Article original

Caractères morphologiques et production des capsules de baobab (*Adansonia digitata* L.) au Bénin

Achille Ephrem ASSOGBADJO[a]*, Brice SINSIN[b], Patrick VAN DAMME[c]

[a] Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi; 05 BP 1752, Cotonou (Akpakpa-Centre), Bénin

assogbadjo@yahoo.fr

[b] Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 526 Cotonou

[c] Faculty of Biosciences Engineering, University of Ghent, Coupure Links 653, B-9000, Gent, Belgium

* *Correspondance et tirés à part*

Reçu le 27 janvier 2005
Accepté le 27 juillet 2005

Fruits, 2005, vol. 60, p. 1–14
© 2005 Cirad/EDP Sciences
All rights reserved
DOI: 10.1051/fruits:2005039

***RESUMEN ESPAÑOL**, p. 14*

Morphological characters and production of baobab tree capsules (*Adansonia digitata* L.) in Benin.

Abstract — Introduction. *Adansonia digitata* L. is a multi-purpose species in Africa; it has a great morphological variability. Our work aimed at characterizing and measuring this morphological variability in various prospected climatic zones, then at building predictive models of production variables starting from capsule characters. **Materials and methods**. The analyses related to a biometric characterization of 1200 capsules grouped in four various forms distributed in the whole of three climatic zones; these data were supplemented by an evaluation and a modeling of the baobab productions. **Results and discussion**. The most discriminating variables of the baobab capsule form and of the prospected climatic zones were the capsule length, the pulp weight, the total capsule weight, the almond weight, the capsule thickness and the ratio [length / width]. On average, a capsule weighs 275 g in the Guinean zone, 273 g in the Sudan-Guinean zone and 204 g in the Sudanian zone; in each one of these zones, it produces 54 g, 51 g and 32 g of pulp, and approximately 37 g, 28 g and 23 g of almond. The average productions of seeds, almond and pulp were modeled and adjusted with square root functions and/or a logarithmic curve according to the various climatic zones. **Conclusion**. The morphometric variables made it possible not only to make a rather precise typology of the various capsule forms but also to estimate their production starting from predictive models. The variability of the baobab capsule production in various climatic zones could be a parameter useful for a genetic improvement of the species answering the needs and the means of the rural populations.

Benin / *Adansonia digitata* / fruits / plant morphology / agronomic characters / climatic zones

Caractères morphologiques et production de capsules de baobab (*Adansonia digitata* L.) au Bénin.

Résumé — Introduction. *Adansonia digitata* L. est une espèce à usages multiples en Afrique qui présente une forte variabilité morphologique. Nos travaux ont cherché à caractériser et à mesurer cette variabilité morphologique dans différentes zones climatiques prospectées, puis à construire des modèles prédictifs de variables de production à partir de caractères de la capsule. **Matériel et méthodes**. Les analyses ont porté sur une caractérisation biométrique de 1200 capsules groupées en quatre différentes formes réparties dans l'ensemble de trois zones climatiques ; ces données ont été complétées par une évaluation et une modélisation de leurs productions. **Résultats et discussion**. Les variables les plus discriminantes de la forme des capsules de baobab et des zones climatiques prospectées ont été la longueur de la capsule, le poids de la pulpe, le poids total de la capsule, le poids de l'amande, l'épaisseur de la capsule et le rapport [longueur / largeur]. En moyenne, une capsule pèse 275 g en zone guinéenne, 273 g en zone soudano-guinéenne et 204 g en zone soudanienne ; elle produit dans chacune de ces zones 54 g, 51 g et 32 g de pulpe, ainsi que 37 g, 28 g et 23 g d'amande. Les productions moyennes en graines, amande et pulpe ont été modélisées et ajustées à des fonctions racine carrée et/ou logarithmique suivant les différentes zones climatiques. **Conclusion**. Les variables morphométriques ont permis non seulement de faire une typologie assez précise des différentes formes de capsules mais aussi d'estimer leur production à partir de modèles prédictifs. La variabilité de la production des capsules de baobab suivant différentes zones climatiques pourrait être un paramètre utile à une amélioration génétique de l'espèce répondant aux besoins et aux moyens des populations rurales.

Bénin / *Adansonia digitata* / fruits / morphologie végétale / caractère agronomique / zone climatique

1. Introduction

Le baobab est une espèce bien connue des populations rurales africaines qui l'utilisent à des fins thérapeutiques, alimentaires, économiques et socioculturelles. Les recherches entreprises sur cette espèce au Nigeria et au Mali ont permis de disposer d'informations sur sa valeur alimentaire et ses potentialités agronomiques [1–4]. Par ailleurs, en Afrique, de nombreux travaux ont contribué à la mise en exergue des connaissances ethnobotaniques et de l'importance socio-économique en relation avec l'espèce [5–7]. D'une façon générale, la littérature sur le baobab révèle une insuffisance d'informations sur sa variabilité morphologique, sa diversité génétique et la production de ses différents organes. Cependant, en milieu rural africain, les paysans disposent de connaissances assez pointues sur la plante et utilisent différents critères de caractérisation de ses individus.

Actuellement, au Mali, il est fréquent de voir les paysans distinguer plusieurs types de baobabs en tenant compte non seulement de la couleur de l'écorce, qui peut être noire, rouge ou blanche, mais aussi des goûts de la pulpe et des feuilles ou encore de l'envergure de l'arbre ou de la forme de ses capsules [1].

Au Bénin, le critère le plus utilisé par les populations rurales pour distinguer entre eux les individus de baobabs vis-à-vis de leurs potentiels de production est la forme des capsules [6]. Les connaissances endogènes de ces populations sur la caractérisation traditionnelle des baobabs sont inexpliquées par le monde scientifique [1]. Les études effectuées jusqu'à présent sur leurs fruits ne renseignent ni sur la mesure de la variabilité de ces capsules en fonction des zones climatiques, ni sur des modèles de prédiction de leur production à partir de leurs caractéristiques morphologiques. Ainsi, il est quasiment impossible d'estimer réellement la valeur des populations de baobabs en termes de produits commercialisables comme la pulpe, les graines et l'amande.

De ce fait, les objectifs visés par nos études ont été la caractérisation de la variabilité morphologique des capsules, la mesure de cette variabilité selon différentes zones climatiques, puis la construction de modèles prédictifs de variables de production à partir des caractères morphométriques les plus discriminants.

Figure 1.
Localisation des lieux d'étude de la production des baobabs, limites des zones climatiques et principales villes du Bénin.

2. Méthodes

2.1. Localisation de l'étude

L'étude a été effectuée dans les zones guinéenne (entre 6° 25' N et 7° 30' N), soudano-guinéenne (entre 7° 30' N et 9° 45' N) et soudanienne (entre 9° 45' N et 12° 25' N) du Bénin (*figure 1*). Ces trois zones se distinguent les unes des autres par leurs conditions climatiques et biophysiques.

Dans la zone guinéenne, le régime pluviométrique est bimodal (avril–juin et septembre–novembre) avec une pluviométrie moyenne de 1200 mm par an. La température moyenne varie de 25 °C à 29 °C et l'humidité de l'air de 69 % à 97 %. C'est le domaine des sols ferrallitiques, profonds et peu fertiles.

En revanche, dans la zone soudano-guinéenne, le régime pluviométrique est unimodal (mai–octobre) et la pluviométrie moyenne annuelle varie de 900 mm à 1110 mm, répartie le plus souvent sur 113 jours en moyenne. L'humidité relative varie de 31 % à 98 %. L'insolation moyenne s'élève à 2305 h par an et les températures varient entre 25 °C et 29 °C. Dans cette zone se rencontrent des sols minéraux peu évolués et peu fertiles, et des sols ferrugineux sur socle cristallin de fertilité variable.

La zone soudanienne a également un régime pluviométrique unimodal. La pluviométrie dans cette zone est souvent inférieure à 1000 mm par an. L'humidité de l'air varie de 18 % à 99 %. La température varie de 24 °C (ou parfois moins) à 31 °C et il y a 2862 h ensoleillées par an. Cette zone est le domaine des sols hydromorphes bien drainés, des cuirasses latérites et des lithosols.

2.2. Échantillonnage

Pour caractériser les différentes formes de capsules et mesurer leur variabilité en fonction des zones climatiques, dix baobabs ont été aléatoirement choisis pour chacune des trois zones climatiques considérées, soit un total de 30 arbres étudiés.

Sur chaque baobab sélectionné, 40 capsules ont été échantillonnées au hasard pour l'estimation des productions moyennes en graines, amandes et pulpe et pour la réalisation des différentes mensurations. À partir d'enquêtes de terrain, il a pu être vérifié que, pour un même individu, la forme des capsules est relativement stable et qu'elle ne varie pratiquement pas d'une année à l'autre. Au total, quatre formes de capsules ont été identifiées et aléatoirement distribuées dans les trois zones climatiques étudiées (*figure 2*) : forme 1 : capsule légèrement globuleuse et de taille courte, forme 2 : capsule globuleuse, de taille moyenne et arrondie, forme 3 : capsule ovoïde, de taille moyenne et effilée, forme 4 : capsule ellipsoïdale de grande taille et allongée. La dispersion des quatre formes au sein des trois zones climatiques considérées a été évaluée (*figure 3*).

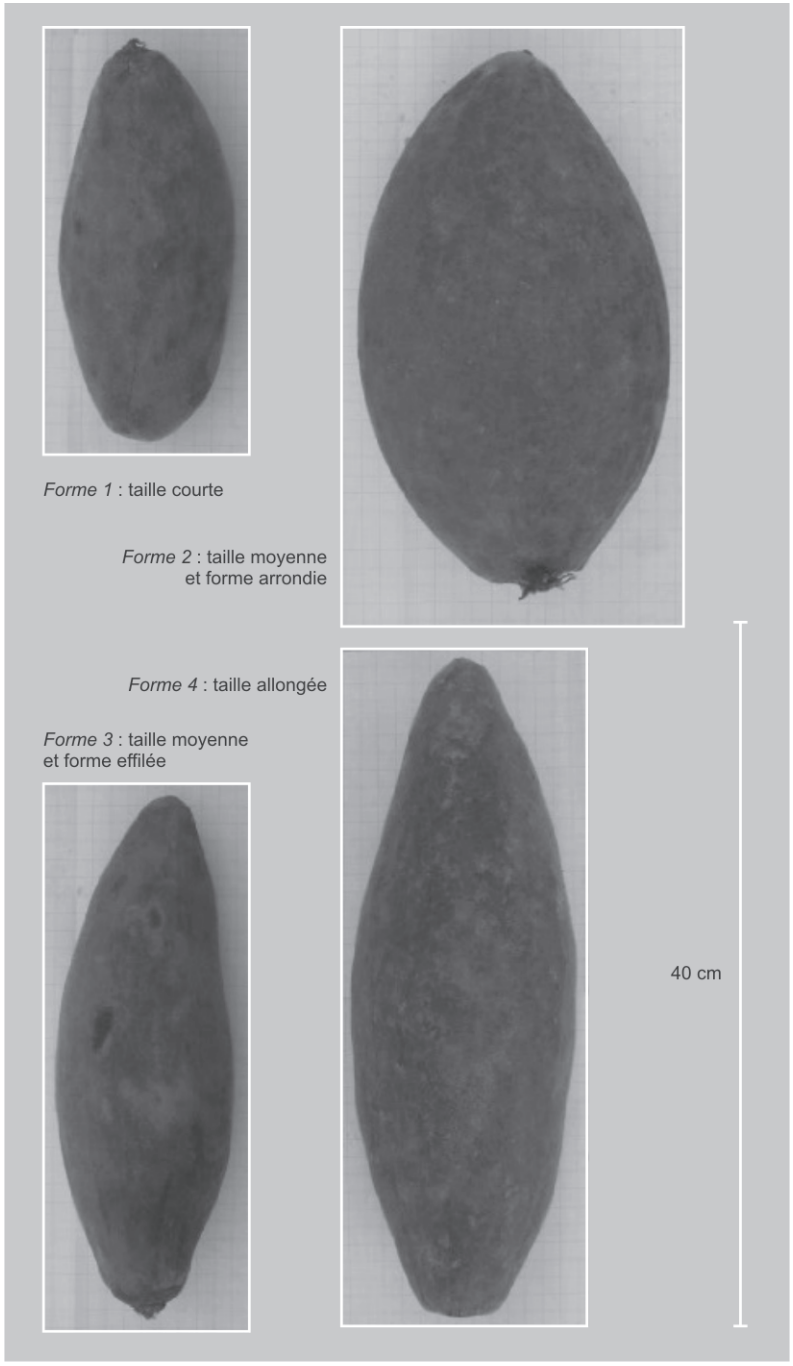

Figure 2.
Différentes formes de capsules de baobab observées dans les zones climatiques du Bénin.

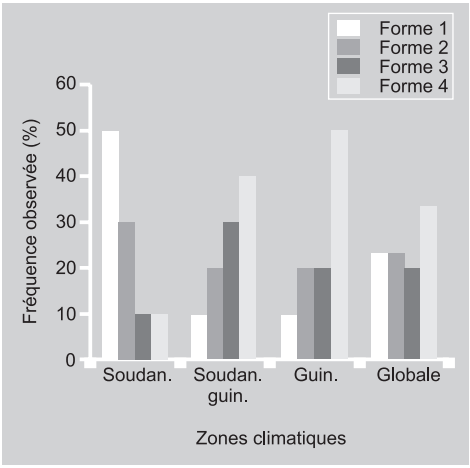

Figure 3.
Distribution de quatre formes de capsules de baobab au sein de trois zones climatiques prospectées au Bénin.

2.3. Paramètres mesurés sur la capsule et les graines

Pour chaque capsule échantillonnée, les caractéristiques mesurées à l'aide d'un pied à coulisse ont concerné la longueur totale de la capsule, le diamètre médian et l'épaisseur de l'endocarpe ; le poids total des fruits a été déterminé par pesée.

Après ces mesures faites sur la capsule entière, celle-ci a été cassée pour recueillir les graines enrobées de pulpe qui ont été pesées à leur tour, avant d'être immergées dans de l'eau pour les débarrasser de la pulpe. Les graines ont alors été comptées et séchées à l'étuve (40 °C à 50 °C) pendant 48 h. Pour déterminer le poids d'amandes, les graines ont été mises à bouillir pendant 30 min, conformément à la technique traditionnelle d'extraction de l'amande, puis séchée pendant 48 h à l'étuve (40 °C à 50 °C).

2.4. Production en pulpe, graines et amandes

Pour une capsule de forme donnée, le poids total de [graines + pulpe] d'une part et le poids de graines d'autre part ayant été pesés, il a été possible de déterminer, par déduction, le poids de pulpe. Ensuite, les productions individuelles de chaque capsule en pulpe, graines et amandes ont permis d'évaluer des productions moyennes pour chacune des quatre formes de capsules identifiées.

2.5. Analyse des résultats

Les analyses statistiques des résultats ont été effectuées avec les logiciels SAS version 8 et PAST. Des graphiques ont d'abord été construits pour analyser la dispersion des différentes formes de capsules parmi les zones climatiques. Pour l'ensemble des capsules réunies, les variables de production (poids de pulpe, poids de graines, poids d'amandes et nombre de graines) ont été étudiées une à une vis-à-vis du poids total des capsules qui, en retour, a été respectivement évalué vis-à-vis de leur longueur et de leur largeur. La liaison entre ces deux dernières variables a également été établie. Ensuite, des analyses de variance suivies de tests de comparaison des moyennes par le test de Newman et Keuls ont permis de caractériser les capsules à partir des moyennes de leurs différents caractères morphologiques et de comparer les variabilités observées d'une zone climatique à l'autre.

L'étude des corrélations entre les diverses caractéristiques des capsules a nécessité une sélection préalable de variables. Celle-ci a été effectuée à partir d'une analyse canonique discriminante pas à pas (stepwise canonic analysis) effectuée sur les variables morphologiques des capsules ; elle a été suivie d'une seconde analyse canonique discriminante destinée à décrire, à travers un système d'axes, les capsules et les zones selon les variables retenues par l'analyse canonique discriminante pas à pas. Des analyses inférentielles univariée (ANOVA univariée) et multivariée (MANOVA) ont été préalablement effectuées pour confirmer le pouvoir discriminant des variables ainsi retenues. Il a été alors possible d'établir les régressions multiples qui ont permis d'établir des modèles de prédiction de la production des différents organes de baobab (pulpe, graines, amandes) à partir de variables morphométriques des capsules retenues par analyse discriminante.

Le modèle de régression multiple a été le suivant :

$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \ldots + b_xx_x$, y étant la variable dépendante qui peut être le rendement en pulpe, graines ou amandes et les paramètres morphométriques x_1, x_2, x_3, …, x_x étant des variables indépendantes.

Lorsque le meilleur modèle de régression a été obtenu pour chacun des différents organes de baobab, d'autres tests d'adéquation de ce modèle ont été effectués : le test de normalité de Shapiro-Wilk pour vérifier la normalité des résidus de régression et le test de Breush-Pagan (appelé aussi test de Cook-Weisberg) pour vérifier l'homogénéité de ces résidus. Lorsque le meilleur modèle de régression linéaire pour la production de pulpe, de graines ou d'amandes, a présenté une faible valeur du coefficient de détermination (R^2), ou encore a occasionné une violation accentuée des conditions d'application de la régression (homogénéité et normalité des résidus de régression), des transformations de la variable dépendante ont été effectuées (transformations de Box et Cox, notamment) afin de trouver un modèle mieux adapté aux données, qui présente un fort pouvoir prédictif.

3. Résultats

3.1. Distribution spatiale des différentes formes de capsule et corrélation entre les paires de variables

Les quatre formes de capsules étudiées se sont révélées être distribuées dans chacune des trois zones climatiques évaluées (*figure 3*). Cependant, des prédominances ont été observées d'une zone climatique à une autre. Dans la zone soudanienne (zone 1), les capsules de forme 1 ont été les plus représentées (50 %). En revanche, dans les zones guinéennes (zone 3) et soudano-guinéenne (zone 2), c'est la forme 4 qui a prédominé (50 % et 40 %, respectivement). En considérant l'ensemble des zones climatiques, les capsules de forme 4 ont été les plus représentées avec 33 % de toutes les capsules étudiées ; ont suivi les capsules de formes 1 et 2, chacune présentant 23,33 % du total, puis les capsules de forme 3 (20 % du total).

D'une façon générale, les coefficients de détermination (R^2) et de corrélation (r) entre les diverses variables de production [poids de (pulpe + graines), poids de graines, poids de pulpe, poids d'amandes et nombre de graines en fonction du poids total de la capsule] ont été élevés et significatifs (*figure 4*) traduisant ainsi la qualité relativement bonne

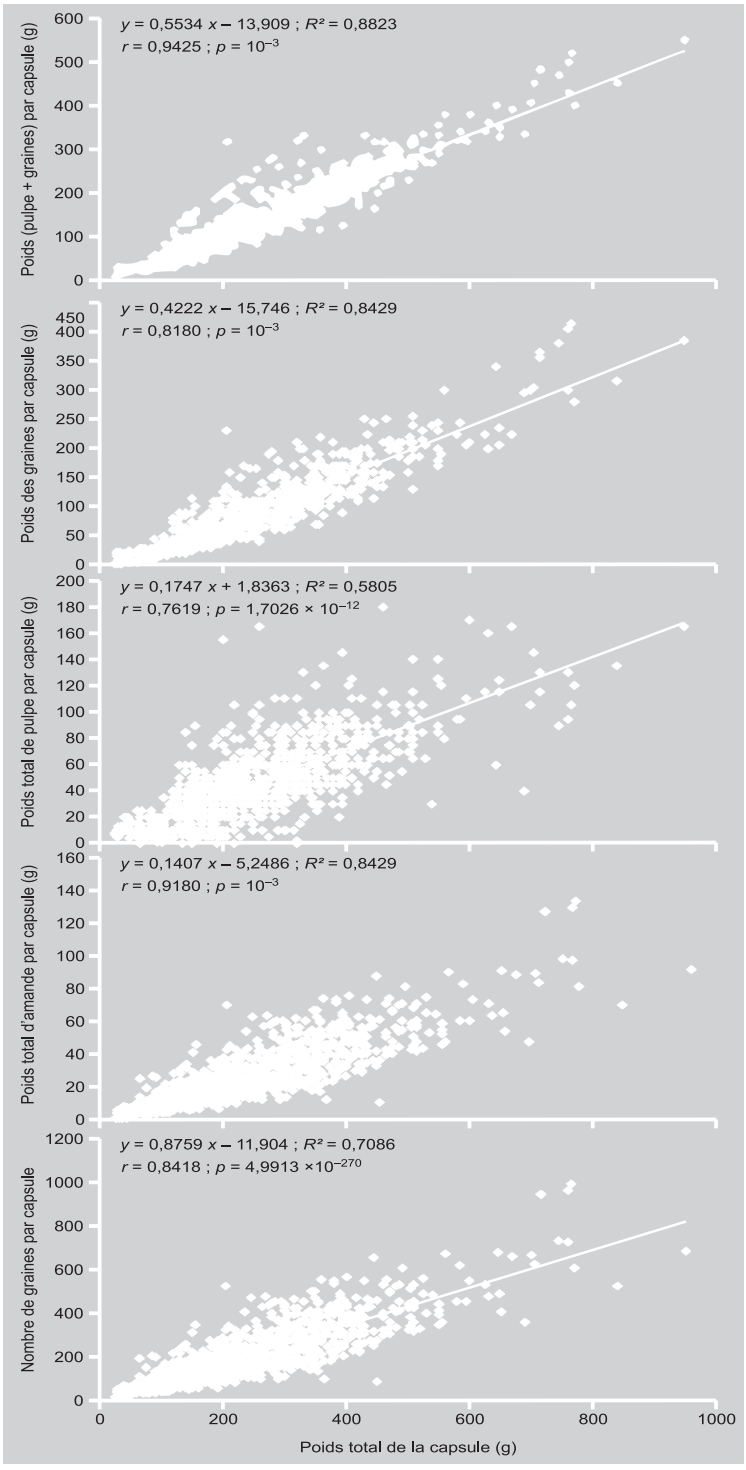

Figure 4.
Relation entre le poids total d'une capsule de baobab et celui de ses diverses productions.

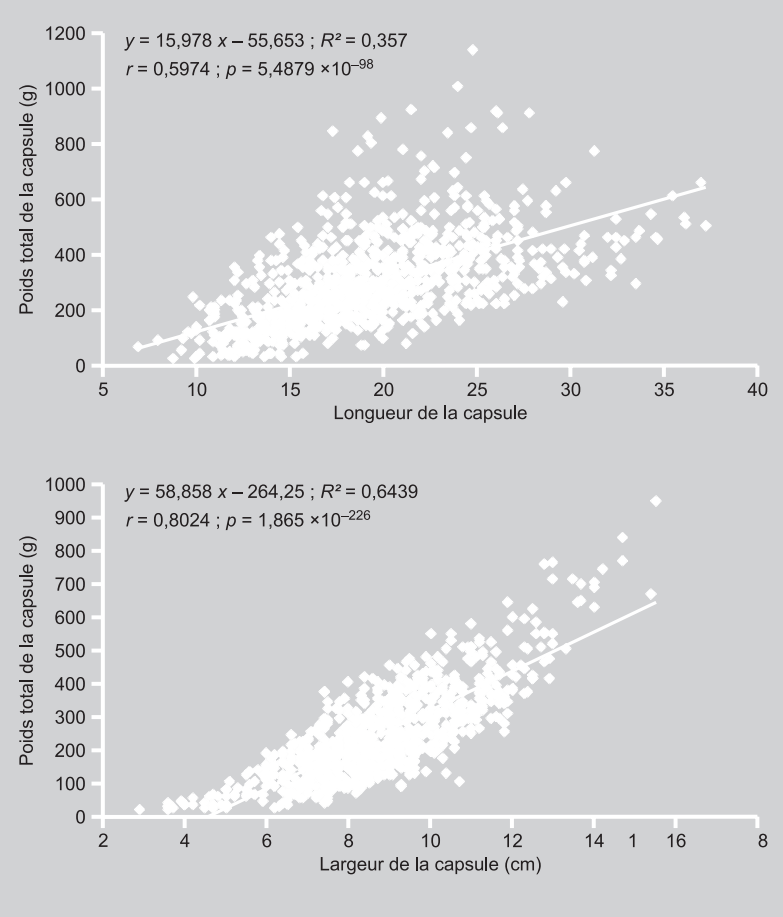

Figure 5.
Relation entre le poids total d'une capsule de baobab et ses longueur et largeur.

des différents modèles établis. En effet, partant des différents coefficients de détermination obtenus pour les diverses équations de régression, il serait dès lors possible de prédire, à partir du poids total d'une capsule, son poids total en (pulpe + graines), en graines, en pulpe, en amandes et son nombre total de graines respectivement, avec une précision de (88,23, 84,29, 58,05, 84,29 et 70,86) %. Les coefficients de corrélation de ces différentes équations de régression étant significatifs et positifs, il s'ensuit que, plus lourde est une capsule de baobab, plus elle contient de graines et plus élevés sont ses poids en pulpe, graines et amandes. Par ailleurs, les relations entre les variables métriques et le poids total de la capsule ont présenté des coefficients de détermination globalement plus faibles que celles obtenues précédemment, variant de 0,357 (relation entre la longueur de capsule et son poids total), à 0,6439 (relation entre la largeur de la capsule et son poids total) (*figure 5*). Cependant, les diverses équations obtenues pour les couples [poids total de la capsule et longueur de la capsule] et [poids total de la capsule et largeur de la capsule] sont significatives et traduisent l'existence de corrélations entre ces variables. En revanche, une très faible corrélation (r = 0,22) a été mise en évidence entre la longueur d'une capsule et sa largeur (*figure 6*). Bien que l'équation de régression qui en découle soit significative ($p = 1{,}70 \times 10^{-12}$), sa qualité est très médiocre, comme indiqué par la très faible valeur du coefficient de détermination (R^2 = 0,0486) de l'équation.

3.2. Discrimination des formes de capsules à partir de leurs variables morphométriques

L'analyse canonique pas à pas sur les données morphométriques des différents types de capsule a montré que les variables les plus discriminantes étaient la longueur, le nombre de graines, l'épaisseur, le poids de (pulpe + graines), le poids total de la capsule et le rapport [longueur / largeur] des capsules (*tableau I*). Les résultats des tests inférentiels *(tableau II)* n'ont fait que confirmer le pouvoir discriminant des variables retenues précédemment. Ces résultats ont montré en effet que, pour la plupart des variables, il existait des différences très hautement significatives ($p < 0{,}0001$) entre les types de capsules du point de vue de leurs caractéristiques morphométriques. Par suite, ils permettent de décrire assez précisément les quatre formes de capsules identifiées à partir de leurs caractéristiques.

L'analyse canonique discriminante a montré que l'axe 1 décrivait au mieux les formes 2 et 4 des capsules, cela à partir des variables poids de (pulpe + graines) et rapport [longueur / largeur] des capsules, alors que l'axe 2 décrivait surtout les formes 1 et 3 des capsules à partir des variables de longueur, nombre de graines, poids de (pulpe + graines) et poids total de la capsule (tableau III). La représentation graphique des axes 1 et 2 de cette analyse met bien en évidence une discrimination des capsules de forme 2 (taille moyenne et forme arrondie) et de

forme 4 (allongée) situées respectivement dans les parties positives et négatives de l'axe 1 (figure 7). Sur cette même représentation, les capsules de forme 1 (courte) se localisent beaucoup plus dans les parties négatives des axes 1 et 2, alors que les capsules de la forme 3 (moyenne et effilée) se situent beaucoup plus dans la partie positive de l'axe 2 (figure 7). En d'autres termes, les capsules de forme 2 (taille moyenne et forme arrondie) présentent des poids de (pulpe + graines) relativement importants avec de faible rapport [longueur / largeur] démontrant ainsi leur forme arrondie. En revanche, les capsules de forme 4 (allongée) présentent les rapports [longueur / largeur] les plus élevés ; par ailleurs, elles présentent également les poids moyens d'amandes et de pulpe les plus élevés. Les capsules de forme 3 (taille moyenne et forme effilée) présentent des valeurs plus ou moins élevées pour la plupart des variables (longueur, rapport [longueur / largeur], poids de (pulpe + graines) et nombre de graines), contrairement aux capsules de forme 1 (taille courte) qui présentent des valeurs plus faibles pour ces mêmes variables (tableau IV).

3.3. Discrimination des zones climatiques à partir des variables morphométriques des capsules

Les variables qui discriminent au mieux ($p < 0,0001$) les zones climatiques selon la morphologie des capsules de baobab sont la longueur de la capsule, le poids de la pulpe, le nombre de graines, le poids total de la capsule, le poids de l'amande, l'épaisseur de la capsule et le rapport [longueur / largeur] (*tableau V*). Les résultats des tests inférentiels (*tableau VI*) n'ont fait que confirmer le pouvoir discriminant de ces variables car ils montrent que, pour la plupart d'entre elles, il existe des différences très hautement significatives ($p < 0,0001$) entre les zones du point de vue des caractéristiques morphométriques des capsules. Il serait donc possible de faire une description assez précise des trois zones étudiées à partir de ces variables morphométriques des capsules.

L'analyse canonique discriminante alors effectuée a montré que l'axe 1 (ou premier axe canonique discriminant) était corrélé avec les variables poids d'amandes et épaisseur des capsules, tandis que l'axe 2 décrivait au mieux les zones climatiques sur la

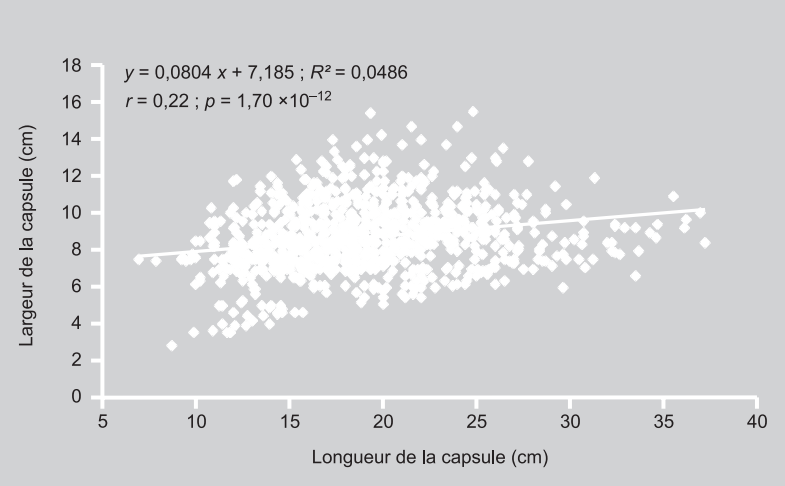

Figure 6.
Relation entre la largeur et la longueur d'une capsule de baobab.

Tableau I.
Analyse canonique pas à pas sur les données morphométriques permettant de déterminer les variables les plus discriminantes pour comparer les fruits de différents baobabs.

Numéro du pas	Variable mesurée	Valeur de *F*	*P* > *F*	Wilks' Lambda	*P* < Lambda
1	Longueur	48,91	< 0,0001	0,872	< 0,0001
2	Nombre de graines	50,39	< 0,0001	0,757	< 0,0001
3	Épaisseur de l'endocarpe	30,18	< 0,0001	0,694	< 0,0001
4	Poids de pulpe + graines	3,85	< 0,0094	0,686	< 0,0001
5	Poids total de la capsule	10,20	< 0,0001	0,665	< 0,0001
6	Rapport [longueur / largeur]	4,24	< 0,0055	0,657	< 0,0001

Tableau II.
Tests univariés effectués sur les caractéristiques de capsules de baobabs étudiées en fonction de leurs différentes formes.

Variable	[R^2 / (1–R^2)]	Valeur de *F*	*P* > *F*
Longueur	0,1470	62,92	< 0,0001
Nombre de graines	0,1187	22,01	< 0,0001
Épaisseur de l'endocarpe	0,0877	22,54	< 0,0001
Poids de pulpe + graines	0,1112	41,30	< 0,0001
Poids total de la capsule	0,0911	60,69	< 0,0001
Rapport [longueur / largeur]	0,1853	22,73	< 0,0001

R^2 = coefficient de détermination.

Tableau III.
Analyse canonique discriminante effectuée sur les variables morphométriques de capsules de baobabs et de quatre différentes formes les caractérisant.

Variable	Axe canonique		
	1	2	3
Longueur	–0,269	0,824	–0,489
Nombre de graines	0,438	0,585	–0,278
Épaisseur de l'endocarpe	0,287	0,428	0,762
Poids de pulpe+graines	0,401	0,575	–0,379
Poids total de la capsule	0,257	0,644	–0,233
Rapport [longueur / largeur]	–0,702	0,451	–0,209
Forme 1 (taille courte)	–0,159	–0,709	0,094
Forme 2 (taille moyenne, forme arrondie)	0,682	0,105	–0,109
Forme 3 (taille moyenne, forme effilée)	–0,200	0,417	0,416
Forme 4 (taille allongée)	–0,741	0,214	–0,273

base des variables longueur des capsules, poids de pulpe, poids total des capsules et rapport [longueur / largeur] des capsules (*tableau VII*). La représentation graphique de ces deux axes 1 et 2 montre une discrimination entre la zone guinéenne (zone 3) et les zones soudanienne (zone 1) et de transition soudano-guinéenne (zone 2) (*figure 8*) : les capsules de la zone guinéenne (zone 3) se situent dans la partie positive de l'axe 1 et relativement plus orientées vers la partie négative de l'axe 2. Nos résultats montrent que les capsules de la zone guinéenne présentent en général des poids d'amandes et des épaisseurs de l'endocarpe relativement plus importants que les capsules des baobabs des zones soudanienne et soudano-guinéenne (*tableau VIII*). La plus grande partie des capsules de la zone soudanienne (zone 1) est concentrée dans la partie négative de l'axe 2, donc présente beaucoup plus de capsules courtes et de faible poids en pulpe par rapport aux deux autres zones (*tableau VIII*). Les capsules de la zone soudano-guinéenne présentent des caractéristiques assez proches de celles de la zone guinéenne et sont pour la plupart des capsules de grande taille, de rapport [longueur / largeur] élevé et de poids de pulpe et poids total également élevés (*tableau VIII*).

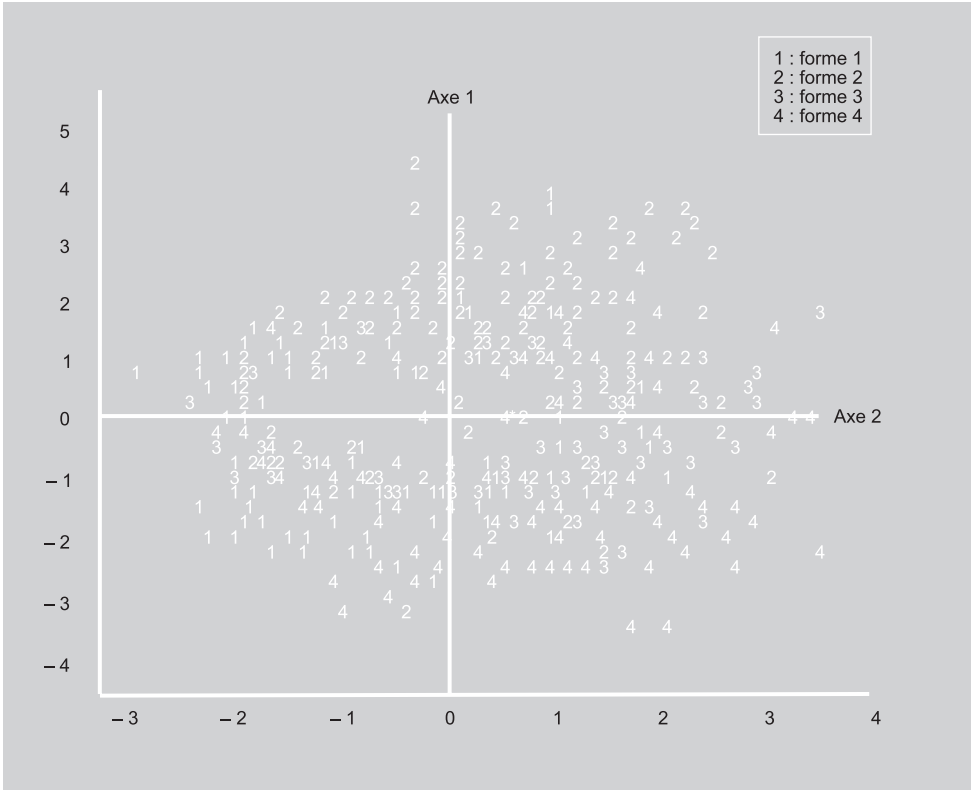

Figure 7.
Distribution de quatre formes de capsules de baobab dans un système d'axes discriminants : l'axe 1 est lié aux variables poids de (pulpe + graines) et rapport [longueur / largeur] des capsules, alors que l'axe 2 décrit surtout les variables de longueur, nombre de graines, poids de (pulpe + graines) et poids total de la capsule.

3.4. Modélisation de la production moyenne de pulpe, graines et amandes par capsule

Du fait qu'il existe une différence significative des variables morphométriques d'une zone climatique à l'autre, il a été possible de faire une modélisation de la production moyenne d'une capsule en fonction de la zone considérée (*tableau IX*). L'analyse des résultats montre que la production en graines des capsules en fonction des variables morphométriques les plus discriminantes s'ajuste respectivement à des modèles logarithmiques dans les zones soudanienne et guinéenne, et à une fonction racine carrée dans la zone de transition soudano-guinéenne.

Pour la production moyenne d'amandes, les équations de régression multiples en fonction des mêmes variables sont des fonctions racines carrées respectivement dans les zones soudanienne et soudano-guinéenne et logarithmique dans la zone guinéenne (*tableau IX*).

L'équation de régression correspondant à la production moyenne de pulpe par capsule s'ajuste respectivement à des fonctions racines carrées dans les zones soudanienne et soudano-guinéenne et à une fonction logarithmique en zone guinéenne.

Les ajustements sont hautement significatifs et présentent des coefficients de détermination relativement élevés parfois de l'ordre de 90 % (*tableau IX*). En conséquence, d'une zone climatique à une autre, il sera aisé d'estimer avec une précision relativement élevée les productions en graines, en amandes et en pulpe en fonction des variables morphométriques les plus discriminantes des capsules.

4. Discussion et conclusions

Notre étude sur la typologie et la production des capsules de baobab est la première qui ait été entreprise sur ce thème au Bénin. L'approche utilisée a été quantitative ; elle a permis la mise en évidence d'une relation entre les types de capsules de baobab et leurs possibilités de production selon la zone climatique considérée.

Tableau IV.
Caractéristiques moyennes des capsules de baobabs présentées par forme de capsule.

Forme	Longueur[1] (cm)	Largeur[1] (cm)	Épaisseur[1] (cm)	[Longueur / largeur][1]	Poids total capsule[1] (g)	Poids pulpe-graine[1] (g)	Poids graines[1] (g)	Poids pulpe[1] (g)	Poids amande[1] (g)	Nombre graines[1]
1	16,32^{d} (4,74)	8,90^{b} (1,39)	0,41^{c} (0,06)	2,11^{c} (0,71)	182,66^{c} (124,89)	94,03^{c} (77,30)	60,38^{c} (51,97)	33,65^{c} (32,29)	20,13^{c} (17,32	139^{c} (104)
2	18,85^{c} (3,66)	9,61^{a} (1,61)	0,45^{b} (0,11)	2,00^{d} (0,43)	283,01^{a} (133,38)	164,61^{a} (88,43)	111,56^{a} (67,18)	53,05^{a} (30,98)	37,19^{a} (22,39)	257^{a} (154)
3	19,95^{b} (4,12)	8,33^{b} (1,06)	0,48^{a} (0,13)	2,40^{b} (0,45)	264,05^{a} (102,98)	134,68^{b} (59,75)	90,75^{b} (45,28)	43,94^{b} (21,54)	30,25^{b} (15,09)	211^{b} (108)
4	21,42^{a} (6,12)	8,31^{b} (1,82)	0,40^{c} (0,10)	2,68^{a} (0,88)	250,12^{b} (138,05)	128,96^{b} (83,06)	82,78^{b} (57,65)	46,17^{b} (30,31)	27,59^{b} (19,22)	190^{b} (133)
4 formes	19,05 (4,97)	8,72 (1,81)	0,43 (0,11)	2,25 (0,68)	248,78 (132,81)	134,58 (84,11)	89,29 (61,08)	45,29 (30,45)	29,76 (20,36)	206 (138)
Valeur de *F*	48,91***	52,69*	30,18***	4,24***	10,20***	3,85***	37,67***	20,3***	28,96***	50,39***

[1] Moyenne et (écart-type) pour 10 mesures.
Dans une même colonne, les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes.
* Moyenne significative ; *** moyenne très hautement significative.

Tableau V.
Analyse discriminante pas à pas sur les variables morphométriques des fruits de différents baobabs, suivant trois zones climatiques prospectées au Bénin.

Numéro du pas	Variable mesurée	Valeur de *F*	*P* > *F*	Wilks' Lambda	*P* < Lambda
1	Longueur	62,92	< 0,0001	0,888	< 0,0001
2	Poids pulpe	22,01	< 0,0001	0,850	< 0,0001
3	Nombre de graines	22,54	< 0,0001	0,814	< 0,0001
4	Poids total capsule	41,30	< 0,0001	0,751	< 0,0001
5	Poids amande	60,69	< 0,0001	0,669	< 0,0001
6	Épaisseur de l'endocarpe	22,73	< 0,0001	0,642	< 0,0001
7	[Longueur / largeur]	4,18	< 0,0001	0,637	< 0,0001

Tableau VI.
Résultats d'analyses inférentielles effectuées sur les variables morphométriques de capsules de baobabs, suivant trois zones climatiques prospectées au Bénin.

Variable	[R^2 / (1–R^2)]	Valeur de *F*	*P* > *F*
Longueur	0,1260	62,92	< 0,0001
Poids pulpe	0,1214	60,66	< 0,0001
Poids total capsule	0,0697	34,79	< 0,0001
Poids amande	0,0872	43,54	< 0,0001
Épaisseur de l'endocarpe	0,0072	3,61	< 0,0273
[Longueur / largeur]	0,677	33,81	< 0,0001

R^2 = coefficient de détermination.

Tableau VII.
Analyse canonique discriminante sur les variables morphométriques des capsules de baobabs et sur trois zones climatiques prospectées au Bénin.

Variable	Axe canonique	
	1	2
Longueur	0,369	0,694
Poids pulpe Pp	0,315	0,731
Poids total de la capsule	0,212	0,576
Poids amande	0,453	0,303
Épaisseur de l'endocarpe	0,143	–0,018
[Longueur/ largeur]	0,321	0,440
Zone soudanienne	–0,354	–0,476
Zone soudano-guinéenne	–0,434	0,487
Zone guinéenne	0,891	0,034

Plusieurs formes de capsules de baobab ont été identifiées dans les systèmes agroforestiers traditionnels du Bénin ; elles ont été regroupées en quatre grands groupes dont les mensurations varient de façon significative d'un groupe de capsules à l'autre. Les dimensions moyennes que nous avons observées au Bénin pour la longueur [(16,32 à 21,42) cm] et la largeur [(8,3 à 9,6) cm] des capsules sont compatibles avec celles indiquées par Wickens [8] qui avait noté que la longueur variait de (7,5 à 54) cm et la largeur de (7,5 à 20) cm pour des capsules récoltées dans plusieurs pays africains. En revanche, les péricarpes des capsules observées au Bénin sont largement moins épais [(0,4 à 0, 5) cm] que ceux habituellement observés dans d'autres régions d'Afrique [(0,8 à 1) cm] [1, 8].

Par ailleurs, Wickens a signalé des capsules de forme globuleuse rencontrées le plus souvent en Afrique du Sud ; ovoïde et arrondie à la base au Zimbabwe ; ovoïde et pointue à la base au Botswana, puis des formes ovoïde et oblongue cylindrique observées en Angola [8]. Au Bénin, différentes formes de capsules ont été rencontrées et aléatoirement distribuées dans les zones climatiques prospectées avec, cependant, des prédominances de certaines formes variant de la zone guinéenne à la zone soudanienne. Les capsules donnant les meilleurs rendements en pulpe, amandes et graines ont été localisées dans la zone guinéenne qui constituerait ainsi une zone intéressante pour la collecte de matériel végétal à utiliser dans un programme d'amélioration génétique visant une plus grande productivité du

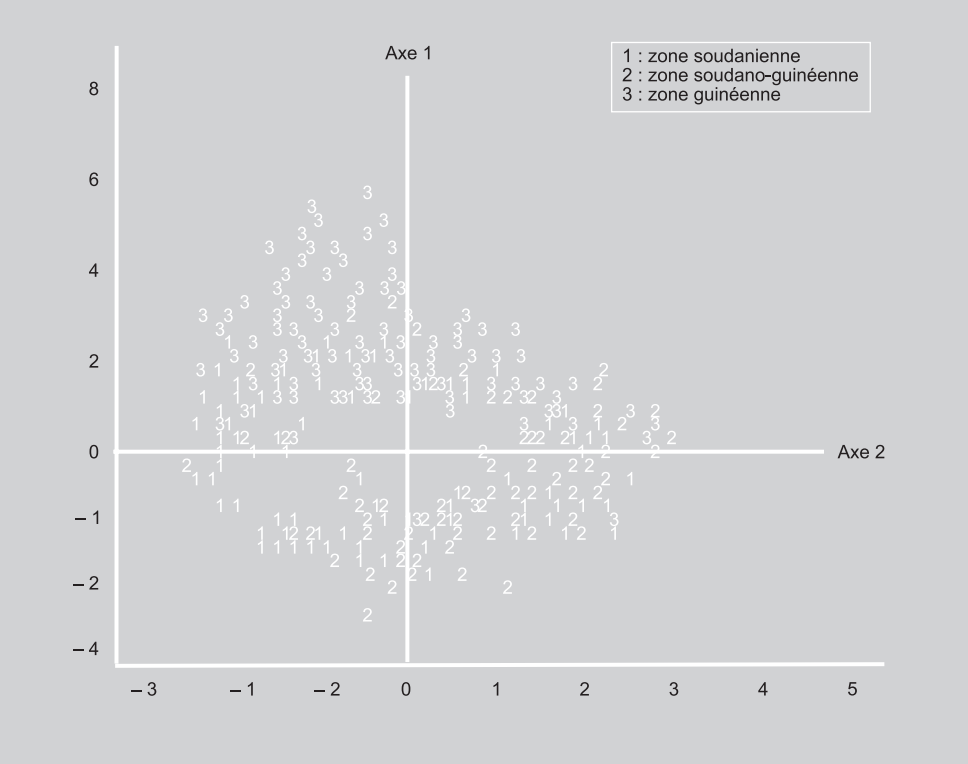

Figure 8.
Distribution de trois zones climatiques prospectées au Bénin, à partir des caractéristiques des capsules de baobabs étudiées dans un système d'axes discriminant : l'axe 1 est corrélé avec les variables poids d'amandes et épaisseur des capsules, tandis que l'axe 2 est lié aux variables longueur des capsules, poids de pulpe, poids total des capsules et rapport [longueur / largeur] des capsules.

Tableau VIII.
Caractéristiques moyennes des capsules de baobabs présentées par zone prospectée au Bénin.

Zone	Longueur[1] (cm)	[Longueur / largeur][1]	Poids pulpe[1] (g)	Poids amande[1] (g)	Poids total capsule[1] (g)	Épaisseur de l'endocarpe[1] (cm)
Soudanienne	16,89^{c} (5,14)	2,01^{c} (0,67)	32,07^{b} (31,18)	23,81^{c} (18,72)	203,86^{b} (137,79)	0,43^{b} (0,07)
Soudano-guinéenne	19,89^{b} (3,96)	2,33^{b} (0,57)	51,61^{a} (27,07)	28,81^{b} (17,44)	273,08^{a} (120,53)	0,43^{b} (0,09)
Guinéenne	20,71^{a} (4,85)	2,46^{a} (0,73)	54,09^{a} (27,59)	37,87^{a} (22,47)	275,63^{a} (125,59)	0,45^{a} (0,15)
Ensemble des 3 zones	19,05 (4,97)	2,25 (0,68)	45,29 (30,45)	29,76 (20,36)	248,78 (132,81)	0,43 (0,11)
F	62,92***	4,18***	22,01*	60,69***	41,30*	22,73*

[1] Moyenne et (écart-type) pour 10 mesures.

Dans une même colonne, les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes.

* Moyenne significative ; *** Moyenne très hautement significative.

baobab. Comme les capsules se sont révélées relativement homogènes sur un même pied de baobab, et qu'elles produisent des quantités de pulpe, graines et amandes significativement différentes d'une forme à l'autre et selon leur région de production, il devrait être possible d'opérer des sélections variétales visant une plus grande production de ces éléments en combinant les caractères recherchés par les paysans.

Tableau IX.
Modélisation de la production moyenne des différents organes présents dans les capsules de baobab suivant trois zones climatiques prospectées au Bénin.

Estimation du nombre de graines par capsule

Zones climatiques	Équation de régression	Écart type résiduel (*S*)	R^2	R^2 ajustement	Probabilité *P*
Soudanienne	$\ln(Ngr) = 6{,}85 - (15{,}8 / L) - (13{,}4 / l) + 1{,}06\ e + 0{,}000953\ Ptc$	0,3300	0,853	0,851	0,0001
Soudano-guinéenne	$\sqrt{Ngr} = -2{,}65 + 0{,}0506\ L - 0{,}0141\ l - 4{,}25\ e + 1{,}05\sqrt{Ptc}$	1,917	0,797	0,795	0,0001
Guinéenne	$\ln(Ngr) = 6{,}41 + 0{,}0243\ L - (13{,}4 / L) - 0{,}865\ e + 0{,}00168\ Ptc$	0,2834	0,767	0,764	0,0001

Estimation du poids d'amande par capsule

Zones climatiques	Équation de régression	Écart type résiduel (*S*)	R^2	R^2 ajustement	Probabilité *P*
Soudanienne	$\sqrt{Pa} = 2{,}48 - (9{,}71 / \sqrt{L}) + 0{,}269\ l + 1{,}39\ e + 0{,}00749\ Ptc$	0,5546	0,909	0,908	0,0001
Soudano-guinéenne	$\sqrt{Pa} = -1{,}46 + 0{,}0165\ L + 0{,}00353\ l - 1{,}08\ e + 0{,}414\ \sqrt{Ptc}$	0,4831	0,907	0,906	0,0001
Guinéenne	$\ln(Pa) = 2{,}45 - (3{,}70 / \sqrt{L}) + 0{,}197\ l + (0{,}396 / \sqrt{e}) - (108 / Ptc)$	0,2212	0,849	0,847	0,0001

Estimation du poids de pulpe par capsule

Zones climatiques	Équation de régression	Écart type résiduel (*S*)	R^2	R^2 ajustement	Probabilité *P*
Soudanienne	$\sqrt{Pp} = -7{,}65 + 0{,}0899\ L + 0{,}758\ l + (2{,}941 / \sqrt{e})$	1,697	0,569	0,565	0,0001
Soudano-guinéenne	$\sqrt{Pp} = -2{,}52 + 0{,}0286\ L + 0{,}00612\ l - 1{,}87\ e + 0{,}717\sqrt{Ptc}$	0,8368	0,907	0,906	0,0001
Guinéenne	$\ln(Pp) = 3{,}27 - (142 / L^2) + 0{,}150\ l - 0{,}952\ e + 0{,}000357\ Ptc$	0,4376	0,438	0,430	0,0001

L = longueur de la capsule ; l = diamètre médian de la capsule ; e = épaisseur de l'endocarpe ; Ptc = poids total de la capsule ; Pgr = poids de graines de la capsule ; Pp = poids de pulpe de la capsule ; Pa = poids des amandes de la capsule; Ngr = nombre de graines de la capsule.

Les formes 2 et 3 des capsules de baobab présentant des caractéristiques intermédiaires entre les capsules de forme 1 et de forme 4 pourraient résulter d'un croisement entre les génotypes responsables de ces formes aux caractéristiques extrêmes. Des études de diversité génétique orientées vers la recherche d'hétérozygotes et évaluant l'importance des flux de gènes s'avèrent donc indispensables pour envisager des stratégies de greffage, de conservation et de domestication des écotypes présentant une valeur supérieure pour les communautés rurales. Des études ethnobotaniques réalisées sur le baobab au Bénin [6] ont déjà montré que les paysans sont intéressés par plusieurs caractères de l'arbre comme le goût de la pulpe, la forme des fruits, le goût des feuilles, etc. Par ailleurs, ils parviennent également à distinguer différents types de baobabs en utilisant leurs propres critères basés sur la couleur de l'écorce, la forme des fruits, le goût de la pulpe et la morphologie de l'arbre [1, 7], sans toutefois être en mesure de combiner adéquatement l'ensemble des traits qualitatifs et quantitatifs qu'ils utilisent pour distinguer avec précision les individus de baobab entre eux [1]. Bien qu'il ait été démontré que les variabilités morphologique et de production observées chez le baobab étaient

principalement liées aux conditions d'environnement et à son habitat [9], il est probable qu'elles soient également liées à une diversité génétique existant au sein des individus. Des études sur le déterminisme génétique des différents caractères morphologiques du baobab se révèlent donc indispensables non seulement pour confirmer si les variations observées sur les capsules sont liées à une diversité génétique intra- ou interpopulation, mais aussi pour entreprendre des stratégies de conservation, de croisement, de greffage et de domestication de l'espèce au profit des producteurs.

D'autres travaux portant sur la caractérisation morphologique des ressources forestières alimentaires ont été également entrepris en Afrique [10–12]. Ainsi, les travaux de Kouyaté et Van Damme [10] sur la caractérisation morphologique de *Detarium microcarpum* au Mali ont montré qu'il existait une variabilité inter populations, portant sur les caractères mesurés chez le fruit, la graine et la feuille. Il en est de même chez *Vitellaria paradoxa* pour lequel Maranz et Wiesman [11] ont observé qu'il existait une variabilité des dimensions des fruits et graines suivant un gradient de climat trouvé dans l'ensemble de la région subsaharienne située au nord de l'équateur. Des travaux entrepris par Soloviev *et al.* [12] sur le baobab au Sénégal ont également montré qu'il existait comme au Bénin des différences significatives de diamètre et de longueur des fruits. Mais ces études de caractérisation morphologique des arbres fruitiers sauvages d'Afrique ont essentiellement porté sur des mesures de dimensions et de poids des fruits et autres produits consommés sur les arbres. Elles n'ont pas établi, comme nous l'avons fait au Bénin, des modèles prédictifs d'estimation ou de quantification des niveaux de productions des organes en fonction des variables morphologiques les plus accessibles.

À l'issue de nos travaux, il est possible de prédire le potentiel de production d'un baobab à partir des données morphométriques de la capsule et à l'aide d'équations de régression multiple ou simple. Il s'agira donc pour les développeurs, forestiers et autres agents de développement de vulgariser ces modèles à l'échelle des cultivateurs afin de leur permettre d'estimer beaucoup plus aisément le potentiel économique que représentent les individus de baobab dans les systèmes agroforestiers traditionnels qu'ils exploitent.

Remerciements

Nous remercions l'Académie africaine des sciences (AAS), le réseau *African Forest Research Network* (AFORNET) et leurs donateurs pour avoir soutenu financièrement nos travaux. Nos remerciements vont également au Dr. Romain K. Glele pour sa collaboration lors des analyses biométriques.

Références

[1] Sidibe M., Williams J.T., Baobab. *Adansonia digitata*, Int. Cent. Underutil. Crop., Southampton, UK, 2002.

[2] Barminas J.T., Carles M., Emmanuel D., Mineral composition of non-conventional leafy vegetables, Plant Foods Hum. Nutr. 53 (1) (1998) 29–36.

[3] Igboeli L.C., Addy E.O.H., Salami L.I., Effects of some processing techniques on the antinutrient contents of baobab seeds (*Adansonia digitata*), Bioresource Technol. 59 (1) (1997) 29–31.

[4] Yazzie D., VanderJagt D.J., Pastuszyn A., Okolo A., Glew R.H., The amino acid and mineral content of baobab (*Adansonia digitata* L.) leaves, J. Food Compos. Anal. 7 (3) (1994) 189–193.

[5] Baumer M., Arbres, arbustes et arbrisseaux nourriciers en Afrique occidentale, Ed. Enda, Dakar, Sénégal, 1995.

[6] Codjia J.T.C., Fonton-Kiki B., Assogbadjo A.E., Ekué M.R.M., Le baobab (*Adansonia digitata*), une espèce à usage multiple au Bénin, CECODI/CBDD/Veco/SNV/FSA, Bénin, 2000.

[7] Codjia J.T.C, Assogbadjo A.E., Ekué M.R.M., Diversité et valorisation au niveau local des ressources forestières alimentaires végétales du Bénin, Cah. Agric. 12 (2003) 321–331.

[8] Wickens G.E., The baobab – Africa's upside-down tree, Kew Bull. 37 (1982) 173–209.

[9] Assogbadjo A.E., Sinsin B., Codjia J.T.C., Van Damme P., Ecological diversity and pulp, seed and kernel production of the baobab (*Adansonia digitata*) in Benin, Belg. J. Bot. 138 (1) (2005), in press.

[10] Kouyaté A.M., Van Damme P., Caractères morphologiques de *Detarium microcarpum* Guill. et Perr. au sud du Mali, Fruits 57 (2002) 231–238.

[11] Maranz S., Wiesman Z., Evidence for indigenous selection and distribution of the shea tree, *Vitellaria paradoxa*, and its potential significance to prevailing parkland savanna tree patterns in sub-Saharian Africa, north of the equator, J. Biogeogr. 30 (2003) 1505–1516.

[12] Soloviev P., Niang T.D., Gaye A., Totte A., Variabilité des caractères physico-chimiques des fruits de trois espèces ligneuses de cueillette, récoltés au Sénégal : *Adansonia digitata*, *Balanites aegyptiaca* et *Tamarindus indica*, Fruits 59 (2004) 109–119.

Caracteres morfológicos y producción de cápsulas de baobab (*Adansonia digitata* L.) en Benín.

Resumen — Introducción. *Adansonia digitata* L. es una especie de usos múltiples en África y que presenta una fuerte variabilidad morfológica. Nuestros trabajos pretendieron caracterizar y medir esta variabilidad morfológica en distintas zonas climáticas prospectadas, y a continuación construir modelos presupuestos de variables de producción a partir de los caracteres de la cápsula. **Material y métodos**. Los análisis se refirieron a una caracterización biométrica de 1200 cápsulas clasificadas en cuatro formas distintas distribuidas, a su vez, en el conjunto de tres zonas climáticas. Estos datos fueron completados por una evaluación y una modelización de sus producciones. **Resultados y discusión**. Las variables más discriminantes de la forma de las cápsulas de baobab y de las zonas climáticas prospectadas fueron la longitud de la cápsula, el peso de la pulpa, el peso total de la cápsula, el peso de la almendra, el grosor de la cápsula y la relación [longitud / anchura]. De media, una cápsula pesa 275 g en zona guineana, 273 g en zona sudano-guineana y 204 g en zona sudaní; en cada una de estas zonas produce 54 g, 51 g y 32 g de pulpa, así como 37 g, 28 g y 23 g de almendra. Las producciones medias de las semillas, almendras y pulpas se modelaron y se ajustaron a funciones de raíz cuadrada y / o a funciones logarítmicas, según las distintas zonas climáticas. **Conclusión**. Las variables morfométricas permitieron no sólo hacer una tipología bastante precisa de las distintas formas de las cápsulas, sino que también permitieron estimar su producción a partir de modelos presupuestos. La variabilidad de la producción de las cápsulas de baobab según las distintas zonas climáticas podría ser un parámetro útil para una mejora genética de la especie, que responde a las necesidades y a los medios de las poblaciones del campo.

Benin / *Adansonia digitata* / frutas / morfología vegetal / características agronómicas / zonas climíticas