ESI Preprints **Not Peer-reviewed**

Diversité morphologique des fruits et discrimination d'écotypes potentiels de *Hyphaene thebaica* dans la vallée de Goulbi N'Kabba (Maradi, Niger)

Ibrahim Adamou, Doctorant
Ecole Doctorale Pluridisciplinaire de l'Université Djibo Hamani de Tahoua
Oumarou Hama
Faculté des Sciences Agronomiques,
Université Djibo Hamani de Tahoua, Tahoua, Niger
Cristina Crespo Bastias
Rafael Villar
Área de Ecología, Universidad de Córdoba, Edificio Celestino Mutis,
Campus de Rabanales, Córdoba, Spain

Approved: 09 November 2026
Posted: 11 November 2026

Copyright 2026 Author(s)
Under Creative Commons CC-BY 4.0
OPEN ACCESS

Cite As:
Adamou, I., Hama, O., Crespo Bastias, C., & Villar, R. (2026). *Diversité morphologique des fruits et discrimination d'écotypes potentiels de Hyphaene thebaica dans la vallée de Goulbi N'Kabba (Maradi, Niger)*. ESI Preprints. https://doi.org/10.19044/esipreprint.11.2026.p345

Résumé

Espèce emblématique du paysage agricole sahélien, le palmier doum (*Hyphaene thebaica* Mart.) est largement réparti dans les zones agroécologiques du Niger, où il structure les paysages et diversifie les moyens d'existence des populations locales. Malgré son importance écologique et socio-économique, les connaissances scientifiques sur sa diversité intraspécifique demeurent limitées. Les travaux existants sur cette espèce portent surtout sur l'ethnobotanique, l'écologie de l'espèce et les pratiques des exploitants, tandis que l'évaluation intégrée de la variabilité morphologique et biochimique des fruits reste embryonnaire à l'échelle locale et régionale. C'est dans ce contexte que la présente étude a caractérisé la variabilité morphologique des fruits de *H. thebaica* afin d'identifier les morphotypes présents dans la vallée de Goulbi N'Kabba (Maradi, Niger oriental). Pour ce faire, un échantillon de onze (11) morphotypes a été identifié sur la base de l'homogénéité relative de leur forme et de leur volume dans trois centres de collecte proches de cette vallée. Pour chaque

morphotype, cinq pieds-mères distants d'au moins 50 m ont été identifiés ; sur chaque pied mère, cinq fruits sont aléatoirement récoltés, soit un échantillon total de 275 fruits. Sur chaque fruit, sept variables ont été mesurées — longueur, largeur, poids total, poids du mésocarpe, de la coque et du noyau, ainsi que le volume — puis compilées dans Excel et analysées avec le logiciel Past 4.0 (tests de Kruskal-Wallis, Mann-Whitney, Duncan/Tukey, et analyse multivariée ACP + CAH). L'ACP résume 75.7 % de la variance sur les deux premiers axes, et toutes les variables discriminent significativement les morphotypes (ANOVA, $p < 10^{-7}$), le poids du noyau ($F = 58,3$) suivi du volume ($F = 53,6$) sont les descripteurs morphométriques le plus discriminant ; la CAH (Ward) confirme une structure globalement cohérente avec cette typologie, bien que l'accord optimal (ARI = 0,49) soit atteint autour de neuf groupes, certains morphotypes voisins restant morphologiquement proches. Ces résultats, statistiquement bien fondés sur le plan univarié et globalement soutenus par l'analyse multivariée, mettent en évidence une diversité morphologique constituant un atout pour la sélection, la domestication et la valorisation durable de cette espèce, dont le rôle socio-économique pour les communautés rurales n'est plus à démontrer.

Mots-clés : *Hyphaene thebaica*, morphotypes, variabilité morphologique des fruits, Niger

Morphological Diversity of Fruits and Discrimination of Potential Ecotypes of *Hyphaene thebaica* in the Goulbi N'Kabba Valley (Maradi, Niger)

Ibrahim Adamou, PhD student
Multidisciplinary Doctoral School of Djibo Hamani University, Tahoua
Oumarou Hama
Faculty of Agricultural Sciences,
Djibo Hamani University of Tahoua, Tahoua, Niger
Cristina Crespo Bastias
Rafael Villar
Department of Ecology, University of Córdoba,
Celestino Mutis Building, Rabanales Campus, Córdoba, Spain

Abstract

An emblematic species of the Sahelian agricultural landscape, the doum palm (Hyphaene thebaica Mart.) is widely distributed across Niger's agroecological zones, where it structures landscapes and diversifies local populations' livelihoods. Despite its ecological and socio-economic importance, scientific knowledge of its intraspecific diversity remains limited. Existing work on this species has mostly focused on ethnobotany, species ecology, and harvesters' practices, while integrated assessment of the morphological and biochemical variability of its fruits remains at an early stage at the local and regional levels. It is against this backdrop that the present study characterized the morphological variability of H. thebaica fruits in order to identify the morphotypes present in the Goulbi N'Kabba valley (Maradi, eastern Niger). A sample of eleven morphotypes was identified on the basis of the relative homogeneity of their shape and volume at three collection sites near this valley. For each morphotype, five mother trees at least 50 m apart were identified; from each mother tree, five fruits were randomly harvested, for a total sample of 275 fruits. On each fruit, seven variables were measured — length, width, total weight, mesocarp weight, shell weight, kernel weight, and volume — then compiled in Excel and analyzed using Past 4.0 software (Kruskal-Wallis, Mann-Whitney, and Duncan/Tukey tests, and multivariate analysis: PCA + HCA). PCA accounted for 75.7% of the variance on the first two axes, and all variables significantly discriminated between morphotypes (ANOVA, $p < 10^{-7}$), with kernel weight ($F = 58.3$) followed by volume ($F = 53.6$) being the most discriminating morphometric descriptors; HCA (Ward's method) confirmed a structure broadly consistent with this typology, although the optimal

agreement (ARI = 0.49) was reached around nine groups, with some neighboring morphotypes remaining morphologically close. These results, statistically well founded at the univaria.

Keywords: *Hyphaene thebaica*, morphological variability of fruits, Sahel, Niger

Introduction

Les espèces ligneuses pérennes constituent un pilier fondamental des moyens d'existence ruraux et du fonctionnement des écosystèmes en Afrique subsaharienne, en particulier dans la zone sahélienne, où la variabilité climatique, la dégradation des terres et la pression démographique limitent de plus en plus les systèmes de production agricole. Les arbres fournissent de multiples services écosystémiques, notamment l'approvisionnement en aliments et en fourrage, la médecine traditionnelle, la génération de revenus, le maintien de la fertilité des sols et la régulation du climat, contribuant ainsi de manière significative à la résilience des ménages et à la durabilité des systèmes d'utilisation des terres (Larwanou *et al.*, 2010 ; Dan Guimbo, 2011 ; Alhassane *et al.*, 2018). Dans ces environnements fragiles, la conservation et la valorisation des espèces ligneuses indigènes multifonctionnelles sont de plus en plus reconnues comme des leviers stratégiques pour l'adaptation au changement climatique, la conservation de la biodiversité et le renforcement de la sécurité alimentaire.

Parmi ces espèces, *Hyphaene thebaica* Mart. (Palmier doum) représente une ressource agro-forestière non ligneuse clé mais encore insuffisamment valorisée au Sahel. Bien que de morphologie relativement modeste, ce palmier dioïque présente une remarquable plasticité écologique et une importance socio-économique notable. Ses feuilles, fruits, stipe et racines sont largement utilisés dans l'artisanat, l'alimentation humaine et animale, la pharmacopée traditionnelle, la construction de l'habitat et la protection de l'environnement (Chevalier, 1938 ; Giffard, 1966 ; ORSTOM, 1993 ; Peltier *et al.*, 2008 ; Orwa *et al.*, 2009 ; Boubacar, 2010 ; Dan Lamso *et al.*, 2015 ; Makalao *et al.*, 2015 ; Reda, 2015 ; Ousmaila *et al.*, 2018 ; Kiari *et al.*, 2022 ; Alkali *et al.*, 2022).

Au Niger, *H. thebaica* est largement réparti dans l'ensemble des zones agroécologiques, où il contribue à la structuration des paysages et à la diversification des moyens d'existence. Cependant, malgré son importance écologique et socio-économique, les connaissances scientifiques relatives à la diversité intraspécifique restent limitées, notamment au Niger. La plupart des travaux existants ont porté sur les aspects ethnobotaniques, l'écologie de l'espèce ou sur les caractéristiques des exploitants des palmes, tandis que les recherches sur les évaluations intégrées de la variabilité morphologique et

biochimique des fruits à l'échelle locale ou régionale restent au stade embryonnaire.

Au Niger, et plus particulièrement dans la bande Sud de la région de Maradi, aucune étude n'a jusqu'à présent porté sur l'analyse systématique de la diversité morphologique et chimique des fruits de *H. thebaica*. Pourtant, les perceptions des populations locales indiquent l'existence de différences notables entre individus, tant au niveau du volume, de la forme et de la texture que des qualités organoleptiques des fruits. Ceci suggère alors l'existence de plusieurs morphotypes distincts façonnés à la fois par la différenciation génétique et l'hétérogénéité environnementale.

La caractérisation des traits morphologiques et physico-chimiques des fruits est largement reconnue comme une approche pertinente pour l'évaluation de la diversité phénotypique et l'identification des morphotypes au sein des espèces pérennes, en particulier dans des environnements contrastés (Dosba *et al.*, 1998). En effet, les traits du fruit reflètent non seulement les réponses adaptatives aux contraintes écologiques locales, mais conditionnent également la qualité nutritionnelle, les préférences des consommateurs et le potentiel de valorisation économique. Ainsi, la compréhension de l'ampleur et de la structuration de la variabilité des fruits de *H. thebaica* constitue un préalable essentiel aux programmes de domestication, d'amélioration génétique et de gestion durable de l'espèce (Kouyaté, 2005 ; Diouf, 2019).

Par ailleurs, les populations de *H. thebaica* sont aujourd'hui soumises à une pression anthropique croissante liée à la surexploitation des fruits et des feuilles, aux changements d'usage des terres et à la faiblesse de la régénération naturelle, ce qui soulève de sérieuses préoccupations quant à leur conservation à long terme (Peltier *et al.*, 2008 ; Boubacar, 2010 ; Moussa *et al.*, 2020). Dans ce contexte, la documentation de la diversité existante et l'identification des morphotypes performants constituent des étapes indispensables à l'élaboration des plans de stratégies efficaces de conservation (*in situ* et *ex situ*) et à l'intégration de l'espèce dans les systèmes agroforestiers et les programmes de développement rural.

La présente étude vise à combler cette lacune en proposant une caractérisation morphologique approfondie des morphotypes de *Hyphaene thebaica* présents dans la vallée du Goulbi N'kaba de Maradi, au Niger oriental. Plus spécifiquement, elle cherche à (i) quantifier la variabilité morphologique des fruits entre individus, (ii) identifier les descripteurs discriminants associés à une différenciation écotypique potentielle, et (iii) fournir des données de référence susceptibles de soutenir de futures initiatives de domestication, de conservation et d'amélioration génétique de cette espèce encore sous-exploitée.

Matériel et Méthodes

Zone d'étude

L'étude a été conduite dans le terroir villageois de Yataoua, situé dans la commune de Tessaoua, en région de Maradi, au Niger oriental, à environ 12 km au Sud de la ville de Tessaoua, le long de la route nationale RN1. Ce village est limité à l'Est par les villages de Eddawa et Gorga, à l'Ouest par Waylazane, au Nord par Takassaba et au Sud par Dan Sa'a, et se situe aux coordonnées géographiques 13°40'31" de latitude Nord et 7°56'49" de longitude Est. Il est par ailleurs traversé par l'un des trois sous-bassins du Goulbi N'Kaba, dont la source se trouve au Nigeria et qui rejoint le Goulbi principal au niveau de Kanan Bakaché, au Niger (Ali *et al.*, 2021). Le terroir de Yataoua se distingue par un important peuplement naturel de *Hyphaene thebaica*, ainsi que par l'alignement de plus de cinq mille (5000) pieds d'*Azadirachta indica* plantés le long de la RN1 à l'initiative de feu Elhadj Dan Ankara.

Le choix de ce site repose sur trois critères principaux : l'existence d'un peuplement ancien et dense de *Hyphaene thebaica*, la présence de parcelles privées protégées par des haies, favorisant une gestion durable des ressources ligneuses, et l'accessibilité sécurisée du site dans un contexte régional marqué par l'insécurité. Dans ces parcelles, localement appelées « jardins » en raison de l'activité maraîchère intense qui s'y déroule en saison sèche, l'exploitation des fruits et du bois de service est strictement contrôlée par les propriétaires, ce qui permet aux fruits de rester sur les pieds-mères jusqu'à un stade de maturité avancée. À l'inverse, dans les champs et les aires de pâturage, l'accès aux fruits est libre, si bien qu'ils sont généralement récoltés dans leur intégralité dès le stade de maturité physiologique. Cette différence de mode de gestion offre ainsi un cadre propice à l'étude de la variabilité morphologique et chimique des fruits.



Carte de la zone d'étude : Capture d'écran d'image google earth et traitement avec le logiciel Paint d'office

Matériel biologique

Hyphaene thebaica Mart. est une espèce dioïque appartenant à la famille des Arecaceae (Arbonnier, 2000). Il s'agit d'un palmier monocotylédone (CIRAD, 2009), poussant généralement en touffe sur des sols sableux à sablo-argileux, à partir de laquelle se développent un ou plusieurs stipes. En milieu non anthropisé, l'espèce conserve l'ensemble de ses palmes, prenant une forme buissonnante de grande taille (Photo N°1). En milieu anthropisé, les palmes sénescentes sont régulièrement élaguées, conférant à l'arbre une architecture dichotomique caractéristique, souvent en forme de « Y » (Fletcher, 1997). Généralement, les extrémités du premier « Y » se transforment symétriquement en « Y » secondaires (photo N°2). L'extrémité des ramifications porte un bouquet terminal de feuilles palmées (Parkan, 1973 ; Jahiel, 1993). Un individu adulte peut atteindre 12 à 20 m de hauteur pour un diamètre d'environ 40 cm. Les fruits, communément appelés noix de doum, sont ovoïdes à subglobuleux (Arbonnier, 2000), de taille comparable à celle d'une pomme (Reda A. Aamer, 2015).



Photo 1 : Hyphaene thebaica dans un milieu non anthropisé



Photo 2 : Hyphaene thebaica dans un milieu anthropisé

Méthodes d'étude

Identification et sélection des morphotypes

Une phase exploratoire basée sur des **entretiens semi-ouverts** et des échanges avec les exploitants locaux a permis d'identifier plusieurs types de fruits différenciés selon leur morphologie et leur goût. Ainsi, à l'issue du tri, **onze (11) morphotypes** distincts ont été retenus. Les arbres adultes porteurs de ces morphotypes ont été localisés et repérés dans des jardins privés. Les critères de discrimination initiaux incluaient la forme, le volume, la saveur des fruits et la morphologie du point d'insertion des fruits sur la grappe.

Chaque morphotype a été étiqueté et encodé sur le terrain à l'aide d'un marqueur indélébile. Pour chaque morphotype, les fruits de cinq individus distants d'au moins 50 m ont été collectés. Sur chaque arbre, **cinq fruits (5)** ont été aléatoirement récoltés, soit **vingt-cinq (25) fruits par morphotype** et un total de **deux cent soixante-quinze** (**275) fruits** pour les onze morphotypes.

Analyse morphologique

Les descripteurs morphologiques analysés ont concerné la **longueur, la largeur, le poids et le volume des fruits (photos a ; b ; c et d)**. Pour ce faire, les dimensions ont été mesurées à l'aide d'un **pied à coulisse digital**. La longueur correspond au diamètre polaire, tandis que la largeur est la moyenne de deux diamètres équatoriaux perpendiculaires. Les poids ont été mesurés à l'aide d'une **balance numérique de précision (±0,001 g).** Le fruit étant de forme ellipsoïdale, les volumes ont été calculés selon la formule : $V = \frac{4}{3}\pi R^3$ avec

$$R = \frac{Moyenne\ de\ mesure\ de\ la\ longueur\ et\ de\ la\ largeur}{2}$$

Les volumes du noyau et de la cavité interne ont été déterminés par la méthode de déplacement de fluide (principe d'Archimède). Le volume de la cavité interne du noyau est déterminé en faisant la différence entre le volume du noyau intact et le volume du noyau cassé. Le volume du noyau cassé est déterminé, également, par la méthode de déplacement de fluide. Le noyau cassé est entièrement immergé dans l'eau contenue dans une éprouvette graduée pouvant contenir 250 ml de liquide. Ce volume correspond à la différence entre le volume initial (V_0) de l'eau et le volume final (V_f = eau) : $V = V_0 - V_f$. Le noyau du fruit est cassé à l'aide d'un sécateur de taille moyenne (75 cm approximativement). L'ouverture des coques des fruits pour extraire le noyau a été faite à l'aide d'une scie métallique.

Analyses statistiques

Les données ont été saisies à l'aide du logiciel Excel puis analysées avec le logiciel PAST 4.01. Étant donné la non-normalité des distributions, des tests non paramétriques ont été réalisés. Ainsi, le test de Kruskal–Wallis a permis de comparer les médianes entre morphotypes ; le test de Mann–Whitney, par paires, pour identifier les différences spécifiques et le test de Duncan/Tukey pour marquer ces différences. Le seuil de signification a été fixé à $p < 0,05$. En effet, si le coefficient de variation est compris entre 0-10 %, la variation est faible ; s'il est compris entre 10-15 %, la variation est moyenne ; s'il est compris entre 15 et 44 %, la variation est assez importante et s'il est supérieur à 44 %, la variation est importante (*Paul et al., 2019,* Ouédraogo, 1995).



Photo 3 : Mésure de la longueur (a) ; de la largeur d'un fruit (b) ; du poids (c) et volume du noyau (d)

Résultats

Description morphologique des fruits de *Hyphaene thebaica*

Dans une grappe de fruits de *H. thebaica*, trois types de fruits ont été rencontrés. Il s'agit des fruits drupes (photo N°4 (a)), des fruits gémellaires (photo N°11) et des fruits à deux noyaux (photo N°12). La présente étude s'est limitée aux fruits drupes, afin de réduire l'hétérogénéité morphologique. Les fruits de *Hyphaene thebaica*, communément appelés doum, ont une couleur grisâtre présentant une organisation morphologique bien différenciée et constante, composée de cinq parties bien distinctes, à savoir l'épicarpe, le mésocarpe, l'endocarpe (coque), le tégument et la semence (noyau).

Épicarpe

L'épicarpe est la couche externe lisse, dure, de couleur variant entre brun foncé au brun clair ou brun-orangé généralement parsemé de petits points pourpres. Son épaisseur, extrêmement réduite, est comparable à celle d'un cheveu. Elle est intimement collée à la partie supérieure du mésocarpe, ce qui rend difficile la séparation de deux parties sans altération du dernier. Dans l'utilisation quotidienne, aucun morphotype n'a présenté de variation notable de l'épaisseur de l'épicarpe. Mais, sur le plan chimique, cette partie fait l'objet d'une extraction minutieuse lors de la commercialisation et transformation des fruits de certains morphotypes afin d'améliorer leur goût sucré (photo N° 4 (d)).

Mésocarpe

Le mésocarpe représente la partie charnue et généralement juteuse du fruit. Sa saveur varie significativement selon les morphotypes, allant du

sucrée à âpre. Les morphotypes à mésocarpe sucré sont les plus recherchés par les populations locales, indépendamment de l'âge ou du sexe des consommateurs. Après extraction du jus par mastication directe ou par infusion, un résidu fibreux est souvent rejeté en fonction de la recette. Pour un même morphotype, l'importance de cette fraction fibreuse est inversement proportionnelle à la teneur en eau du fruit. Une fois sec, les deux premières parties du fruit sont généralement adoucis par quelques coups de marteau afin de faciliter les masticages ou carrément décapées de la coque (photo N°4 (b)) et /ou broyées puis conditionnées dans des sachets plastiques (photo N°4 (c)) pour un usage plus pratique.

Endocarpe (coque)

L'endocarpe est une structure lignifiée très dure, de couleur kaki à l'extérieur (photo N°5 (a)) et pourpre à l'intérieur (photo N°5 (b)). La face externe, en contact avec le mésocarpe, est relativement rugueuse et parcourue de fibres longitudinales reliant le sommet à la base du fruit, tandis que la face interne, en contact avec la semence, est lisse. Cette dureté confère une protection mécanique efficace à la semence. Les méthodes d'extraction du noyau varient selon l'objectif et la teneur en eau du fruit : l'utilisation d'un coupe-coupe est privilégiée pour les fruits frais, tandis qu'une scie métallique est plus adaptée pour les fruits secs surtout ceux destinés à la reproduction.

Tégument

Le tégument est une fine membrane pourpre qui recouvre le noyau. Son adhérence au noyau dépend du stade physiologique de récolte du fruit. À maturité totale, elle est intimement collée à la semence (noyau) tandis qu'à la maturité physiologique, cette membrane est facilement détachable. A l'état frais, elle est décapée du noyau par simple épluchage avec une cuillère à soupe et à l'état sec par des légers coups de marteau. A l'état sec, les téguments provenant des fruits à maturité physiologique sont collectés (photo N°10), broyés et utilisés comme complément alimentaire dans le cadre de traitement des maladies localement regroupées sous le vocable d'hémorroïde.

Semence (noyau)

La semence est située au centre du fruit et est très bien protégée par l'endocarpe (coque). Le noyau, siège du pouvoir germinatif, est principalement constitué de trois parties bien distinctes, à savoir l'albumen corné de couleur blanchâtre qualifié d'ivoire végétal, qui constitue les réserves nourricières des plantules (Reda, 2015 ; Chevallier, 1932), une cavité centrale uniformément englobée par l'albumen et le germe qui a une

taille comparable à une graine de mil (*Pennisetum glaucum*), localisé dans la partie basale du fruit, en position diamétralement opposée au point d'attache au pédoncule.

À la maturité physiologique ; à l'état frais, cette cavité du noyau est remplie d'un liquide clair au goût sucré ; à l'état sec, cette cavité vidée de son eau, s'affaisse et devient plat, donnant naissance au produit localement appelé *« tagodaré » ou* « *togodaray* » *(*photo N°9) ; ce produit, considéré comme amuse-gueule, est très apprécié par la population locale sans distinction d'âge ou de sexe (Kahn & Luxereau, 2008). À maturité totale, le noyau conservant sa forme ellipsoïde, s'épaissit, se durcit et devient non apprécié pour la consommation humaine et même animale, car la chair contenant maintenant peu de réserves glucidiques devient très dure et difficile à mastiquer. L'embryon, avec une taille comparable à celle d'une graine du mil (*Pennisetum glaucum*), se situe sur la partie basale du fruit ou la partie diamétralement opposée au point pédoncule.

Variabilité morphologique des fruits selon les morphotypes : Les résultats des mesures morphométriques (longueur, largeur, poids et volume) des fruits de *Hyphaene thebaica* par morphotype sont présentés dans le Tableau ci-dessous. L'analyse descriptive révèle une forte variabilité inter-écotypique pour l'ensemble des paramètres étudiés. Les coefficients de variation (CV), pour certains caractères présentent une variation faible à moyenne (CV ≤ 15 %) tandis que d'autres affichent une variation assez importante à importante (CV ≥ 15 %), traduisant ainsi une hétérogénéité morphologique marquée entre morphotypes (Ouédraogo, 1995 ; Paul Diouf *et al.*, 2019) recensés dans la zone d'étude.

Poids des fruits : L'analyse statistique des moyennes des poids de fruits classe les onze (11) morphotypes en six (6) groupes significativement différents les uns des autres. La probabilité inter-spécimen est de 1,885E-44. Les trois (3) spécimens les plus lourds sont les spécimens N°5, N°3 et N°6. Ils sont, également, statistiquement différents entre eux et entre les autres. Leurs poids moyens respectifs sont de 60,18 g, 54,33 g et 48,28 g. Le 6ème groupe ou le groupe des spécimens qui ont les plus faibles moyennes est composé de deux (2) éléments, à savoir les spécimens N°2 et N°11 ; leurs poids moyens sont respectivement de l'ordre de 35,74 g et 36,38 g. L'histogramme N°1 montre l'évolution des moyennes au niveau de chaque spécimen. Un seul spécimen a enregistré une variation intra-spécimen moyenne (spécimen N°5) ; pour les restes, les variations sont faibles (CV<10). Les variations les plus importantes sont obtenues au niveau des spécimens N°5, N°3 et N°4 avec un CV respectif égal à 14,66 ; 8,13 et 7,7%. Les plus faibles CV sont obtenus au niveau des spécimens N°1, N°2 et N°9, respectivement égal à 0,64 ; 1,65 et 4%.

Dimensions (longueur et largeur) : L'analyse des moyennes des longueurs et largeurs classe les fruits en 4 groupes bien distincts. Les meilleures moyennes ont été enregistrées au niveau du morphotype N°5 et les plus faibles, au niveau du morphotype N°11. Ces moyennes varient entre 51,29 et 76,16 mm pour la longueur (Fig.7) et entre 43,85 et 57,98 mm pour la largeur (Fig.8).

Le rapport moyen longueur/largeur des doums varie de 1,05 à 1,31, indiquant que les fruits étudiés sont globalement subglobuleux à légèrement ellipsoïdes. La variabilité intra-morphotype est faible (CV = 2,72–5,83 %), suggérant ainsi une homogénéité morphologique au sein des fruits d'un même morphotype. L'analyse statistique des moyennes entre morphotypes a révélé des différences hautement significatives ($p = 3{,}68 \times 10^{-5}$), confirmant ainsi que la forme des fruits constitue un critère discriminant entre morphotypes. L'évolution des rapports longueur/largeur par morphotype est illustrée dans l'histogramme N°5.

Les morphotypes présentant des rapports plus élevés (fruits plus allongés) peuvent être préférés pour certaines utilisations alimentaires ou artisanales, tandis que les fruits plus subglobuleux pourraient présenter un meilleur rendement en mésocarpe ou en noyau, ce qui peut être préférable ainsi dans la cadre de la régénération des peuplements.

Volume des fruits : L'analyse statistique des données portant sur le volume des noix de doums classe les onze (11) morphotypes en 4 groupes statistiquement différents. Les meilleurs résultats ont été enregistrés au niveau de morphotype N°3 et N°5et les moyennes les plus faibles ont été enregistrées au niveau des morphotypes N°2 et N°11. Ces volumes moyens varient entre 138 et 52 mm^3. Les coefficients de variation intra-morphotype sont faibles, excepté le morphotype N°8 (cv 16,68%), où elle est moyenne. L'histogramme N°5 montre l'évolution des moyennes au niveau de chaque morphotype. Ainsi, il ressort que le volume des fruits suit globalement la même tendance que le poids, avec une variabilité inter-morphotype significative. Les morphotypes à grand volume présentent généralement un rapport longueur/largeur plus élevé, ce qui pourrait constituer un critère discriminant pertinent pour l'identification des morphotypes.

Contribution du mésocarpe au poids total des fruits : La part du mésocarpe dans le poids total des fruits varie de 22,72 % à 38,98 % selon le morphotype. L'analyse statistique classe les onze (11) morphotypes en quatre (4) groupes significativement différents. Le morphotype N°11 présente la plus grande proportion de contribution du mésocarpe (38,98 %) au poids total du fruit et la plus faible proportion (22,72 %) fut enregistrée au niveau du morphotype N°1. La variation intra-morphotype est faible (CV = 0,12–4,66 %), ce qui montre une constance morphologique au sein de chaque morphotype. L'évolution de la contribution du mésocarpe au poids total du

fruit par morphotype est présentée dans l'histogramme N°2. Les morphotypes à mésocarpe plus important peuvent être priorisés dans les programmes de sélection alimentaire ou de valorisation agro-industrielle.

Contribution de l'endocarpe (coque) au poids des fruits : La proportion de la coque dans le poids total varie de 28,43 % à 43,22 %. Les meilleurs résultats sont enregistrés au niveau du le morphotype N°4 (43,22 %) et les plus faibles au niveau du morphotype N°11(28,43 %). En bref, l'analyse statistique a classé les onze (11) morphotypes en six (6) groupes distincts à savoir ; (i) le groupe N°1 formé par les morphotype N°3 et 4 ; (ii) le groupe N°2 formé par les morphotypes N°1, N°8 et N°10, (iii) le groupe N°3 formé par les morphotypes N°5 et N°9; (iv) le groupe N°4 formé par le morphotype N°7 , (v) le groupe N°5 formé par les morphotypes N°2 et N°6 et en fin (vi) le groupe N°6 formé par les morphotypes N°11. La variabilité intra-morphotype reste faible (CV = 0,53–6,22 %). L'évolution des moyennes par morphotype est illustrée dans l'histogramme N°3. Ainsi, la coque plus épaisse peut conférer une meilleure protection au noyau contre les intempéries et les attaques des prédateurs. Ce critère peut être un élément important dans la sélection des morphotypes à promouvoir pour la consommation humaine, la transformation artisanale et industrielle telle que la fabrication du charbon actif utilisé pour le traitement des eaux des rejets industriels.



Photo 4 : (a) fruit intacte ; (b) mésocarpe décapé du fruit ; (c) : fruit sans épicarpe ; (d) : mésocarpe broyé et mouli



Photo 5: Face externe du coque



Photo 6: face interne du coque



Photo 7: Semence (noyau)



Photo 7 : Noyau vu interne **Photo 8 :** Koloji **Photo 9 :** Tagodaré **Photo 10 :** Tégument

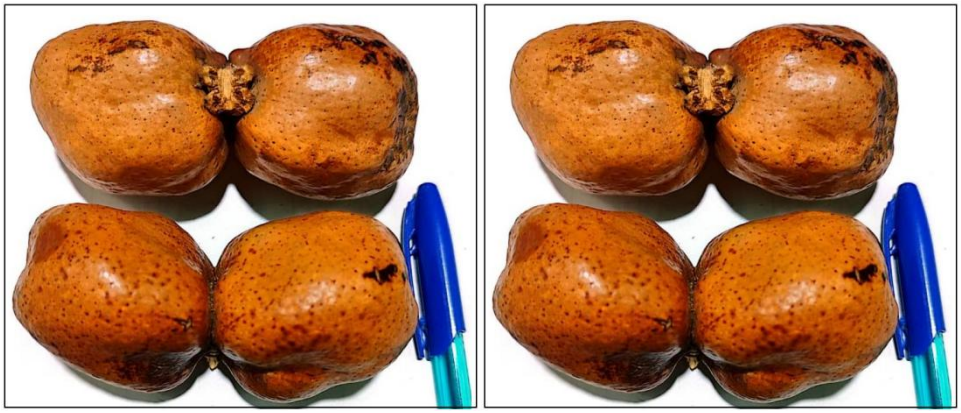


Photo 11 : Fruits gémellaires **Photo 12 :** Fruit à 2 noyaux

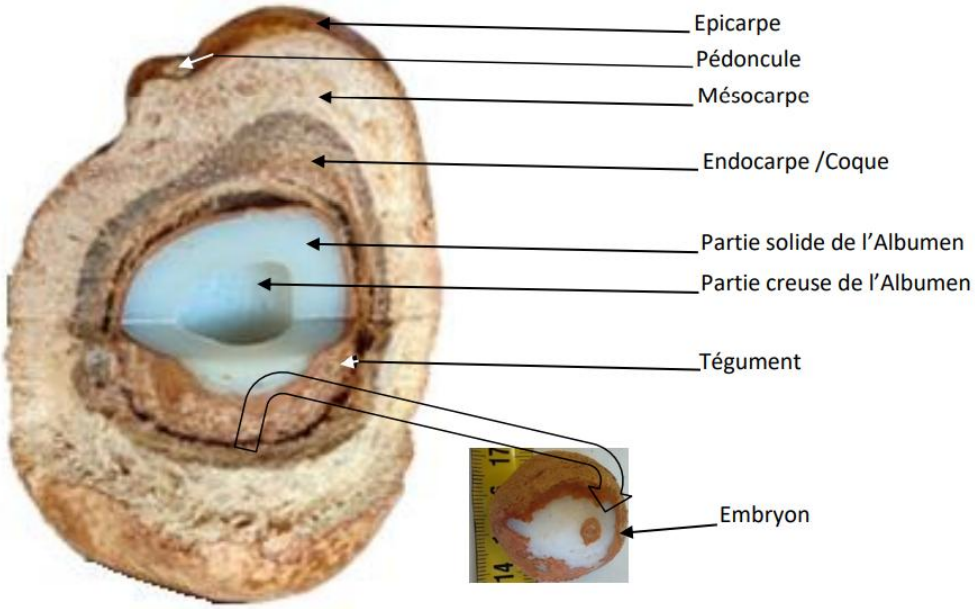


Photo 13: Présentation d'une noix du palmier doum

Contribution du noyau au poids total des fruits : La proportion du noyau varie de 28,47 % à 42,12 %, avec une classification des onze (11) morphotypes en quatre (4) groupes significativement différents (histogramme N°4). Les trois morphotypes présentant la plus grosse contribution du noyau au poids total du fruit sont les suivants : N°7, N°6 et N°9. Les deux premiers ne sont pas significativement différents. Les variations intra-morphotype sont très faibles (CV = 0,45–9,02 %).

Densité du mésocarpe : La densité du mésocarpe varie significativement entre morphotypes : (i) le morphotype N°11 présente le mésocarpe le plus dense et le plus dur (0,59 g/cm³) ; (ii) le morphotype N°5 présente le mésocarpe le moins dense et le plus tendre (0,23 g/cm³). L'analyse statistique classe les onze (11) morphotypes en trois groupes distincts, avec un coefficient de variation intra-morphotype compris entre 10,29 % et 30 %. La densité du mésocarpe est corrélée à sa teneur en sucre et à sa résistance mécanique, ce qui peut fortement influencer l'appréhension du mésocarpe, sa mastication et l'extraction du jus. Les morphotypes à mésocarpe plus dense peuvent être préférés pour des produits nécessitant une texture ferme, tandis que les fruits plus tendres sont adaptés à la consommation directe.

Analyse globale de la variabilité morphologique : L'ensemble des résultats du tableau 1 met en évidence une diversité morphologique structurée au sein des populations de *Hyphaene thebaica* étudiées. Les différences significatives observées pour tous les paramètres morphologiques confirment l'existence d'une variabilité intraspécifique importante, compatible avec la présence de plusieurs morphotypes distincts dans la zone d'étude. Cette variabilité constitue un atout majeur pour (i) la sélection des morphotypes à forte valeur alimentaire et d'importance socio-économique, (ii) la domestication de l'espèce, (iii) et l'élaboration d'un plan de stratégies de conservation et de valorisation durable. Les résultats de l'analyse des données montrent des différences significatives au niveau de l'ensemble des paramètres pris en compte (tableau 1).

Analyse multivariée (ACP + CAH)

L'ACP sur les 7 descripteurs morphométriques résume 75,7 % de la variance sur les 2 premiers axes : PC1 (57,9 %) reflète la taille globale du fruit (poids fruit, coque, noyau, mésocarpe), PC2 (17,8 %) reflète la forme et la texture (rapport L/l vs densité du mésocarpe). PC1 est un **axe de taille** : porté par le volume (0,97), le poids du fruit (0,95), le poids de la coque (0,83), le poids du noyau (0,79) et le poids du mésocarpe (0,74) — la densité charge négativement (-0,53). PC2 reflète surtout la **forme** : rapport longueur/largeur (0,77) opposé au poids de la coque (-0,40).

ANOVA (univariée)

Toutes les variables discriminent significativement les morphotypes (ANOVA, $p < 10^{-7}$), avec le poids du noyau comme variable la plus discriminante (F = 58,3), suivi de près par le volume (F = 53,6) et le poids de la coque (F = 29,2).

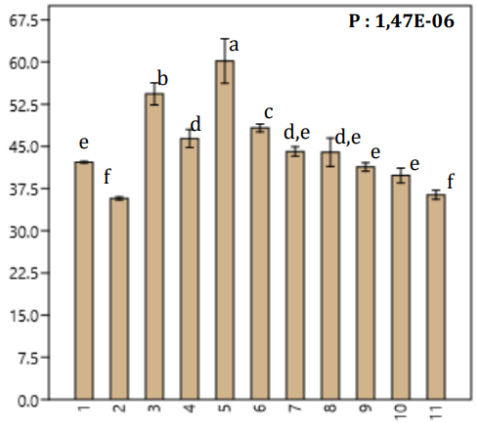
CAH (Ward)

La CAH (Ward) confirme une structure globalement cohérente avec la typologie en 11 morphotypes, mais l'accord optimal (ARI = 0,49) est atteint autour de k=9 groupes plutôt que 11 ; certains morphotypes voisins restent morphologiquement proches et se distinguent moins nettement entre eux (Silhouette de la partition à 11 groupes : 0,21). Les morphotypes sont statistiquement bien fondés sur le plan univarié, et l'analyse multivariée les soutient globalement, avec une réserve raisonnable sur la finesse de la partition en 11 groupes distincts.

Tableau : Caractéristiques morphologiques des fruits d'Hyphaene thebaica par écotype

Spécimen N°	Parametres Statistiques	Descripteurs morphologiques des fruits								
		Longueur fruit (mm)	Largeur fruit	Q fruit	Volume (mm3)	Poids fruit (g)	Poids Mésocarpe (%)	Poids coque (%)	Poids Noyau (%)	Densité
1	Mean	57,98	48,50	1,20	72,25	42,18	22,72	40,76	36,52	0,31
	Stand. dev	1,02	2,24	0,07	5,46	0,27	0,70	1,33	1,94	0,06
	Coeff. var	1,76	4,61	5,83	7,56	0,64	3,08	3,26	5,30	18,57
2	Mean	54,01	46,37	1,17	61,27	35,74	28,69	35,11	36,20	0,36
	Stand. dev	1,43	0,56	0,05	1,23	0,59	1,28	0,80	0,59	0,07
	Coeff. var	2,65	1,20	3,86	2,01	1,65	4,47	2,28	1,64	20,71
3	Mean	62,19	56,85	1,10	105,59	54,33	29,36	42,17	28,48	0,29
	Stand. dev	1,32	1,79	0,04	7,37	4,42	4,66	3,80	1,70	0,08
	Coeff. var	2,13	3,15	3,33	6,98	8,13	15,89	9,01	5,97	26,79
4	Mean	58,21	53,22	1,09	86,74	46,39	26,93	43,22	29,85	0,28
	Stand. dev	1,47	2,13	0,04	8,45	3,57	1,62	1,55	0,63	0,07
	Coeff. var	2,52	4,00	3,46	9,74	7,70	6,00	3,60	2,12	24,71
5	Mean	76,16	57,98	1,31	137,53	60,18	32,48	36,30	31,22	0,23
	Stand. dev	1,36	1,37	0,04	6,82	8,82	3,20	6,22	9,02	0,02
	Coeff. var	1,79	2,36	2,72	4,96	14,66	9,85	17,14	28,91	10,29
6	Mean	62,89	52,51	1,20	91,98	48,28	24,30	34,11	41,59	0,35
	Stand. dev	1,23	2,34	0,05	8,85	1,57	0,25	0,53	0,53	0,10
	Coeff. var	1,96	4,46	4,31	9,62	3,25	1,03	1,55	1,27	27,77
7	Mean	61,63	48,84	1,26	78,38	44,09	25,20	32,68	42,12	0,33
	Stand. dev	1,74	0,84	0,05	3,14	1,87	0,53	1,02	1,33	0,04
	Coeff. var	2,82	1,72	3,69	4,01	4,24	2,10	3,12	3,15	11,08
8	Mean	56,51	51,74	1,10	79,93	43,95	29,13	37,94	32,93	0,31
	Stand. dev	2,14	3,67	0,06	13,33	5,61	2,29	2,22	1,19	0,07
	Coeff. var	3,78	7,09	5,65	16,68	12,76	7,85	5,85	3,61	22,70
9	Mean	51,40	48,98	1,05	64,64	41,33	24,66	37,14	38,20	0,43
	Stand. dev	0,50	1,58	0,03	4,33	1,65	1,07	0,83	0,45	0,10
	Coeff. var	0,97	3,22	3,11	6,71	4,00	4,35	2,23	1,18	23,86
10	Mean	58,07	51,16	1,14	80,13	39,82	26,68	39,83	33,50	0,26
	Stand. dev	2,89	1,18	0,05	6,92	2,95	0,76	3,13	3,21	0,08
	Coeff. var	4,98	2,31	4,16	8,64	7,40	2,86	7,85	9,57	30,33
11	Mean	51,29	43,85	1,17	52,18	36,38	38,98	28,43	32,59	0,59
	Stand. dev	3,16	1,21	0,07	5,21	1,81	0,12	1,36	1,47	0,08
	Coeff. var	6,15	2,77	5,83	9,98	4,97	0,30	4,79	4,52	13,32
P (same)		5,22E-07	1,98 E-06	3,68E-05	6,14 E-07	1,47 E-06	1,03 E-06	6,72 E-06	1,88 E-06	9,68 E-04

Les résultats de l'analyse des données montrent des différences significatives au niveau de l'ensemble des paramètres pris en comptes.



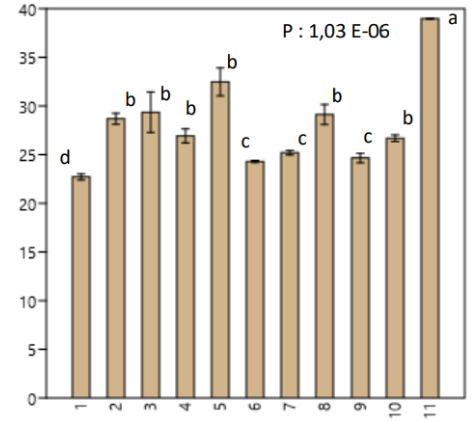
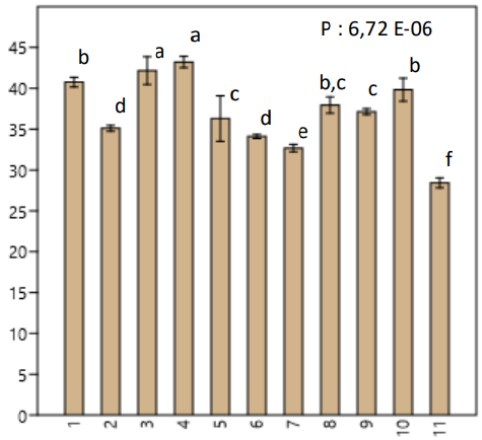


Fig. 1 : Poids des **fruits** **Fig. 2 :** Contribution des mésocarpes au poids fruits



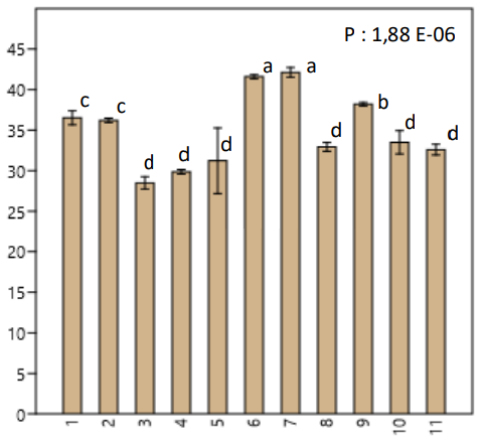
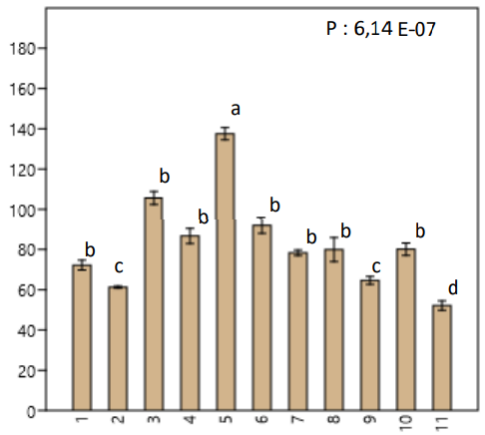


Fig. 3 : Contribution des coques au poids fruits **Fig. 4 :** Contribution du noyau au poids du fruit/ spécimen



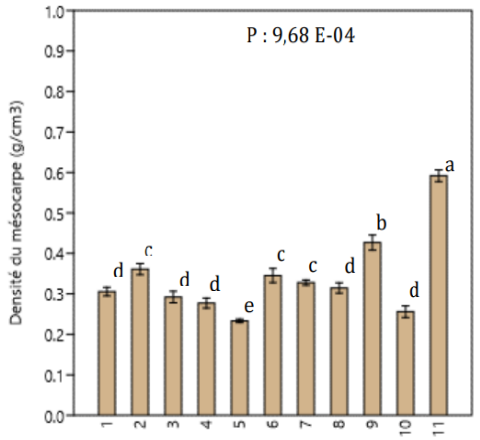


Fig. 5 : Volume des fruits/ spécimen **Fig. 6 :** Densités des fruits/ spécimen

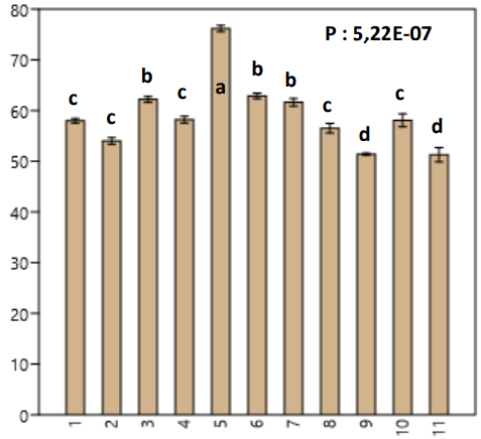


Fig. 7 : Longueur de fruit/ morphotype

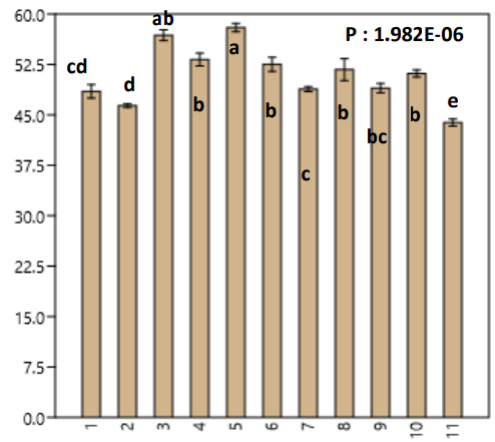


Fig. 8 : largeur de fruit/ morphotype

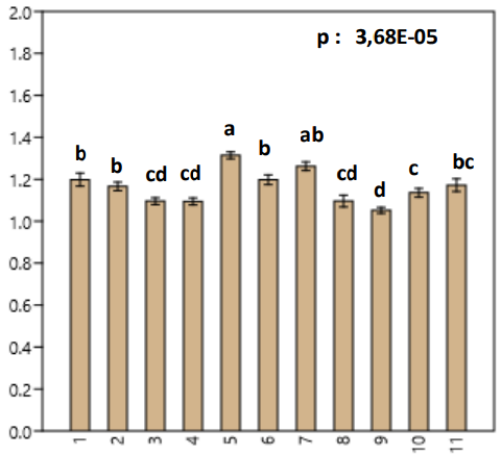


Fig. 9 : Rapport longueur /largeur de fruit/ morphotype

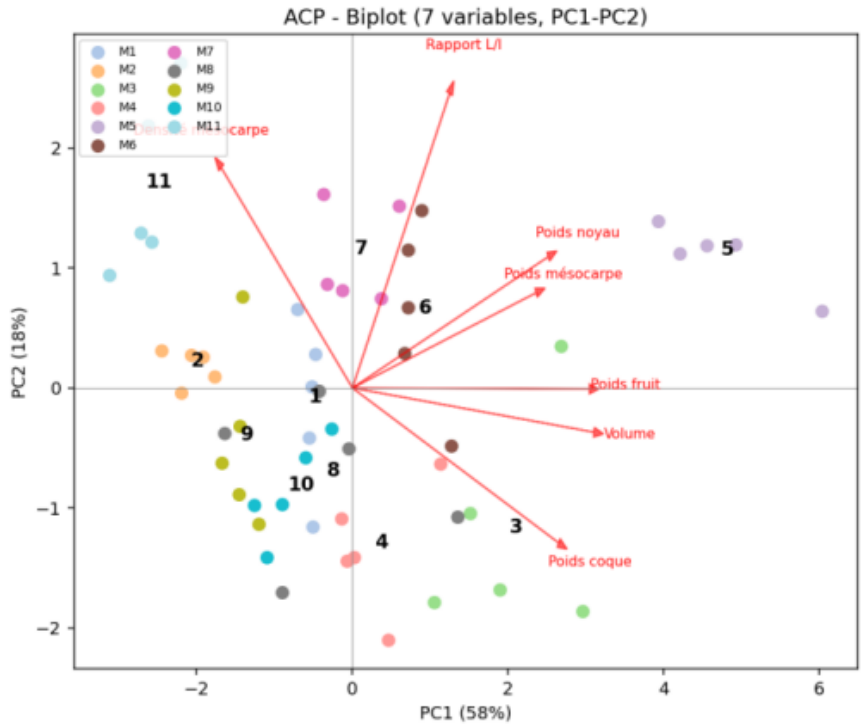


Fig. 10: ACP – Biplot individus/variables

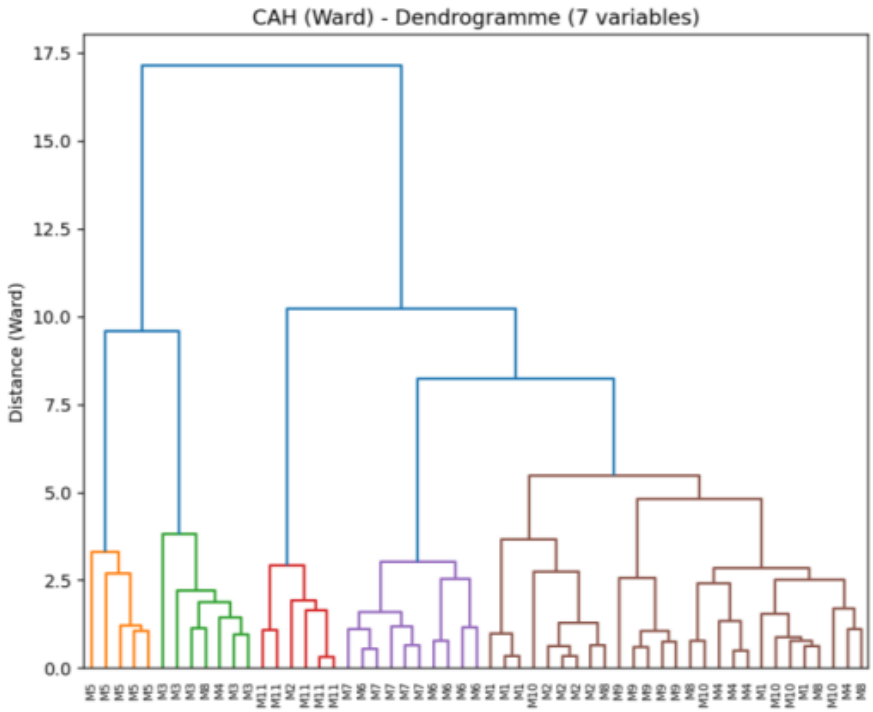


Fig. 11: CAH (ward) -Dendrogramme

Discussion

Les résultats obtenus ont montré que les fruits de *Hyphaene thebaica* présentent une variabilité morphologique significative entre les morphotypes pour tous les paramètres mesurés, à savoir la longueur, la largeur, le rapport longueur/largeur, le volume, le poids total, le poids du mésocarpe, de la coque et du noyau. Cette variabilité est corroborée par une faible variation intra-morphotype (CV intra-morphotype généralement <10 %), ce qui indique que la diversité observée est principalement inter-morphotype. La variabilité morphologique observée est comparable à celle rapportée pour d'autres espèces de palmiers alimentaires comme *Phoenix dactylifera* (Al-Khalifa *et al*., 2016 ; Zango, 2016) ou *Cocos nucifera* (Kodjo *et al*., 2015), suggérant que la sélection naturelle et l'adaptation locale aux conditions environnementales (pluviométrie, sol, exposition solaire) ont modelé les caractéristiques des fruits. Les morphotypes présentant des fruits plus allongés (rapport L/l > 1,25) pourraient être adaptés à des conditions écologiques spécifiques favorisant ainsi la croissance verticale, tandis que les fruits subglobuleux pourraient représenter une stratégie de conservation de l'eau et de la biomasse dans les zones arides, plus sèches. Cette diversité morphologique reflète probablement une divergence génétique intraspécifique pour les populations de *Hyphaene thebaica* au Niger en particulier et au Sahel en général. La présence de fruits à deux noyaux, bien que rare, confirme l'existence d'une variabilité reproductive et d'une plasticité génétique intéressante pour la sélection et la domestication de l'espèce.

L'analyse des fractions du fruit montre que : (i) le mésocarpe représente 22,72–38,98 %, (ii) la coque 28,43–43,22 % et (iii) le noyau 28,47–42,12 % du poids total. Ces résultats mettent en évidence une répartition équilibrée entre les parties comestibles et protectrices du fruit, cohérente avec les observations ethnobotaniques locales. Les morphotypes présentant un mésocarpe plus important peuvent particulièrement appréciés pour la production du jus et ceux avec un noyau plus volumineux (N°7, N°6, N°9) pour la production du *koloji* ou du *Tagodaré*. Cette répartition rappelle les résultats de Konan *et al*. (2009) sur les noix de *Cocos nucifera*, où la proportion de mésocarpe et de noyau variait significativement entre variétés, influençant ainsi directement leur valeur économique et nutritionnelle. La coque plus épaisse des morphotypes comme celui du N°4 peut constituer un avantage écologique, car elle protège efficacement la semence contre la prédation et les conditions environnementales extrêmes. Cependant, pour la consommation ou la transformation artisanale, une coque trop dure peut limiter l'extraction du noyau, illustrant ainsi un compromis entre protection écologique et valeur d'usage. Une coque plus épaisse peut, également, être

un atout pour la production du charbon actif utilisable pour l'élimination du déchet industriel comme cela a été démontré par Ousmaila *et al.* (2018).

Pour l'ensemble des morphotypes examinés, la longueur est supérieure à la largeur. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par plusieurs auteurs (Kheirali *et al*., 2008 ; Aremu & Fadele, 2011 ; Abdel-Rahman *et al*., 2014 et Reda, 2015, Arbonnier, 2000) ayant travaillé avec la même espèce. Les moyennes des longueurs et des largeurs obtenues au niveau de chaque morphotype correspondent à ceux trouvés par au moins un des auteurs cités ci-dessus. Certains morphotypes se caractérisent par des fruits plus allongés, tandis que d'autres présentent des formes plus subglobuleuses. Cette diversité morphologique confirme l'existence de stratégies phénotypiques différenciées, possiblement liées à des facteurs génétiques et environnementaux. Le rapport L/l (1,05–1,31) confirme que les fruits sont généralement subglobuleux à légèrement ellipsoïdes, ce qui peut influencer, (i) positivement la facilité d'extraction du mésocarpe, (ii) l'efficacité de l'extraction du noyau, et (iii) la dispersion naturelle par gravité ou par zoochorie des semences. La faible variabilité intra-morphotype (CV = 2,72–5,83 %) suggère une stabilité morphologique des fruits au sein d'un même morphotype, rendant le rapport L/l un critère fiable pour la discrimination des morphotypes, comme recommandé par Kodjo (2015) pour les noix de palmier.

Les différences significatives entre morphotypes ($p = 3{,}68 \times 10^{-5}$) confirment que la forme des fruits peut être utilisée comme marqueur phénotypique pour la sélection et l'amélioration génétique de l'espèce, notamment pour les programmes de domestication visant à favoriser les fruits les plus adaptés à la consommation ou à la transformation artisanale.

La densité du mésocarpe varie significativement entre morphotypes (0,23–0,59 g/cm³). Ainsi, les fruits les plus durs (N°11) présentent une densité élevée, tandis que les fruits les plus tendres (N°5) ont une densité plus faible. Cette caractéristique est directement liée à la texture, à la teneur en fibres, à la concentration en eau et à la teneur en sucre. Les fruits à densité élevée sont plus résistants à la manipulation et à la conservation, tandis que les fruits à densité faible offrent un meilleur rendement pour l'extraction du mésocarpe, ce qui explique que la densité du mésocarpe peut également être corrélée à la composition chimique : un mésocarpe plus dense pourrait contenir moins d'eau mais plus de sucres ou de composés phénoliques, influençant la valeur nutritionnelle et la durabilité du fruit. Cette relation mérite une analyse complémentaire couplant la densité et l'analyse chimique.

Les résultats sur la longueur, la largeur, le volume et les proportions des parties comestibles, de coque et du noyau par rapport au poids, sont similaires à ceux trouvés par certains auteurs (Reda (2015), Aremu et Fadele (2011), Abdel-Rahman *et al*. (2014), Kheiralipour *et al*. (2008) et Arbonnier

(2000)), au moins, au niveau d'un des 11 morphotypes étudiés. La différence constatée entre un ou plusieurs auteurs peut s'expliquer par le fait que les morphotypes ne sont pas les mêmes et n'ont pas été cultivés dans les mêmes conditions environnementales. La variabilité morphologique observée au niveau des fruits de ces morphotypes peut également être un indicateur de résilience écologique et anthropique. Ce genre de diversité est cruciale pour la durabilité des systèmes agroforestiers sahéliens (Zango, 2016). Cependant, cette étude apporte une analyse quantitative détaillée des fractions du fruit, du rapport longueur/largeur ainsi que la densité du mésocarpe par morphotype, éléments rarement documentés dans la littérature sahélienne.

Le nombre de morphotypes identifiés (9) est nettement supérieur à ceux rapportés au Bénin (3) et au Kenya (5). Au Benin, Idohou *et al.* (2015) a travaillé sur les fruits d'*Hyphaene thebaica* récoltés dans 3 phytodistricts, pieds-mères espacés d'au moins 100 m (contre 50 m dans cette étude). La classification hiérarchique n'a révélé que 3 morphotypes validés ensuite par une analyse factorielle discriminante ($p \leq 0{,}001$) tandis qu'au Kenya, Omire et al. (2020) a travaillé sur *H. compressa*, une espèce apparentée, sur 90 accessions, 19 caractères (7 quantitatifs + 12 qualitatifs) ; l'analyse statistique (ACP + analyse discriminante linéaire + classification hiérarchique) n'a révélé que 5 morphotypes. Les 7 variables quantitatives discriminaient toutes significativement les morphotypes ($p \leq 0{,}001$). Cela peut refléter soit une diversité morphologique réellement plus élevée dans la vallée de Goulbi N'Kabba, soit un critère de distinction terrain plus fin (morphotypes basés sur l'homogénéité relative de forme/volume, potentiellement plus granulaire que la classification statistique a posteriori utilisée ailleurs).

Conclusion

Cette étude a permis de caractériser et d'identifier six (9) morphotypes de *Hyphaene thebaica* présents dans la vallée de Goulbi N'Kaba de Maradi, au Niger oriental. Les fruits présentent une variabilité significative entre morphotypes pour le volume, la longueur, la largeur, le rapport longueur/largeur, le poids total et la répartition entre mésocarpe, coque et noyau. Cette diversité inter-morphotype est renforcée par une faible variabilité intra-morphotype, démontrant ainsi une homogénéité au sein des individus d'un même morphotype et une différenciation fiable entre morphotypes. La proportion et la densité du mésocarpe, la taille et le poids des noyaux, ainsi que la texture des fruits, indiquent que certains morphotypes sont plus adaptés à la consommation humaine, tandis que d'autres sont plus appropriés pour la transformation artisanale et la valorisation commerciale locale. Les caractéristiques morphologiques des fruits constituent l'un des critères phénotypiques fiables pour la

discrimination des morphotypes et la sélection d'individus adaptés à des objectifs spécifiques (alimentation, transformation, conservation). La diversité observée entre morphotypes reflète l'adaptation aux conditions écologiques locales et constitue une ressource génétique essentielle pour la conservation in *situ* et ex *situ*, en particulier face à la surexploitation et aux pressions anthropiques qui menacent l'espèce.

Cette étude fournit une base scientifique solide pour : (i) la valorisation durable des fruits de *Hyphaene thebaica*, (ii) le développement de programmes de domestication et d'amélioration génétique, (iii) et la préservation de la biodiversité sahélienne de manière générale. Ces résultats confirment que *Hyphaene thebaica* est non seulement une ressource écologique et socio-économique majeure, mais également un modèle intéressant pour des programmes intégrés de conservation et de gestion durable des espèces agro-forestières sahéliennes. Une étude complémentaire sur les propriétés physicochimiques est en cours afin de mieux décrire les fruits de onze (11) morphotypes de *Hyphaene thebaica* étudiés dans le cadre de ce travail.

Contribution des auteurs

OH : a proposé la thématique, facilité l'obtention de bourse pour les travaux aux laboratoires, validé les démarches de collecte et de traitement des échantillons et enfin corrigé les drafts.

IA : a réalisé la collecte des échantillons sur le terrain, la collecte et traitement des données aux laboratoires et la rédaction de l'article.

CCB et RV : ont encadré, supervisé et guidé les travaux aux laboratoires et la rédaction de l'article.

Conflit d'intérêts : Les auteurs n'ont signalé aucun conflit d'intérêts.

Disponibilité des données : Toutes les données sont incluses dans le contenu de l'article.

Déclaration de financement : Les auteurs n'ont obtenu aucun financement pour cette recherche.

References:

1. Abdou Kona K., Lawali S., Boureima S. & Laouali S. (2021). Profils caractéristiques des exploitants des palmes d'*Hyphaene thebaica* Mart. de la vallée du Goulbi N'kaba dans le département de Mayahi au centre-sud du Niger. *Journal of Applied Biosciences*, 167, 17358–17374. ISSN 1997-5902.

2. Ali Alhassane, Idrissa Soumana, Madjidou Oumarou & Ali Mahamane (2021). La vallée fossile de Goulbi N'kaba au Niger, ressources et potentialités agro-sylvo-pastorales. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 14(6), Ser. I, 18–27. www.iosrjournals.org
3. Ali Alhassane, Issa Chaibou, Saley Karim, Idrissa Soumana, Ali Mahamane & Mahamane Saadou (2018). Flore et structure des peuplements ligneux des pâturages naturels de la région de Maradi, Niger. *Afrique Science*, 14(5), 171–189. ISSN 1813-548X. http://www.afriquescience.net
4. Alkali, M. I., Abdus-Salam, N., Dikwa, M. K., Oyewumi-Musa, R. T., Jimoh, A. A., Ojo, I. & John, G. (2022). Adsorption of Pb(II) ion onto modified doum palm (*Hyphaene thebaica*) shells: Isotherm, kinetic and thermodynamic studies. *Arid Zone Journal of Basic and Applied Research*, 1(5), 80–102. ISSN 2811-2881. https://www.azjournalbar.com
5. Boubacar H. (2010). *Caractérisation biophysique des ressources ligneuses dans les zones dégradées et reverdies au Sahel : cas du département de Mayahi*. Mémoire de D.E.A., Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger.
6. Chevalier A. & Dubois R. (1938). Les palmiers Hyphaene et Borassus de l'Afrique Occidentale. *Revue de botanique appliquée et d'agriculture coloniale*, 18(198), 93–103. https://doi.org/10.3406/jatba.1938.5829
7. Dan Guimbo I. (2011). *Fonction, dynamique et productivité des parcs à Vitellaria paradoxa C.F. Gaertn. et à Neocarya macrophylla (Sabine) Prance dans le sud-ouest du Niger*. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques, Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni.
8. Fletcher, R. (1997). *Listing of useful plants of the world.* Australian New Crops. http://www.newcrops.uq.edu.au/listing/hyphaenethebaica.htm
9. Giffard, P.-L. (1966). Le palmier Doum, *Hyphaene thebaica* Mart. *Bois et Forêts des Tropiques*, 106.
10. Ibrahim Djibo Moussa, Abdoulaye Diouf, Boubé Morou, Boubacar Adamou Adagoye, Maria Dolores Agúndez & Abdoulaye Amadou Oumani (2020). Perception locale sur l'état des espèces ligneuses alimentaires spontanées et leur rôle : cas des communes rurales de Tamou et Simiri au Niger. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, 35, 328–344. ISSN 1813-3290. http://www.revist.ci
11. Idohou, R., Assogbadjo, A. E., Houehanou, T., Glèlè Kakaï, R. & Agbangla, C. (2015). Variation in *Hyphaene thebaica* Mart. fruit:

physical characteristics and factors affecting seed germination and seedling growth in Benin (West Africa). *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 90(3), 291–296. https://doi.org/10.1080/14620316.2015.11513185

12. Issaley Nana Aichatou, Mamadou Ibrahim, Abdou Rabiou, Maty Miko & Mahamane Salissou (2021). Variabilité pluviométrique et vécus paysans dans le terroir villageois de Kotare-Mayahi dans la région de Maradi au Niger. *Revue scientifique de la littérature des langues et des sciences sociales*, 15. https://www.researchgate.net/publication/358498015
13. Kahn, F. & Luxereau, A. (2008). Doum palm habit and leaf collecting practices in Niger. *Palms*, 52(1), 23–29.
14. Larwanou, M., Oumarou, I., Snook, L., Danguimbo, I. & Eyog-Matig, O. (2010). Pratiques sylvicoles et culturales dans les parcs agroforestiers suivant un gradient pluviométrique nord-sud dans la région de Maradi au Niger. *Tropicultura*, 28(2), 115–122.
15. Mahamane Harouna (2005). *Étude de la filière des produits du palmier doum en perspective de mise en place d'un marché rural au niveau de la grappe de El Gueza (Aguié).* Mémoire de DESS, Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni.
16. Mahamane Nassirou Amadou Kiari, Fanou, G. D., Konan, A. T. S., Ouattara, A., Kone, H., Malam Alma, M. M., Assidjo, E. N. & Yao, K. B. (2022). Process conditions optimization of plant waste-derived microporous activated carbon using a full factorial design and genetic algorithm. *Journal of Materials and Environmental Science*, 13(8), 884–899. http://www.jmaterenvironsci.com
17. Marceline Mouti Makalao, Savadogo, A., Zongo, C. & Traore, A. S. (2015). Composition nutritionnelle de 10 fruits sauvages consommés dans trois départements du Tchad. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*. http://ajol.info/index.php/ijbcs
18. Moussa, H. (1997). *Germination du palmier doum (Hyphaene thebaica Mart) et analyse de son interaction avec le mil (Pennisetum glaucum) en zone semi-aride au Niger.* Thèse de doctorat, Université Laval, 181 p.
19. Nomaou Dan Lamso, Guero, Y., Tankari Dan-Badjo, A., Lamar, R., Bationo, B. A., Djamen, P., Tidjani, A. D., Ado Maman, N. & Karimou, A. J. M. (2015). Effet des touffes de *Hyphaene thebaica* (Mart) sur la production du mil dans la région de Maradi (Niger). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(5), 2477–2487.
20. Omire, A., Budambula, N. L. M., Neondo, J., Gituru, R. & Mweu, C. (2020). Phenotypic diversity of doum palm (*Hyphaene compressa*), a

semi-domesticated palm in the arid and semi-arid regions of Kenya. *Scientifica*, 2020, Article 4920830. https://doi.org/10.1155/2020/4920830

21. ORSTOM (1993). *Table de composition des fruits exotiques, fruits de cueillette d'Afrique* (Tome 3). Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération, Paris.
22. Orwa, C., Mutua, A., Kindt, R., Jamnadass, R. & Anthony, S. (2009). *Agroforestree Database: A tree reference and selection guide* (Version 4.0). World Agroforestry Centre. http://www.worldagroforestry.org/sites/treedbs/treedatabases.asp
23. Ouédraogo, A. S. (1995). *Parkia biglobosa (Fabaceae) en Afrique de l'Ouest. Biosystématique et amélioration.* Thèse, Université agronomique de Wageningen, IBN-DLO, Pays-Bas, 205 p.
24. Oumarou Zango (2016). *Agrobiodiversité et élaboration d'un modèle architectural du palmier dattier au Sahel : cas du Niger.* Thèse de doctorat en Botanique, Université de Montpellier / Université Abdou Moumouni, Niamey.
25. Ousmaila Sanda Mamane, Siragi Dounounou Boukari Maâzou, Malam Alma Maman Mousbahou & Natatou Ibrahim (2018). Valorisation des coques de noyaux de *Balanites aegyptiaca* (L.) Del. et *Hyphaene thebaica* (L.) Mart. pour l'élaboration et caractérisation de charbons actifs ; application pour l'élimination du chrome. *European Scientific Journal*, 14(21). ISSN 1857-7881.
26. Paul Diouf, Siré Diedhiou, Arfang Ousmane Kémo Goudiaby, Ibrahima Ndoye & Bothié Koita (2019). Étude de la variabilité morphologique de *Saba senegalensis* (A. DC.) Pichon en Casamance (Sénégal). *European Scientific Journal*, 15(9). https://doi.org/10.19044/esj.2019.v15n9p500
27. Peltier, R., Serre Duhem, C. & Ichaou, A. (2008). Valoriser les produits du palmier doum pour gérer durablement le système agroforestier d'une vallée sahélienne du Niger et éviter sa désertification. *VertigO – La revue en sciences de l'environnement*, 8(1).
28. Reda, A. A. (2015). Physicochemical properties of doum (*Hyphaene thebaica*) fruits and utilization of its flour in formulating some functional foods. *Alexandria Journal of Food Science and Technology*, 12(2), 29–39.
29. Souty, M., Audergon, J. M. & Chambroy, Y. (1990). L'abricot : les critères de qualité. *Arboriculture Fruitière*, 430, 18–24.