 14 APEs du village de Keur Babou Diouf (Tableau IV). Les individus de ce groupe sont caractérisés principalement par les dimensions de la noix et le grainage. En effet, ces APEs produisent de très grosses noix avec un excellent grainage (86 noix au kg). C'est un groupe majoritairement constitué d'arbres à floraison tardive (79 %) avec trois pics de floraison par an.

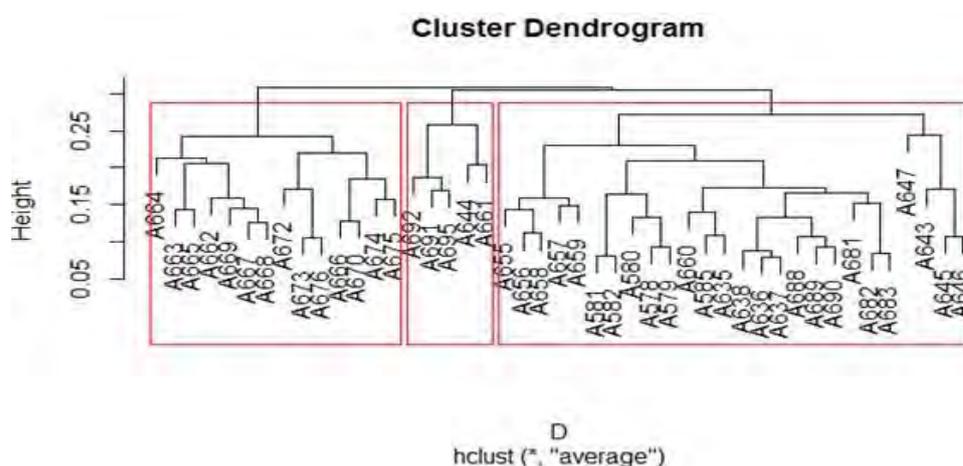


Figure 4 : Dendrogramme montrant la relation entre les 45 individus d’anacardiers par la méthode UPGMA basée sur la distance selon Gower (1971)

Tableau IV : Classification des groupes d’individus générés par le dendrogramme.

Groupe	Liste des villages	Liste des APEs
I	Keur Mama Lamine	A635 ; A636 ; A637 ; A638
	Keur Samba Are	A655 ; A656 ; A657 ; A658 ; A659 ; A660
	Keur Aliou Gueye	A643 ; A645 ; A646 ; A647
	Keur Samba Gueye	A578 ; A579 ; A580
	Missira Niombato	A681 ; A682 ; A683 ; A688 ; A689 ; A690
	Touba Barya	A581 ; A582 ; A585
II	Touba Mouride	A691 ; A692 ; A695
	Keur Samba Are	A661
	Keur Aliou Gueye	A644
III	Keur Babou Diouf	A662 ; A663 ; A664 ; A665 ; A666 ; A667 ; A668 ; A669 ; A670 ; A672 ; A673 ; A674 ; A675 ; A676

En gras, les cinq meilleurs individus gros producteurs de noix.

Tableau V : Caractéristiques des trois groupes obtenus à partir du dendrogramme.

Traits	Groupe I	Groupe II	Groupe III
Hauteur (m)	6,71 (0,91)	7,62 (0,93)	6,54 (0,64)
Diamètre (cm)	25,64 (8,11)	37,60 (5,03)	23,5 (7,23)
Houppier (cm)	12,53 (1,72)	13,61 (1,74)	12,33 (2,63)
Surface foliaire (cm ²)	66,16 (6,02)	58,55 (7,53)	79,00 (15,81)
Biomasse sèche (g)	0,61 (0,13)	0,46 (0,08)	0,66 (0,22)
Longueur noix (mm)	35,00 (2,65)	34,37 (2,9)	40,39 (1,75)
Largeur noix (mm)	21,00 (1,56)	21,16 (2,41)	25,03 (2,12)
Epaisseur (mm)	18,00 (1,69)	17,27 (1,74)	19,75 (1,31)
Poids noix	7,64 (1,52)	7,77 (1,83)	11,37 (1,64)
Nombre de noix au kg	137,00 (28,59)	137,00 (32,97)	86 ,00(13,74)
Production moyenne (kg)	10,40 (13,14)	5,32 (3,04)	6,57 (3,86)

Les nombres en parenthèses représentent l’écart type.

3.2 Discussion

3.2.1 Diversité phénotypique des APEs

La présente étude est la première qui présente la caractérisation phénotypique des anacardiens au Sénégal. Nous avons observé une grande variabilité pour la plupart des variables étudiées, indiquant ainsi la présence d'une large variabilité génétique d'une part et d'autre part que la sélection pour les traits d'intérêt est possible. Ces résultats corroborent ceux obtenus au Malawi, Bénin et en Côte d'Ivoire (Chipojola et *al.*, 2009; Sika et *al.*, 2015 ; Djaha et *al.*, 2014). Les arbres de la collection ont montré des différences morphologiques importantes qui pourraient être expliquées soit par leur potentiel génétique ou l'environnement. Plusieurs études ont mis en évidence une large gamme de morphotypes dépendant de la couleur de la pomme et de la taille de la noix (Djaha et *al.*, 2014; Sika et *al.*, 2015). Cette étude a montré un effet très significatif de l'environnement (communes et villages). En effet, les APEs de Keur Aliou Gueye, situés dans la commune de Toubacouta ont montré une meilleure croissance en diamètre et en hauteur comparés à ceux de Keur Samba Are localisés dans la commune de Keur Samba Gueye. Ces différences suivant la commune pourraient être expliquées par l'âge des APEs, les facteurs environnementaux tels que les types de sols différents et plus important, par la sélection faite par les producteurs. Ceci est confirmé par l'analyse de la structuration de la diversité à travers le dendrogramme qui a montré le regroupement des APEs de différents villages dans un groupe suggérant un niveau élevé de similarité entre les individus. La même tendance a été observée dans les accessions de Bénin et du Malawi où des accessions provenant de différentes zones se sont montrées très similaires (Chipojola et *al.*, 2009; Sika et *al.*, 2015). En effet, vue l'importance du commerce de la noix qui devient de plus en plus lucratif, les producteurs utilisent soit les mêmes critères de sélection (production et taille des noix) pour la mise en place de leurs nouvelles plantations ou bien du matériel de même provenance dans les plantations. Ceci corroborent les résultats de (Chabi et *al.*, 2013) qui a montré que les producteurs du Bénin considèrent les paramètres production et taille de la noix comme critères de sélection majeurs pour la mise en place de leurs nouvelles plantations. Ce qui par conséquent diminue la diversité dans les plantations d'anacardiens au Sénégal.

3.2.2 Potentiel d'amélioration génétique

L'analyse du dendrogramme couplé à l'ACP a montré une tendance bien particulière concernant le groupe qui se trouve essentiellement constitué d'APEs du village de Keur

Babou Diouf. En effet, ce groupe a enregistré les meilleures performances en termes de poids de la noix jamais enregistrées dans le monde. La performance de ces APEs (11,37g) dépasse de loin celle de l'hybride (AC4 x AZA17) de la Tanzanie qui a enregistré un poids moyen de 8,33 g (Masawe et *al.*, 1998) et aussi celle du clone W227 du Ghana avec 8,6 g (Dadzie et *al.*, 2014). Ce groupe d'individus représente un unique pool de gènes, génétiquement différent des autres individus et qui pourrait être utilisé comme population d'amélioration de base pour le développement d'hybrides améliorés. En effet, le caractère taille de la noix constitue un critère de choix aussi bien pour les producteurs, consommateurs et transformateurs que pour les améliorateurs. En plus, des études récentes utilisant des noix de Keur Babou Diouf ont montré une bonne corrélation entre poids de la noix et celui de l'amande ($r = 0.91$) (Bakhom, 2018), ce qui corrobore, Dadzie et *al.*, (2014) qui a reporté que les petites noix produisent généralement des amandes de petite taille.

Le rendement représente également l'un des éléments essentiels à considérer dans presque tout programme d'amélioration. La moyenne de la production par village dans notre étude a varié entre 2,16 et 28,86 kg par arbre indiquant qu'une importante variabilité est présente dans notre collection (avec un coefficient de variation de 120 %). Cette énorme variabilité observée pourrait être attribuée aux facteurs génétiques et/ou environnementaux (Martin et coll., 1998; Aliyu, 2004). Cependant, il est intéressant de noter que la majorité des individus gros producteurs de noix se concentrent dans le village de Keur Aliou Gueye alors les plus faibles performances sont enregistrées dans le village de Keur Samba Are. En effet, il a été reporté que la production en noix est fortement corrélée au nombre de fleurs hermaphrodites de l'individu (de Azevedo et *al.*, 1998). Dans notre étude, le nombre de fleurs hermaphrodites ne diffère pas suivant les villages. La faible performance des APEs de Keur Samba Are pourrait être attribuée à la forte prévalence de fleurs mâles. En effet, les panicules des APEs de Keur Samba Are possèdent plus de 78 % de fleurs mâles par rapport à celles des APEs de Keur Aliou Gueye confirmant ainsi l'hypothèse de (de Azevedo et al. 1998). Par conséquent, nos résultats suggèrent que la sélection pour les phénotypes gros producteurs pourrait être basée sur l'évaluation du nombre de fleurs mâles.

Il est aussi important de signaler que la faible performance des individus de Keur Samba Gueye qui possèdent les mêmes caractéristiques que les APEs de Keur Aliou Gueye en termes de prévalence de fleurs mâles pourrait être expliquée par un défaut de suivi de la production de la part des producteurs.

Aucune différence significative n'a été observée pour les variables relatives à la surface foliaire et à la biomasse sèche entre les villages. Cependant, la variation observée pour la variable longueur des feuilles pourrait probablement induire une différence de performance au niveau physiologique car la taille de la feuille semble impacter sur la photosynthèse.

Une faible corrélation a été observée entre les paramètres de croissance, foliaires et floraux et la production et les caractéristiques des noix. A l'opposée, une corrélation relativement modérée a été observée entre production suivant les années ($r = 0.55$), indiquant qu'un programme d'amélioration pourrait être basé sur seulement une année de production. Cependant, on recommande d'évaluer la production en noix sur plus de deux années pour estimer avec précision le potentiel de production des individus. L'absence de corrélation entre paramètres de croissance et production et caractéristiques des noix implique que la production est faiblement corrélée à la taille des arbres et qu'une sélection indirecte est impossible. Ces résultats confirment ceux de Dadzie et *al.*, (2014) et sont en phase avec ceux de Diallo et *al.*, (2015) qui a reporté une faible corrélation entre taille des arbres et production de gomme arabique chez *Acacia senegal*.