

THÈSE

Pour obtenir le grade de
Docteur

Délivré par l'Université de Montpellier et l'Université Abdou
Moumouni

Préparée au sein des écoles doctorales **GAIA & SVT**
Et des unités de recherche **AMAP & DIADE**

Spécialité : **Ecologie Fonctionnelle et Sciences Agronomiques**

Présentée par **ZANGO Oumarou**

**Agro biodiversité et élaboration d'un
modèle architectural du palmier dattier au
Sahel : cas du Niger**

Soutenue le 16 Décembre 2016 devant le jury composé de

Mme Salwa ZEHD	HDR UTEM	Rapporteur
Mme Nadia BOUGUEDOURA	Pr., USTHB	Rapporteur
Mr. Pascal GANTET	Pr., UM	Examineur
Mme Frédérique ABERLENC,	HDR, IRD	Directrice de thèse
Mr. Yacoubou BAKASSO,	Pr., UAM	Codirecteur de thèse
Mr. Hervé REY,	Dr., CIRAD	Examineur
Mr. Alain RIVAL	HDR, CIRAD	Invité

Agro Biodiversité et élaboration d'un modèle architectural du palmier dattier au Sahel : cas du Sud Niger

ZANGO Oumarou

Directrice de thèse : ABERLENC Frédérique (IRD, France)

Codirecteur : BAKASSO Yacoubou (UAM, Niger)

Co-encadrant : REY Hervé (CIRAD, France)



Je dédie ce travail,
À mes parents qui ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui ;
À ma femme et ma fille

À la mémoire du grand palmologue des 20^{ème} et 21^{ème} siècles
Je ne saurais commencer ce manuscrit sans rendre un grand hommage au
feu Jean-Christophe Pintaud, co-initiateur de ce projet de thèse. Je tiens
à exprimer mon éternelle gratitude à ce grand savant, ouvert d'esprit,
modeste, plein d'humanité et toujours prêt à partager ses expériences et
ses connaissances.

Je lui suis profondément reconnaissant de m'avoir guidé vers la recherche
avec ses précieux conseils.

Quel dommage de l'avoir perdu.

Ainsi va la vie, nous venons de dieu et nous retournerons à lui.

Paix à ton âme

Résumé

Le Sahel est une zone aride aujourd'hui menacée par les changements climatiques qui entraînent une grande vulnérabilité sociale et environnementale. L'agriculture des pays sahéliens doit faire face à cette évolution pour assurer la sécurité alimentaire de leurs populations croissantes. L'utilisation d'espèces végétales de grande plasticité phénologique comme le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.), fait partie des réponses face à des conditions pédoclimatiques difficiles auxquelles peu de plantes sont adaptées. L'objectif de cette thèse est d'améliorer nos connaissances sur les pratiques culturelles, les savoirs locaux autour du palmier dattier et la diversité génétique et morphologique de cette espèce afin de promouvoir le développement durable de l'agriculture oasienne au Sahel. Ainsi, nous avons conduit une enquête socio-économique auprès de 30 producteurs de palmier dattier dans 14 villages du Sud-Est du Niger. Parallèlement à cette enquête nous avons collecté 113 échantillons de jeunes folioles, prélevées sur 31 mâles et 82 femelles de palmier dattier dans 19 cuvettes oasiennes. Notre étude a permis d'identifier 19 variétés-populations de palmier dattier distinguées sur la base de la couleur du fruit. Le palmier dattier présente une particularité de double floraison associée à deux saisons de productions de dattes dans le Sahel. La période février-juillet est la plus productive mais l'arrivée précoce des pluies limite la qualité des fruits. L'évaluation des connaissances locales associées à la phœniciculture a permis d'établir que même si les pratiques culturelles sont moins développées que dans le Nord du pays ou dans le Maghreb, les profits dégagés par la culture des dattes contribuent considérablement à la survie des ménages. Par ailleurs, l'analyse génétique des palmiers dattiers du Sud-est du Niger a montré qu'ils constituent un groupe original avec une grande diversité génétique. De plus, cette ressource appartient au pool génétique occidental et est l'une des moins introgressée par des contributions génétiques orientales. L'analyse génétique globale révèle un nouveau groupe au Sud-est Niger différent de celui d'Afrique du Nord et soulève la question de son origine. Enfin, nous avons mis en évidence l'existence de traits architecturaux discriminant les palmiers dattiers du Sahel. Nous avons ainsi élaboré un modèle architectural permettant le calcul de l'interception lumineuse et des espacements nécessaires pour une bonne cohabitation des palmiers et des cultures sous-jacentes afin d'optimiser la production agricole. Notre étude a montré que la culture du palmier dattier constitue un élément clé pour l'amélioration des conditions de vie des populations, la lutte contre la malnutrition et l'équilibre agro-écologique dans le Sahel. Elle constitue un préalable indispensable à la conservation, la valorisation et l'amélioration du patrimoine phœnicicole. Enfin, le modèle architectural fonctionnel permettra de mettre à disposition un outil opérationnel pour la gestion durable des cultures du palmier dattier au Sahel.

Mots clés : Agriculture oasienne, changement climatique, connaissance locale, diversité génétique, modèle architectural, Niger, palmier dattier, Sahel, variété, sécurité alimentaire.

Abstract

The Sahel is an arid area threatened by climate change that causes great social and environmental vulnerability. Agriculture in Sahel is facing this change to ensure food security for growing populations. The use of plant species with phenological plasticity such as the date palm (*Phoenix dactylifera* L.), is one of the responses to hard soil and climate conditions to which few plants are adapted. The objective of this thesis is to improve our knowledge on cultural practices, local knowledge around the date palm and genetic and morphological diversity of this species in order to promote sustainable development of oasis agriculture in the Sahel. Thus, we conducted a socioeconomic survey of 30 date palm farmers in 14 villages in Southeastern Niger. Alongside this survey, we collected 113 samples of young leaflets

taken from 31 males and 82 females in 19 date palm oasis basins. Our study identified 19 date palm population varieties distinguished on the basis of the fruit color. Date palm has a special double flowering associated with two fruit production seasons in the Sahel. The February-July period is the most productive but early rains limit fruit quality. The evaluation of local knowledge associated with date palm has shown that even if cultural practices are less developed than in the North of the country or in the Maghreb, the profits from the date cultivation significantly contribute to household survival. Furthermore, genetic analysis of date palms in Southeast of Niger has shown that they are a unique group with high genetic diversity. In addition, this germplasm belongs to the Western gene pool and is one of the least introgressed by oriental genetic contributions. The overall genetic analysis revealed a new group in Southern Niger different from that of North Africa and raises the question of its origin. Finally, we have demonstrated the existence of discriminating architectural features in Sahelian date palms. We have developed an architectural model for the calculation of the light interception and spaces necessary for good cohabitation between date palms and crops to optimize agricultural production. Our study showed that the date palm cultivation plays a key role in improving living conditions of the population, fight against hunger and agro-ecological balance in the Sahel. It is a prerequisite to the preservation, valorization and improvement of date palm genetic resources. Finally, the functional architectural model will enable to provide an operational tool for the sustainable management of date palm cultivation in the Sahel.

Keywords: Architectural model, climate change, date palm, food safety, genetic diversity, local knowledge, Niger, oasis agriculture, Sahel, variety.

Afficher le message d'origine

Au cours des 3 années dont il est fait état dans ce mémoire, de très nombreuses personnes, collègues, amis, partenaires, ont contribué à la réalisation de ce projet, de sorte qu'il serait difficile de toutes les nommer dans cette page, mais ma gratitude se dirige à tous ceux qui se reconnaîtront.

Mon affiliation au **CIRAD** et à l'**IRD** remonte en fait à ma première convention de stage de Master 1 à l'**UMR AMAP** et **UMR DIADE** d'Avril à Juin 2011, puis mon stage de Master 2 de Mars à Aout 2012. De ces stages, j'ai beaucoup appris sur la phénologie et la modélisation de l'architecture du palmier dattier autour de la Méditerranée. Cette base de connaissance a engendré une certaine passion et une ambition de connaître le palmier dattier du Sahel.

Ainsi, je tiens tout d'abord à remercier mes encadrants de m'avoir fait confiance tout au long de ce projet. Merci à **Hervé Rey** (CIRAD), **Jean-Christophe Pintaud** (IRD) et **René Lecoustre** (CIRAD) de m'avoir donné l'opportunité de mener un projet de thèse passionnant et de m'avoir ainsi permis de découvrir non seulement la richesse des palmiers du Sud-est du Niger, mais aussi d'être le premier nigérien à travailler mettre réellement sur e sujet. Merci également de m'avoir fait découvrir les palmeraies de Sanremo en Italie, Gabès en Tunisie et Ouarzazate au Maroc. Hervé et René m'ont enseigné les fondements de recherche sur l'architecture des plantes et Jean-Christophe m'a introduit dans le monde de la phénologie et de la génétique du palmier dattier.

Merci à **Philippe De Reffye**, qui avait bien voulu accepter de diriger cette thèse malgré l'approche de son droit à faire valoir à la retraite. Sans lui il aurait été difficile de pouvoir lancer ce projet. Merci également à **Bakasso Yacoubou** qui a bien voulu codiriger cette thèse en cotutelle entre l'Université de Montpellier (**UM**, France) et l'Université Abdou Moumouni (**UAM**, Niger). Au départ à la retraite de Philippe, Jean-Christophe prend la supervision de cette thèse et malheureusement, il nous quitte deux mois plus tard. Que la terre lui soit légère. Avec cette malheureuse circonstance, **Frédérique Aberlenc** (IRD) a bien voulu assurer la relève. Quelle trouve ici ma profonde reconnaissance. Entourée de **Emira Cherif** et de **Nathalie Chabrilange**, Frédérique m'a plongé dans le monde de la génétique moléculaire des palmiers. Merci beaucoup à elles. Elles ont vraiment assuré l'encadrement pour tout ce qui est partie génétique de cette thèse. Merci beaucoup à vous pour nos discussions et pour ses nombreux conseils de rédaction. Je suis très reconnaissant pout toutes ces personnes ci-haut citées.

Je remercie les rapporteurs, **Salwa Zehdi** et **Nadia Bouguedoura**, ainsi que les membres examinateurs **Pascal Gantet** et **Alain Rival** (invité) pour leur intérêt et pour l'honneur qu'ils me font de participer à mon jury de thèse.

Je tiens à remercier **Mallan Issa Oumarou** Représentant IRD Niger qui a bien voulu m'héberger dans les locaux de l'IRD et **Aichatou Assouman** qui a bien voulu m'héberger dans son bureau durant tous mes séjours au Niger.

Merci à **Claudio Littardi** de nous avoir chaleureusement accueilli en Italie, partagé ces expériences et connaissances avec nous, mais aussi d'avoir assuré toute la logistique nécessaire pour le travail de terrain à Sanremo au début de cette thèse.

Je tiens à remercier particulièrement **Patrice Savagodo** et **Abdoussalam Saidou** sans qui, je n'aurais pu avoir accès aux palmiers dattiers de la station d'**ICRISAT**. Merci pour le stage de 4 mois que vous m'avez accordé courant 2014/2015 et pour les discussions sur les

perspectives d'avenir du palmier dattier au Niger. Merci également à l'équipe qui gère la ferme de l'ICRISAT notamment **Sangaré** et le **Chef du village**.

Grand merci à **Amadou Barré**, secrétaire exécutif de l'ONG KARKARA pour ces soutiens logistiques et ces précieux conseils. Merci également à **J.M. Ambouta Karimoune** et **Didier Adamou Tidjani** pour leurs précieux conseils durant tous mes travaux de terrain.

Un énorme merci à mes collègues du labo d'AMAP et l'IRD au Niger. Merci aux techniciens **Mallan Moussa** (IRD) et **Tanimoune Arzika** (UAM) et à notre chauffeur **Harouna** (UAM), pour le travail et le bon moment qu'on a eu à passer ensemble au Sud-est du Niger.

Je remercie **Garkoua Sayédi**, directeur de l'hydraulique de Magariah pour son soutien dans la construction des cartes du Niger et de m'avoir accueilli avec mon équipe à chaque fois qu'on part en mission sur Diffa.

Un grand merci aussi à **Jean François Barczy** pour ses conseils, son soutien logistique et ses blagues qui vont certainement me manquer après cette thèse. Je remercie également **Sébastien Griffon** et **François de Coligny** d'être toujours à l'écoute et pour m'avoir toujours dépanné sur les logiciels Xplo ou Simeo. Merci à vous pour votre aide dans la réalisation des images virtuelles. Merci à **Gilles le Moguedec** et **Rafael Pélissier** pour leurs conseils et dépannages en statistiques.

Merci **Thierry Fourcaud** pour le soutien dans les démarches administratives. Merci également à **Yves Carglio** pour sa détermination, ses démarches et son soutien pour ma 2ème réinscription qui a été tout un processus. Merci également à **Cécile Fovet-Robot** d'avoir accepté de lire mon premier papier et ses conseils dans la rédaction et le choix des revues. Merci également à **Peter Biggins** d'avoir traduit en anglais mon premier papier. Merci à **François Pailler** d'avoir géré toujours mes bagages pendant mon séjour au Niger.

Merci à **Elhj Idi**, chef du village de killakina pour nous avoir hébergés chez lui pendant plusieurs jours au cours de nos missions de terrain. Merci également au Colonel **Hamza**, chef de l'environnement du Gouré pour son soutien logistique et son hébergement à Gouré. Merci à **Marie Puchon**, coordinatrice de l'ONG karkara à Diffa de m'avoir autorisé à fouiller leurs archives. Merci également à **Rabo Marafa Kada** de m'avoir hébergé chez lui pendant mon séjour à Diffa.

Merci aussi à mon ami **Sani Gouga** de m'avoir hébergé chez lui pendant mes missions sur Gouré. Merci également au Commandant de l'environnement de Goudoumaria de m'avoir mis à ma disposition ces éléments pour assurer notre sécurité pendant la mission de terrain de Goudoumaria. Merci également au Sergent **Siradji** d'avoir assuré notre sécurité et de nous avoir hébergé chez lui durant tout le séjour à Goudoumaria. Merci au Colonel **Maisharou Abdou**, Directeur Général de l'Agence de Grande Muraille Verte au Niger de m'avoir mis en contact avec le command de Gouré et celui de Goudoumaria.

Merci aux agents des eaux et forêts et de l'agriculture de Gouré avec qui j'ai eu à partager un certain temps de convivialité durant mes missions à Gouré.

Je remercie **Moussa Mamane** coordinateur de l'ONG Karkara à Zinder d'avoir partagé avec moi ses vastes connaissances sur les palmeraies du Sud du Niger et la zone en question. Merci à **Ali Dan Ktchina** de Kilakina pour sa bonne humeur quotidienne, son aide dans la gestion de mes collectes et pour sa gentillesse quotidienne. Il m'a autorisé à couper tout le matériel nécessaire pour cette étude se trouvant sur sa parcelle. Merci à **Salia Issaka** et **Elhdj Djibo** d'avoir partagé le bureau avec moi pendant trois ans au cours de notre séjour au Niger.

Je remercie également le chef de service des eaux et forêts de la Washa et de Guidimouni.

Enfin, je remercie particulièrement **Sana Gammoudi** pour l'aide qu'elle m'a apportée dans la traduction de certains documents en anglais.

Je remercie sincèrement les membres de mon comité de thèse **Marcel de Raïssac, Alain Rival et Thierry Fourcaud**, qui ont non seulement senti la nécessité de réorienter cette thèse, mais aussi m'ont donné de nombreux conseils qui m'ont permis d'améliorer mes travaux. Alain Rival m'a particulièrement apporté plusieurs aides dans le montage des projets pour la recherche de financement pour mes travaux. Je lui suis vraiment très reconnaissant.

Je tiens à remercier tous les collaborateurs qui ont apporté un nouveau regard sur mon travail. Je remercie les membres de l'UMR AMAP et tous les copains à Montpellier pour leur bonne humeur et pour nos échanges lors de mon séjour à Montpellier.

Je remercie particulièrement **Georges Michaloud** de m'avoir sélectionné pour le Mater BVT et m'a toujours soutenu dans cette thèse. Je remercie également **François Munoz, Claude Edelin et Doyle McKay** (fondateur du Master BVT) pour leurs précieux conseils.

Un grand merci aux membres de l'administration, le service d'assistance particulière à **Nathalie et Nora** qui ont géré mon dossier du début à la fin, le service informatique, du CIRAD pour leur assistance au cours de mes travaux.

Merci à l'Ambassade de France au Niger pour m'avoir octroyé la bourse pour le séjour en France, l'état du Niger d'avoir assuré la logistique et l'IFS de m'avoir octroyé un support financier pour mes travaux de terrain.

Je remercie les nombreuses personnes qui m'ont aidé dans les détails logistiques de ma thèse.

Je remercie également toutes les personnes amies du palmier avec qui j'ai partagé un moment de bonheur et de convivialité, je pense à **Mohamed Ben Salah, Malika Bennaceur, Bedjaoui Hanane, Mohamed Elhoumaizi, Marcello Baldini**. Un grand merci aux copains que j'ai croisés au quotidien sur les projets dattiers, notamment mes collègues thésards : **Hadj Said Tirichine, Amira Jirad, Hassane ElMassoudy**, pour les moments partagés à poser et discuter un moment. Merci de m'avoir changé les idées et de partager votre bonne humeur.

Merci de tout cœur pour vos soutiens matériels et moraux pour la réalisation de cette thèse.

AVANT-PROPOS

Cette thèse est le résultat de trois ans de travail sur le terrain au Sud-est du Niger et au sein des unités mixtes « **Botanique et Modélisation de l'Architecture des Plantes et des Végétations** » (UMR AMAP, CIRAD) et « **Diversité et Adaptation et Développement** » (UMR DIADE, IRD) à Montpellier, France.

Elle a été financée par l'Ambassade de France au Niger pour les séjours en France, l'IFS (International Fondation of Science, Grant N° D/5695-1), Action incitative du CIRAD et l'Etat du Niger pour les travaux de terrain.

Ce document est rédigé sous forme d'une thèse sur publications

Liste des publications présentées dans la thèse

- **Zango, O.**, Rey, H., Bakasso, Y., Lecoustre, R., Aberlenc, F. and Pintaud, J.-C., (2016) Local Practices and Knowledge Associated with Date Palm Cultivation in Southeastern Niger. *Agricultural Sciences*, 7, 586-603. Article qui fait l'objet du premier chapitre.
- **Zango, O.** Cherif E., Chabrillange N., Rey, H., Bakasso, Y. and Aberlenc, F. (2016) Genetic diversity of South-East Niger date palms reveals a secondary structure within western populations" Article soumis au journal *Theoretical and Applied Genetics*, qui fait l'objet du second chapitre.
- **Zango, O.**, Rey, H., Lecoustre, R., Bakasso, Y. and Aberlenc, F., (2016) Traits architecturaux du palmier dattier affectant la production agricole dans les palmeraies sahéliennes. Article qui sera soumis après traduction en anglais au journal *Annal of Botany*, fait l'objet du troisième chapitre.
- **Zango O.**, Rey H., Lecoustre R., Savadogo P., Abdousalam S, Aberlenc-Bertossi F. and Bakasso Y. (2016) Double floraison ou changement de comportement chez le palmier dattier au Sahel. Article qui sera soumis après traduction en anglais au journal *Annal of Botany*, présenté en Annexe.

LISTE DE PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS

Publications dans des revues internationales à comités de lecture

Zango, O., Rey, H., Bakasso, Y., Lecoustre, R., Aberlenc, F. and Pintaud, J.-C., (2016). Local Practices and Knowledge Associated with Date Palm Cultivation in Southeastern Niger. *Agricultural Sciences*, 7, 586-603.

Zango O., Cherif E., Chabrilange N., Rey, H., Bakasso Y. and Aberlenc, F. (2016) Genetic diversity of date palm in Sahel area and its relation compared to the world one. Soumis pour publication à la revue *Theoretical and Applied Genetics*.

Zango O., Lecoustre, R. Bakasso, Y., Aberlenc, F. and Rey, H., (2016) Traits architecturaux du palmier dattier affectant la production agricole dans les palmeraies sahéliennes. En préparation pour la revue *Annals of Botany*.

Zango O., Rey H., 2016 Lecoustre R., Savadogo P., Abdousalam S, Aberlenc F. and Bakasso Y. (2016). Double floraison ou changement de comportement chez le palmier dattier au Sahel. En préparation pour la revue *Annals of Botany*.

Publications dans des actes de colloques

Zango O., Pintaud J.-C., Littardi C., Rey H. Comparative study of architecture and geometry of the date palm male and female inflorescences. 2013. In: Proceedings of the First International Symposium on date palm, Algiers, Algeria, November 13-14, 2011. Bouguedoura Nadia (ed.), Bennaceur Malika (ed.), Pintaud Jean-Christophe (ed.). ISHS-Section tropical and subtropical fruits. *Acta Horticulturae* 994,175-191.

Communications orales

Zango O., Rey H., Bakasso Y., Lecoustre R., Bertossi-Aberlenc F., and Pintaud J.-C. 2016. Local Practices and Knowledge Associated with Date Palm Cultivation in Southeastern Niger. International conference of Applied Statistics for Development in Africa, Cotonou (Benin) November 23 to December 3 in preparation.

Zango O., Rey H., Bakasso Y., Lecoustre R., Bertossi-Aberlenc F., and Pintaud J.-C. 2016. Inventaire des variétés, pratiques et savoirs locaux autour du palmier dattier au sud-est du Niger. Colloque international sur la préservation et utilisation durables des systèmes, 28-29 Décembre 2016.

Zango O., Littardi C., Lecoustre R., Rey H. Comparative study of architecture and geometry of the date palm male and female inflorescences. 2016. In: Tropical ecology and society reconciling conservation and sustainable use of biodiversity. Program and abstracts. Plinio Sist (ed.), Stéphanie Carrière (ed.), Pia Parolin (ed.), Pierre-Michel Forget (ed.).

Zango O., Rey H. & Lecoustre R., 2013. Modélisation de l'architecture des inflorescences femelles du palmier : relation avec la phénologie et la production, Dies Palmarum, Sanremo, Italie, 4-7 Décembre 2013.

Communications par poster

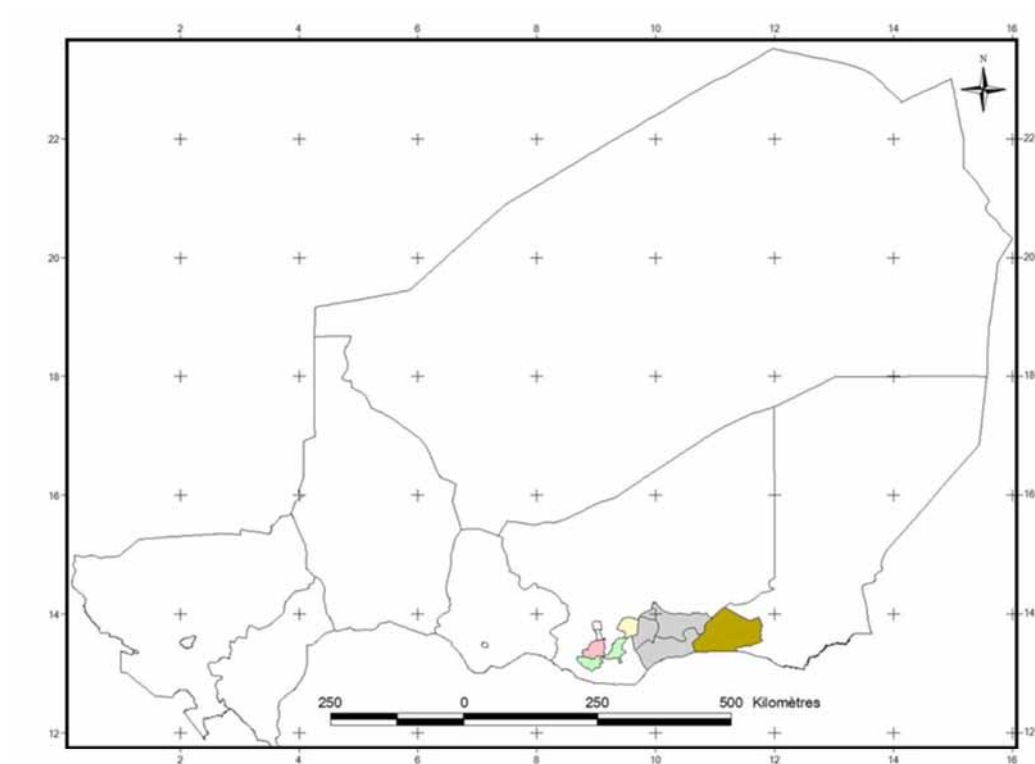
Zango O., Littardi C., Lecoustre R. and Rey H., 2016. Comparative study of architecture and geometry of date palm male and female inflorescence, Annual meeting of the Association for Tropical Biology and Conservation, Montpellier (France), June 19-23.

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE.....	1
1.1 Contexte de l'étude.....	2
1.1.1 Sahel.....	2
1.1.2 Niger	6
1.1.3 Site d'étude	9
1.1.3.2 Milieu humain.....	10
1.1.3.3 Milieu naturel.....	12
1.2 Quelques généralités sur le palmier dattier.....	24
1.2.1 Taxonomie du palmier dattier.....	24
1.2.2 Répartition géographique et habitat du palmier dattier.....	27
1.2.4 Ecologie et pratiques culturelles	40
1.3 Palmier dattier au Manga.....	48
1.3.1 Historique du dattier au Manga.....	48
1.3.2 Potentiel phœnicicol au Sud-est du Niger.....	50
1.3.3 Particularité du dattier dans les cuvettes oasiennes du Sud-est du Niger	50
1.5 Contexte général et problématique	51
CONNAISSANCES LOCALES AUTOUR DU PALMIER DATTIER.....	54
2.1 Introduction	55
2.2 Materials and methods.....	57
2.2.1 Study site and survey procedure	57
2.2.2 Data processing.....	60
2.3 Results	61
2.3.1 Local practices and knowledge associated with date palm.....	61
2.3.2 Inventory of date palm seed propagated varieties.....	64
2.3.3 Date production seasons.....	66
2.3.4 Date marketing	67
2.4 Discussion.....	68
2.4.1 Inventory of local seed propagated varieties.....	68
2.4.2 Local practices and knowledge associated with the date palm.....	69
2.4.3 Date production and marketing.....	70
2.5 Conclusion	71
CARACTERISATION DE LA DIVERSITE GENETIQUE DU PALMIER DATTIER AU SUD EST DU NIGER.....	73
3.1 Introduction	74
3.2 Materials and methods.....	76
3.2.1 Plant Materials	76
3.2.2 DNA preparation, amplification and genotyping.....	76
3.2.3 Data analyses	77
3.3 Results	79
3.3.1 Genetic diversity of Niger	79
3.3.2. South-east Nigerien genetic diversity in the world genetic pools.....	82
3.4. Discussion.....	87

ELABORATION D'UN MODELE ARCHITECTURAL DU PALMIER DATTIER AU SUD DU NIGER	89
4.1 Introduction	90
4.2 Matériel et Méthodes	92
4.2.1 Site d'étude	92
4.2.2 Matériel végétal	92
4.2.3 Mesures morphométries.....	94
4.2.4 Modèles PRINCIPES.....	97
4.3 RESULTATS.....	98
4.3.1 Modèle PRINCIPES	99
4.3.2 Morphologie et géométrie des palmiers.....	99
4.3.3 Simulation et reconstruction 3D de la plante numérique.....	106
4.3.4 Exploration et validation du modèle	110
4.3.5 Bilan radiatif	111
4.4 Discussion.....	113
4.5 Conclusion	115
DISCUSSION, CONCLUSION GENERALES ET PERCEPTIVES	117
5.1 Discussions générales et perspectives	117
5.1.1 Importance de la phœniciculture et des ressources génétiques du palmier dattier au Sud-est du Niger	117
5.1.2 Origine du palmier dattier du Sahel	118
5.1.3 Principaux problèmes liés à la culture du palmier dattier au Sahel	119
5.2 Conclusion générale	121
BIBLIOGRAPHIE	123
ANNEXES	139

INTRODUCTION GENERALE



1.1 Contexte de l'étude

1.1.1 Sahel

Le Sahel est la bande de territoire (Fig. 1.1) marquant la transition, à la fois floristique et climatique, entre le désert saharien au Nord et les savanes tropicales au Sud. Elle s'étend de l'Atlantique à la Mer Rouge (Aubréville, 1949) entre 12 et 20° de latitude Nord sur une superficie d'environ 5,4 millions de Km² (Buontempo, 2010). Suivant les critères phytogéographiques, écologiques et agropastoraux, la bande sahélienne se subdivise en trois zones (Fig. 1.1) :

- la zone saharo-sahélienne en contact direct avec le Sahara, cette sous-bande se caractérise par une pluviométrie annuelle de 100 à 250mm ;
- la zone typiquement sahélienne ou partie centrale de la bande qui se caractérise par une pluviométrie annuelle de 250 à 400mm et
- la zone sahélo-soudanienne en contact direct avec la zone soudanienne où la pluviométrie annuelle varie de 400 à 600mm plus au Sud ("Sahel," 2015).

Par la suite nous nous consacrerons à la zone typiquement sahélienne.

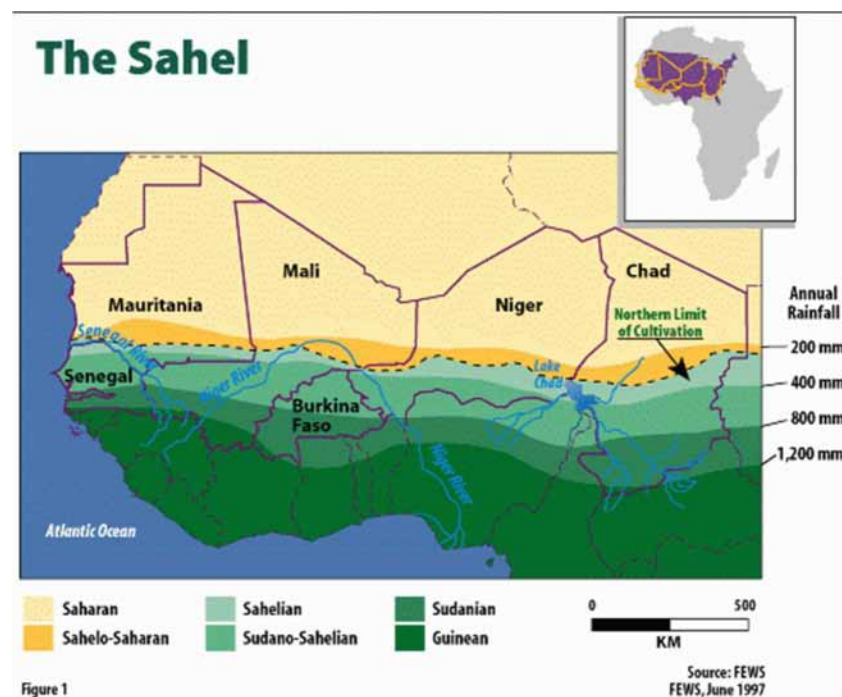


Fig. 1.1 : Le Sahel et ses différents zone climatiques ("Sahel," 2015.)

Le climat du Sahel se caractérise par deux saisons : une longue saison sèche qui dure 8 à 9 mois (octobre-mai) et une courte saison humide estivale qui dure 3 à 4 mois (juin-septembre ; Zhang & Cook, 2014).

La saison sèche se subdivise en une sous-saison sèche et froide et une sous-saison sèche et chaude. Au cours de la saison sèche, l'Harmattan (alizé boréal), ce vent relativement chaud et sec, venant du Nord-est souffle de novembre à avril. De vitesse parfois supérieure à 16m/s, ce vent dessèche les plantes annuelles et emporte les feuilles des plantes pérennes (Tidjani, 2008). La température maximale pendant la saison sèche peut atteindre des pics de 44°C autour de la période d'avril à mai (Météo Gouré, Niger). C'est la saison de repos et d'absence quasi-totale d'activité pour la population rurale du Sahel, néanmoins certaines personnes aguerries s'adonnent à des travaux de culture de contre-saison dans les endroits où la nappe est moins profonde (Jahiel, 1996).

Le processus prépondérant qui régit le climat du Sahel au cours de la saison des pluies est le système de la mousson de l'Afrique de l'Ouest, vaste schéma de circulation saisonnier à basse altitude généré par le gradient d'énergie statique sèche et humide de la couche limite méridionale entre le continent subsaharien chaud et sec et l'océan Atlantique tropical (Buontempo, 2010). Ce système, qui se met en place d'avril à octobre, entraîne une migration de la zone de convergence intertropicale (ZCIT) et de la pluviosité maximale qui y est associée vers sa localisation la plus septentrionale en Août (Buontempo, 2010; Zhang & Cook, 2014). L'essentiel des précipitations provient des systèmes convectifs de méso-échelle (Biilders *et al.*, 2004). Ces événements spectaculaires balayent le Sahel d'Est en Ouest à une vitesse moyenne de 60 à 70 km/h (Lebel *et al.*, 1997), Fig. 1.2b).

Au mois d'Octobre, la ZCIT redescend vers le Sud et l'Harmattan s'installe de nouveau au Sahel et ainsi commence la saison sèche (Fig. 1.2a).

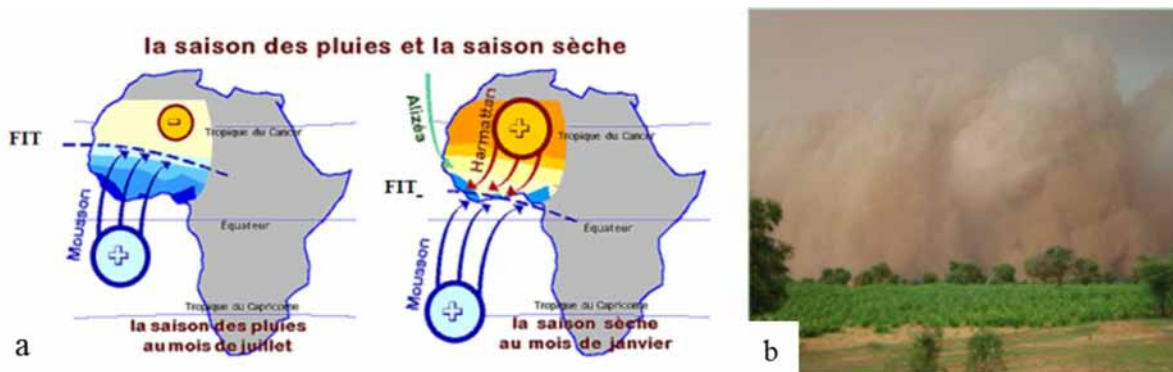


Fig. 1.2 : (a) Systèmes saisonniers climatiques et des vents associés au Sahel, (b) orage accompagné de poussière au Sahel.

La zone sahélienne fait partie des régions d'Afrique qui ont été le plus touchées par les changements globaux au cours des 40 dernières années qui se traduisent par une baisse et une irrégularité des précipitations, la diminution du couvert végétal herbacé et ligneux et la malnutrition (de Sherbinin, 2014). La moyenne pluviométrique annuelle de la période 1990-2002 est inférieure de 20% à celle de la période 1950-1969 (Balme *et al.*, 2006). En plus, la région a subi depuis les années 1970 une sécheresse extrême (Fig. 1.3) d'une durée et d'une ampleur inégalée au monde (Leduc *et al.*, 2001a; Biasutti & Giannini, 2006; Dai *et al.*, 2004). Les années de famines meurtrières de 1972-1973 et 1984-1985 au cours de la deuxième moitié du 20^{ème} siècle ont montré la forte vulnérabilité des populations sahéliennes aux épisodes secs (Thébaud & Batterbury, 2001; de Sherbinin, 2014) et les famines récentes de 2006 et 2010 montrent que la reprise relative des précipitations depuis la fin des années 1990 (Fig. 1.3) ne présage en rien le schéma d'un retour à des conditions climatiques plus favorables (Panthou *et al.*, 2014).

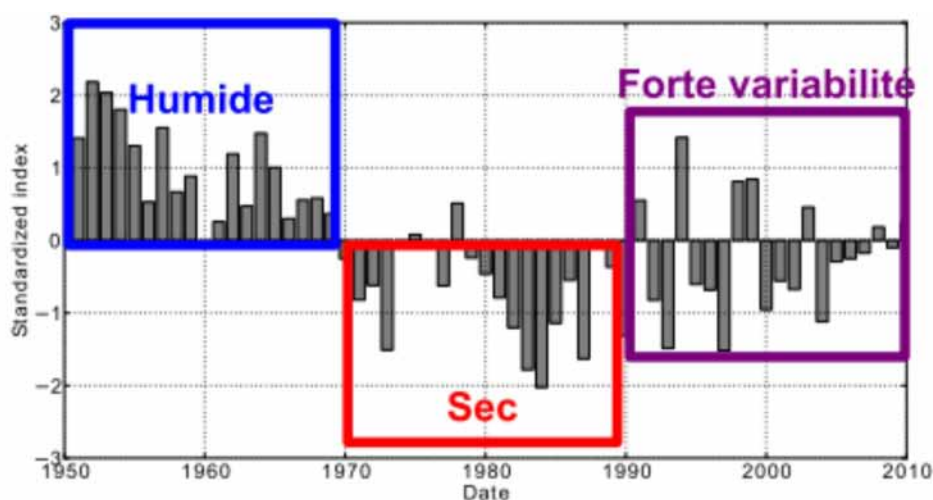


Fig. 1.3: Variabilité de la pluviométrie dans le Sahel de 1950 à 2010 (Panthou *et al.*, 2014)

En outre, en dépit des conditions sèches prédominantes, la région fait face à des pluies torrentielles et des inondations, notamment le cas des pluies du 1^{er} Septembre 2009 à Ouagadougou au Burkina Faso (Fig. 1.4a) et celles du 2 Août 2014 à Dantchandou au Niger où il a plu respectivement plus de 260 mm en 10 h et plus de 208 mm en 6 h (Panthou et al., 2012) ; (Panthou *et al.*, 2014). Les inondations de ces deux dernières décennies ont causé d'énormes pertes en vies humaines jamais connues par le passé dans le Sahel (Fig. 1.4b).

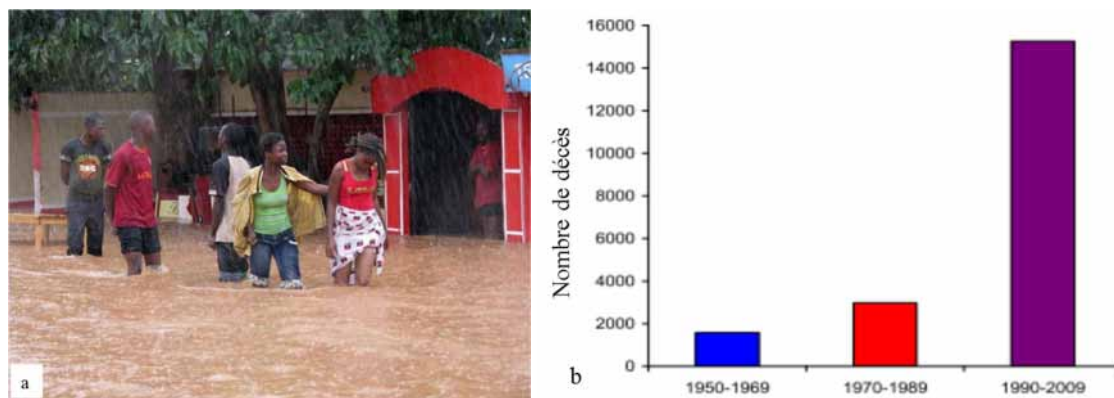


Fig. 1.4 : (a) Ville de Ouagadougou sous l'eau en 2009, (b) Pertes en vies humaines causées par les inondations au Sahel en fonction des périodes de 1950 à 2009 (Di Baldassarre et al., 2010).

Par ailleurs, la poursuite du réchauffement de la planète suscite une inquiétude croissante pour le climat futur de la région, étant donné que la population du Sahel accuse une forte dépendance vis-à-vis de l'agriculture, et que le changement climatique risque de modifier profondément les ressources en eau disponibles (de Sherbinin, 2014). Ceci augmenterait conjointement le dépérissement des formations naturelles. De nos jours, la dégradation des ressources phyto-génétiques au Sahel apparaît parmi les formes les plus sévères parallèlement à des multiples facteurs climatiques et anthropiques qui lui sont associés. Ces pressions sont conséquentes à un accroissement démographique de 3.01% (tableau 1.1) que connaît les 128.5 millions d'habitants de la bande sahélienne (May & Guengant, 2015). La réponse aux besoins alimentaires croissants de la population a été l'expansion et l'intensification de l'agriculture (Elagib, 2014). Le bouleversement des modes d'occupation des sols et de gestion des ressources naturelles qui ont été provoqués vont à l'encontre de la résilience de l'écosystème sahélien (Ozer et al., 2010a ; Ericksen et al., 2011).

Tableau 1.1 : Estimation des caractéristiques de la population du Sahel en 2014 (May & Guengant, 2015)

Pays	Populations (en millions)	Taux annuel d'accroissement (%)	Indice synthétique de fécondité (nombre moyen d'enfants par femme)
Burkina Faso	17,9	3,1	5,9
Tchad	13,3	3,3	6,6
Érythrée	6,5	2,6	4,7
Mali	15,9	2,9	6,1
Mauritanie	4	2,6	4,1
Niger	18,2	3,9	7,6
Sénégal	13,9	3,2	5,3
Soudan	38,8	2,5	5,2
Moyenne	16,06	3,01	5,69

1.1.2 Niger

Situé en Afrique de l'Ouest continentale, le Niger s'étend entre 11°37 et 23°33 Nord et entre 0°06 et 16° Est. Il est limité au Nord par l'Algérie et la Libye, à l'Est par le Tchad, au Sud par le Nigeria et le Bénin et à l'Ouest par le Burkina Faso et le Mali (Fig. 1.5). Le Niger couvre une superficie de 1.267.000 km² dont 40 % du territoire sont dominés par un climat sahélien (INS, 2013).

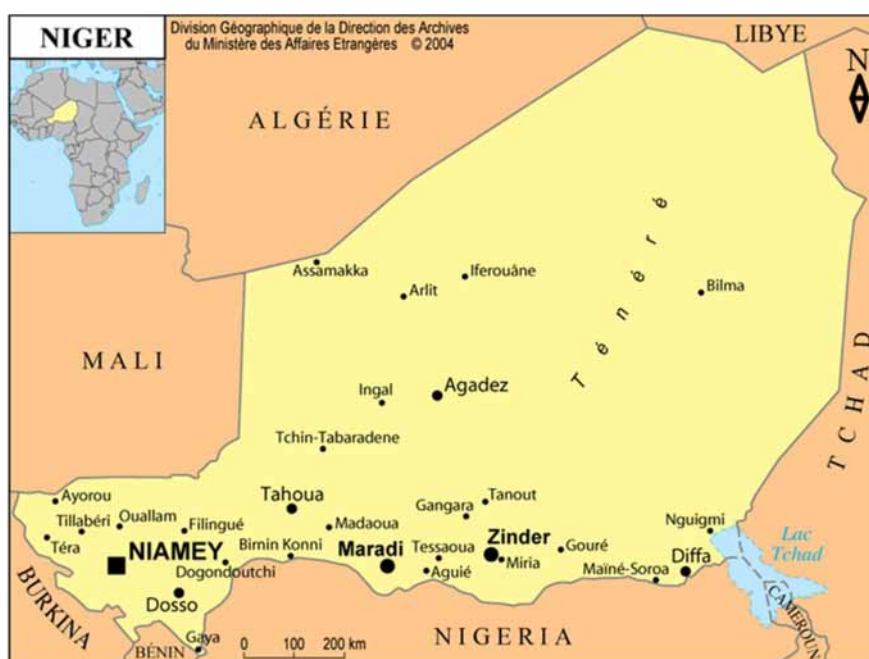


Fig. 1.5 : Carte du Niger présentant la capitale Niamey et les autres ville du pays en fonction de l'importance de la population urbaine (INS, 2013)

A l'instar des autres pays sahéliens, le Niger (Fig. 1.6) connaît une anomalie climatique très prononcée depuis plusieurs décennies. Les travaux de Hountondji, *et al.* (2004) illustrent très bien l'évolution climatique du pays. En effet, selon ces travaux, depuis la

fin des années 1960, le pays était gravement affecté par un déficit pluviométrique jamais enregistré au cours du 20^{ème} siècle. La diminution généralisée des précipitations au Niger, jusqu'au début des années 1990 est marquée par un retrait des courbes isohyètes vers le Sud (Fig. 1.6), atteignant parfois 200 km (Ozer & Erpicum, 1995).

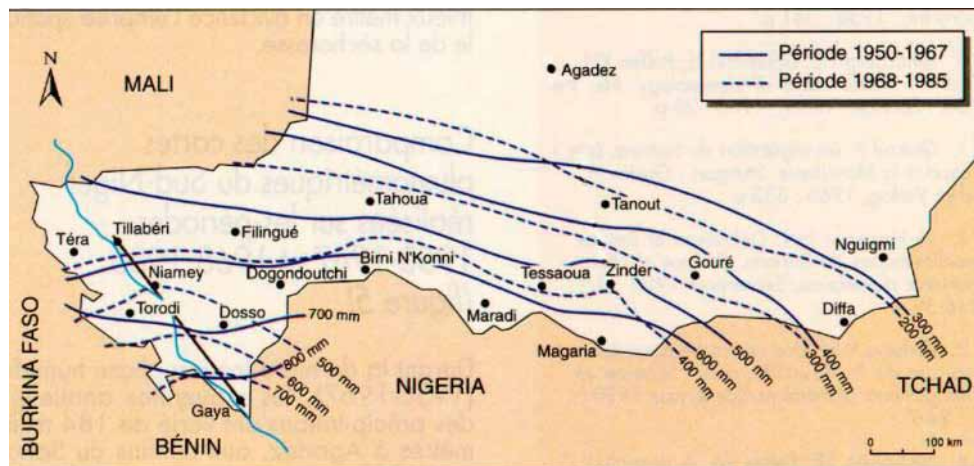


Fig. 1.6 : Carte pluviométrique du Sud Niger. Les isohyètes sont calculées sur la période dite « humide » (1950-1967) et la période de sécheresse (1968-1987, (Ozer & Erpicum, 1995).

La situation est d'autant plus préoccupante dans le sud-est du pays, où des zones de grandes productions agricoles sont passées du Sahel à culture pluviale (limite septentrionale de 300 mm) au Sahel dit pastoral, notamment le Manga ou le département de Gouré et la région de Diffa (Ozer, 1993). Ce glissement des isohyètes a eu des conséquences très négatives pour le monde rural, notamment par la diminution de pluie durant le mois d'août, qui correspond à la période la plus critique des besoins en eau des plantes au Sahel. La zone agricole s'en est trouvée ainsi réduite de moitié (Ozer & Erpicum, 1995) alors que les besoins s'accroissent rapidement du fait de l'accélération de la croissance démographique (INS, 2013) ; (May & Guengant, 2015).

Le taux de fécondité au Niger est le plus élevé en Afrique au Sud du Sahara, avec un peu plus de 7,6 enfants par femme (tableau 1.1). La population constituée à plus de 99% de musulmans, croît à un rythme annuel de 3,9 %. Elle était estimée à 18,2 millions d'habitants en 2014 (May & Guengant, 2015). Il s'agit surtout d'une population rurale, les villes concentrent moins de 20 % de la population (INS, 2013). Les activités d'exploitation des terres demeurent la source principale de revenu de près de 80 % des nigériens (INS, 2013).

Le pays vit dans un contexte socio-économique très précaire où les risques de famine sont très élevés. Cette situation de précarité humaine se pose avec beaucoup plus d'acuité dans le Sud-Est du pays. Les sécheresses récurrentes, conjuguées à la forte pression

anthropique sur les ressources naturelles, ont eu comme principale conséquence, la remobilisation de dunes de sable (autrefois fixées par la végétation) et l'ensablement des terres arables.

La solution à toutes ces perturbations environnementales est d'adapter à chaque zone agro-écologique (Fig. 1.7) du Niger sa propre stratégie d'exploitation agricole. Ainsi, dans la zone saharienne (hyper aride), certains fruitiers (agrumes, dattiers) et des cultures maraîchères (tomate, pomme de terre, choux) sont intensément exploités dans les oasis, seul endroit apte à la production agricole (Fig. 1.7). La zone sahélo-saharienne (aride), où les rares précipitations permettent le développement de quelques *Aristides* et des *Acacias*, est consacrée exclusivement au pastoralisme (Fig. 1.7). En zone sahélienne (Sahel septentrionale et orientale), avec 300 mm de pluie en moyenne, les cultures pluviales notamment mil, sorgho et niébé sont exploitées pendant la saison des pluies et les résidus des récoltes sont laissés aux animaux durant en saison sèche. Seul, les bas-fonds et les alentours des sources d'eaux (mares, rivières) sont utilisés pour les cultures de contre saison notamment les fruitiers (agrumes, mangue, dattier) et les plantes maraîchères (oignon, poivron, tomate). En zone soudanienne (Sahel occidental), l'exploitation concerne davantage les cultures plus exigeantes en eau (arachide, coton, sorgho, fruitiers) en saison des pluies et dans les jardins en saison sèche. A ces cultures s'ajoute la possibilité d'exploitation sylvicole en zone soudanienne (Fig. 1.7, (Banque Mondiale, 2010))

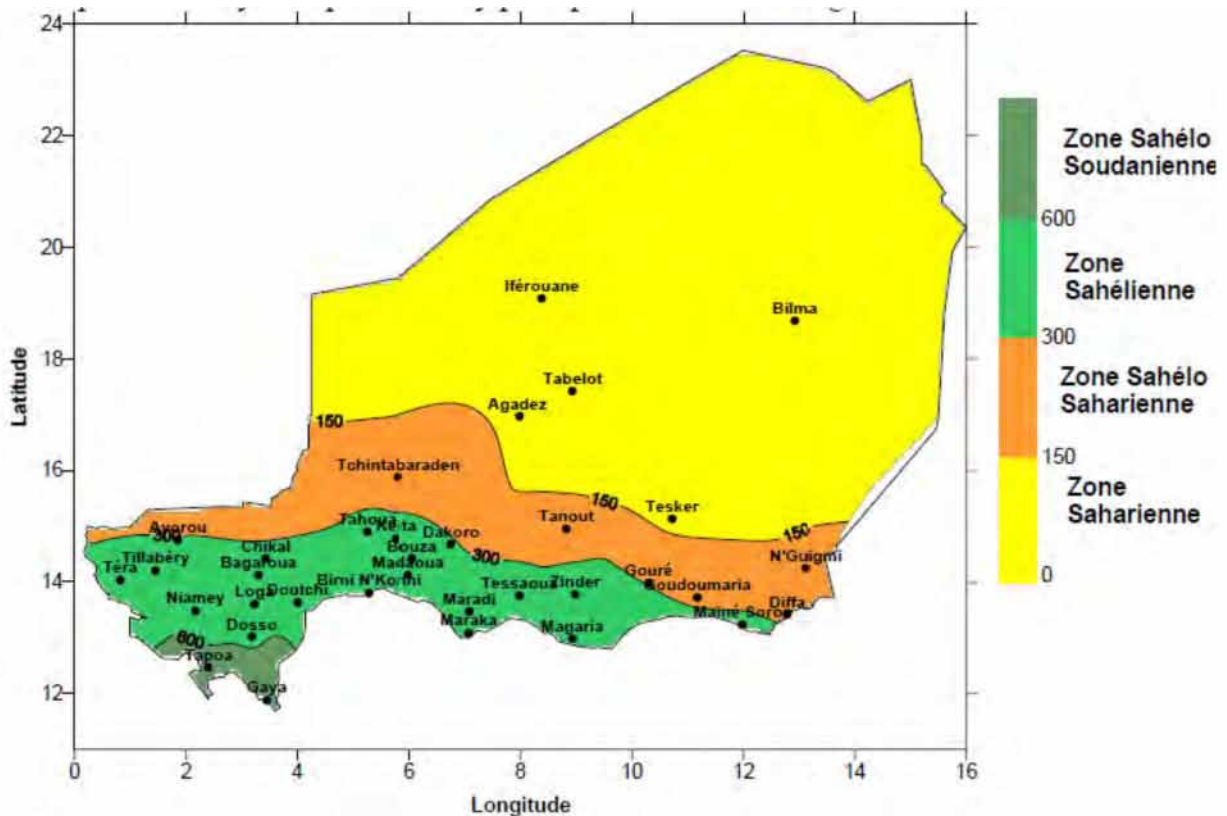


Fig. 1.7 : Zones agro-écologiques du Niger (Banque Mondiale, 2010)

1.1.3 Site d'étude

1.1.3.1 Localisation géographique

La principale zone site d'étude se situe entre 13°22' et 13°53'N et entre 9°52' et 11°47'E dans la partie sahélienne du Niger, au Sud-Est du Pays (Fig. 1.8). Le site appartient à une zone entité historique connue sous le nom du Manga ou Mangari. Cette entité n'a pas de limites géographiques et administratives bien définies. Néanmoins, elle s'étend du département de Gouré dans l'Est de la région de Zinder jusqu'au département de Mainé Soroa dans l'Ouest de la région de Diffa. Au Sud, le Manga s'étend au-delà du Niger sur les territoires frontaliers du Nigeria qui partagent la même population et les mêmes traditions culturelles. Pour couvrir l'ensemble des palmeraies du Sud-est du Niger, le Damagaram, région frontalière du Manga à l'Ouest a été ajouté. Ainsi, notre étude a concerné cinq départements, notamment celui de Gouré, Goudoumaria (région du Manga), Damagaram Takaya, Magaria et Mirriah (région de Damagaram, Fig. 1.8).

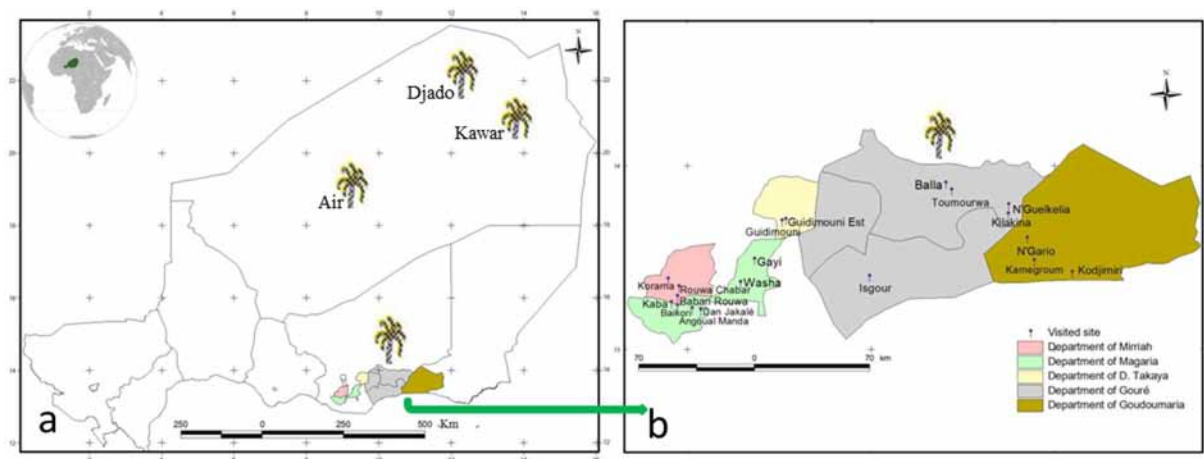


Fig. 1.8 : (a) Région du Manga dans le Sud-Est du Niger et (b) détails des cinq départements (carte : Garkoua)

1.1.3.2 Milieu humain

Population

Le peuplement du Manga s'est amorcé il y a plusieurs siècles. Les premiers habitants sont des populations de langue Kanouri, qui sont des agro-pasteurs sédentaires, auxquels sont venus s'ajouter des populations nomades, notamment les Peulhs, les Toubous, les Touareg, les Arabes et plus tard des commerçants Haoussas (Thébaud et Batterbury 2001).

L'histoire des populations de langue Kanouri est intimement liée à celles de l'empire du Bornou au Nigeria (Zakari, 1985). L'ensemble des populations de langue Kanouri est bien loin d'être homogène. Il englobe des peuples divers, essentiellement Kanembou et Sao. Le brassage entre ces peuples, amorcé au début du deuxième millénaire, s'est amplifié avec la naissance d'un puissant royaume (le Bornou) au XV^{ème} siècle. Les réalités ethniques (Kanouri, Mawar, Manga, Dagra *etc.*) telles qu'elles se présentent aujourd'hui sont postérieures à cet événement. Depuis pratiquement le début du deuxième millénaire, jusqu'à un passé récent, la région a été le théâtre d'incessants mouvements de populations. On distingue trois principaux courants migratoires :

- Un courant Nord-Sud qui est caractérisé par un déplacement progressif des Saos, vivant entre les oasis du Kavar, d'Agram et du massif de Termit et de certains Azna probablement originaires de l'Aïr vers le Tchad (positionnement des zones en Fig. 1.8) ;
- Un courant Est-Ouest qui a conduit les Kanembous et certaines populations autochtones du Bornou à se diriger vers le Mounio, le Koutous, le Damergou et le Damagaram ;

- Un courant Ouest-Est qui amena certaines populations du Koutous et du Mounio à se diriger vers le N'gourbaye et le Bornou jugés plus hospitaliers.

Les motifs des déplacements étaient liés aux conditions climatiques dans la région saharienne et les pressions (razzias) perpétrées par des nomades, notamment les Touaregs, les Toubous et plus tard les Arabes (Zakari, 1985).

La population actuelle du site d'étude estimée à 311 535 habitants en 2012 est composée majoritairement des Kanouris auxquels s'ajoutent des Haoussas, des Peulhs, des Toubous et des Touareg (INS, 2013).

Activités socio-économiques

L'agriculture du Manga est dominée par les cultures céréalières. Le système agricole pluvial le plus utilisé est l'association mil-sorgho, mil-niébé, mil-niébé-sorgho, mil-sésame-niébé ou encore les monocultures du mil, du sorgho, du niébé, d'arachide, *etc.* (Fig. 1.9a). le rendement des principales cultures mil, sorgho, niébé est en moyenne moins de 0.5 t à l'hectare (tableau 2, INS, 2013).

Les mauvaises récoltes pluviales ont amené les agriculteurs du Manga à orienter leurs activités vers la mise en valeur des cuvettes oasiennes. L'exploitation des cuvettes semble être aujourd'hui la seule alternative louable permettant la survie et le maintien des populations du Manga. Ainsi, la population s'adonne aux cultures de manioc, de laitue, de choux, de piments, de poivrons, de tomates, de patates douces, de carottes, d'oignons, de courges, cannes à sucre, des dattes, de mangues, de citrons, de papayes en cultures dite de contre saison (hors saison des pluies, Fig. 1.9b). Le maïs et le blé sont souvent associés à ces cultures.



Fig. 1.9 : (a) Association mil-sorgho en fin de campagne des cultures pluviales. (b) association des fruitiers et des cultures maraîchères en culture de contre saison dans une cuvette oasienne au Manga, (a1) mil, (a2) sorgho, (b1) palmier dattier, (b2) citronnier, (b3) papayer, (b4) courge et (b5) oignon.

Tableau 2 : Rendements des principales cultures du Niger (INS, 2013)

Rendement en Kg à l'hectare			
Principales cultures	Année		
	2010	2011	2012
Mil	529	391	544
Sorgho	392	268	442
Niébé	318	338	283

Après l'agriculture, le pastoralisme est la deuxième activité de la population du Manga. Il concerne l'élevage extensif en zone dite pastorale où la pluviométrie est généralement inférieure à 300 mm et intensif ou élevage de case qui consiste à élever quelques animaux dans les concessions ou en enclos autour des villages. Les animaux élevés au Manga sont les camelins, les bovins, les ovins, les caprins et les équins (chevaux et ânes, Fig. 1.10).

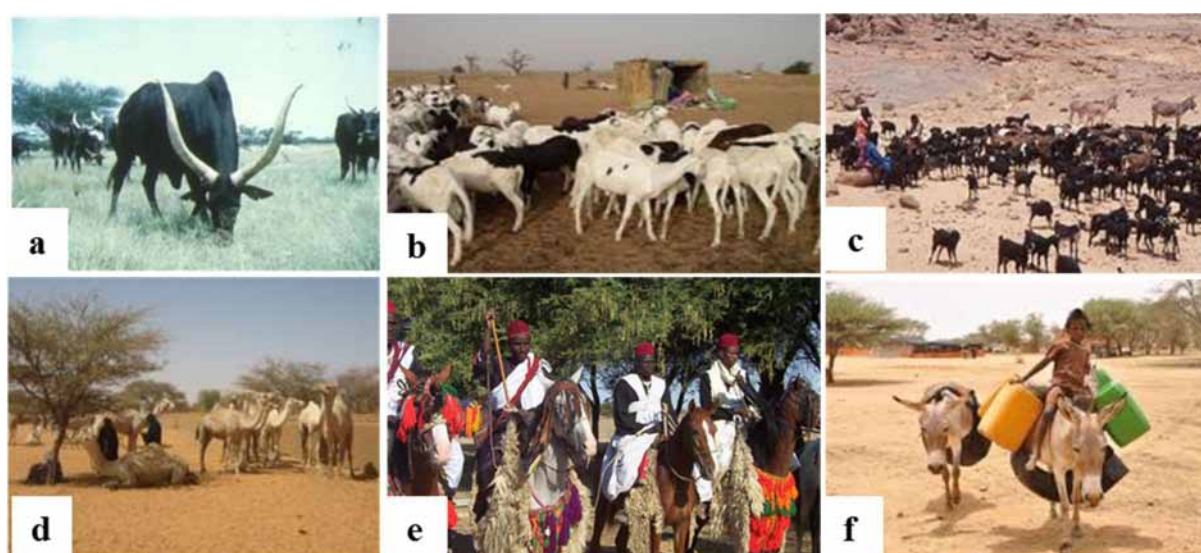


Fig. 1.10 : Animaux élevés au Manga : (a) bovins, (b) ovins, (c) caprins, (d) camelins, (e) et (f) équins.

Il faut ajouter à ces activités, le commerce des produits agricoles (céréales, légumes, fruitiers) et pastoraux (bétail, viande, lait, peau), du natron (carbonate de sodium déca hydraté de formule chimique $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) ramassé dans les fonds des cuvettes et des produits artisanaux notamment les paniers ou les nattes fabriqués à base de rachis ou de folioles de palmiers.

1.1.3.3 Milieu naturel

Le relief du Manga est constitué d'un vaste plateau sableux dont l'altitude est comprise entre 300 et 400 m (Fig. 1.11). Les parties les plus hautes correspondent aux dunes

mouvantes constituées du sable vif du bassin du Tchad, dont la formation remonte au Quaternaire (Garde, 1911). Les parties moyennes occupent près de la moitié de la région dont l'altitude est inférieure à 400 m (Ambouta, 2006). Les plaines occupent une frange de la bande Sud et la moitié Est de la région, selon une orientation Nord-Est à Sud-ouest avec une altitude inférieure à 400 m (Ambouta, 2006). Elles sont constituées de dunes fixées arasées et vives, mais aussi des bas-fonds, des mares et des cuvettes (Ambouta, 2006). Les cuvettes oasiennes du Manga qui représentent le principal site de notre étude seront décrites plus en détails en point 1.1.3.4.

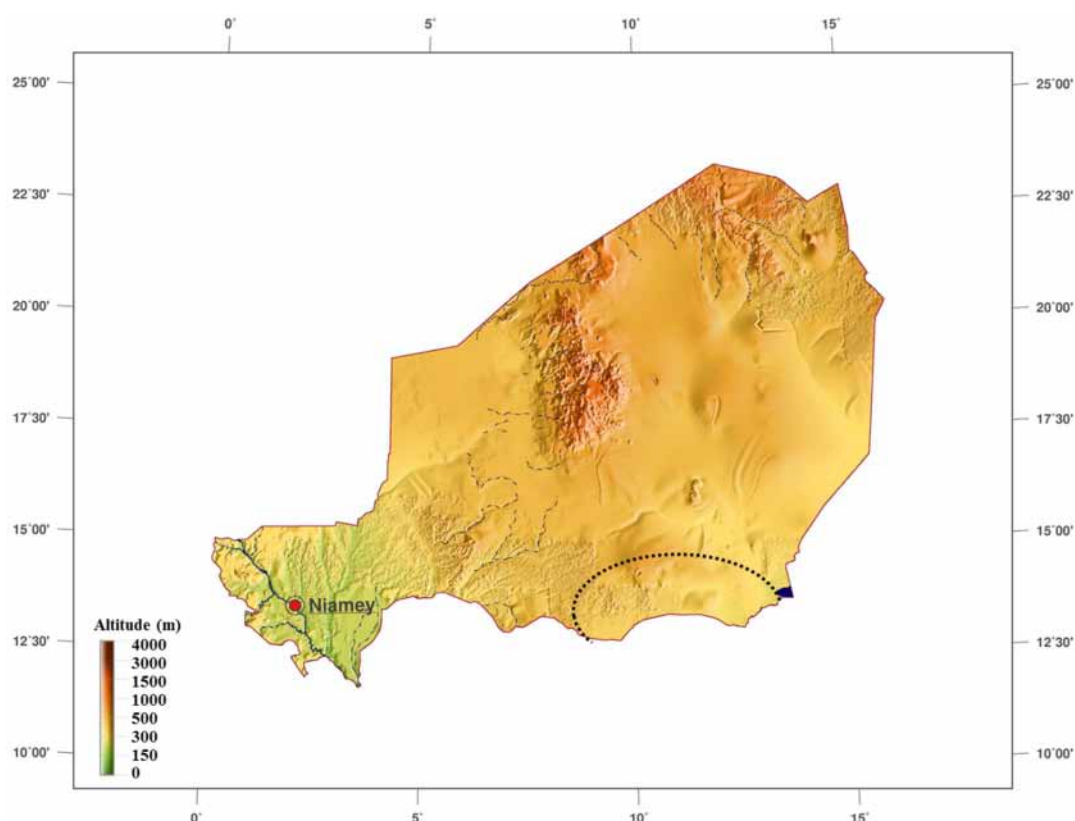


Fig. 1.11 : Carte géologique du Niger. La ligne en pointillés noirs définie comme limite Nord du site d'étude (Carte Niger, http://www.ginkgomaps.com/cartes_niger.html).

La grande majorité des sols du Manga ont pour origine la fixation des dunes datant du quaternaire par la végétation (Gavaud, 1977). Ces sols d'origine éolienne sont caractérisés par une texture sableuse dominante et une faible fertilité. Seuls les sols des bas-fonds et des cuvettes sont moyennement fertiles (Ambouta, 2006). Ils sont exploités comme terre de culture ou de pâturage. La remobilisation des dépôts de sable par le vent met actuellement en péril l'exploitation durable de ces terres (Mainguet & Reimer, 1998). Les sols des cuvettes seront décrits plus détails plus en bas.

Le climat du Manga est typiquement sahélien avec la saison des pluies s'installe au mois de Juin. Plus de 40% des précipitations annuelles sont enregistrées au mois d'août (station météo Gouré). La saison des pluies est aussi subdivisée en deux sous saisons :

- Une sous-saison relativement fraîche (juin à mi-septembre) caractérisée par des pluies orageuses, une forte humidité et une température moyenne de 33°C ;
- Une sous-saison relativement chaude (fin-septembre à octobre) avec généralement moins de pluies, une humidité moyenne et une température moyenne de 35°.

Le reste de l'année est dominée par la saison sèche comme décrite au point 1.1.1.

Les sources d'eau en dehors de la saison des pluies du Manga et du Damagaram sont essentiellement (Fig. 1.12) :

- le lac Tchad (étendue d'eau frontalier entre Niger, Tchad, Cameroun et Nigeria) avec près de 72 km³ d'eau stagnante dont 12% en partie la partie nigérienne (CBLT, 2008) ;
- La Komadougou Yobé qui vient des hauts plateaux de Jos et les collines autour de Kano et traverse le Manga au Sud entre le Niger et le Nigéria sur 150 km environ avant d'atteindre le lac Tchad. Elle charrie environ 500 millions de m³ d'eau par an en territoire nigérien (Bader *et al.*, 2011) ;
- Les Koromas au régime lié aux précipitations et au déversement des nappes contenues dans le substratum des vallées concernées. Les alentours des Koramas concentrent l'essentiel de la culture de contre saison au Damagaram ;
- Le lac Madarounfa ;
- Les mares et les retenues artificielles ;
- Les cuvettes oasiennes du Manga qui sont pour l'essentiel des endroits de cultures de contre saison (Fig. 1.12).

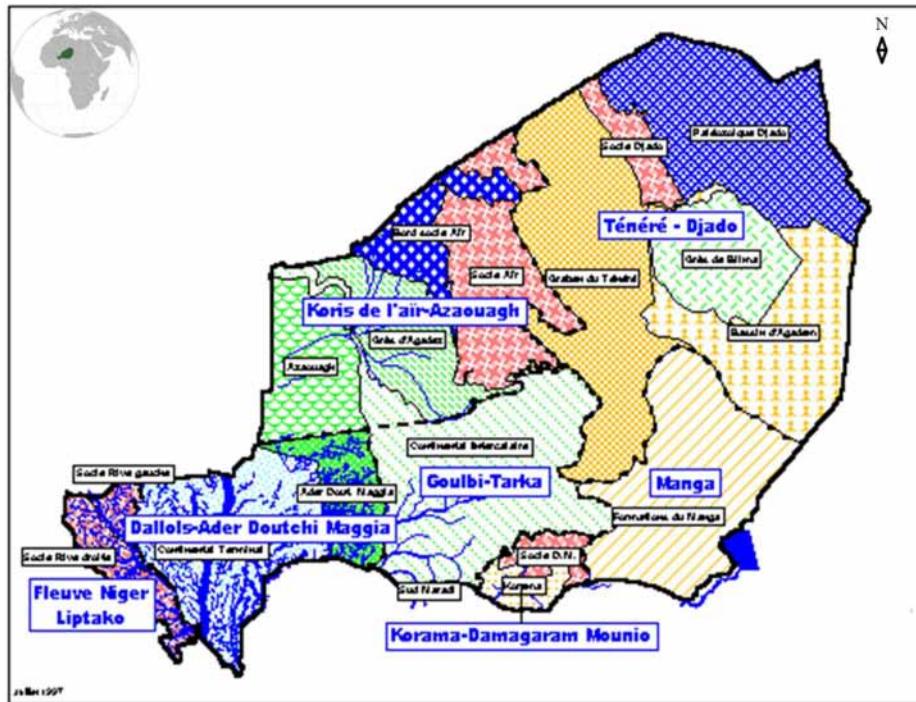


Fig. 1.12: Ressources hydrologiques du Niger (“SIGNER sur InterNet,” 2016)

Les eaux souterraines quant à elles sont réparties en ressources hydriques renouvelables dont la disponibilité est évaluée à environ 2,5 milliards de m³ actuellement exploitées à moins de 20% et en ressources hydriques non renouvelables dont les réserves sont estimées à quelque 2.000 milliards de m³ pour l'ensemble du Niger ("SIGNER sur InterNet," 2016).

Au cours de cette dernière décennie, on assiste à des remontées des eaux en surface dans les cuvettes, ce qui présage l’hypothèse d’un rechargement de la nappe (Favreau et al., 2011; Leduc et al., 2001; Nazoumou et al., 2016). Ce phénomène est sans doute la conséquence directe des variabilités de précipitations enregistrées au cours de cette dernière décennie décrite précédemment au point 1.1.1.

Outre les cultures que nous venons de décrire, on rencontre des formations végétales contractées ou arbustives claires. La strate herbacée est composée des graminées notamment *Cenchrus biflorus*, *Eragrostis tremula* alors que la strate ligneuse est dominée par des arbustes notamment *Leptadenia pyrotechnica* et des arbres tels qu'*Acacia Senegal*. On y rencontre aussi d'*Hyphaene thebaica* L. Mart. et du *Phoenix dactylifera* L. dans les endroits plus humides, notamment les basfonds et les cuvettes oasiennes du Manga (Harouna, 2006).

1.1.3.4 Cuvettes oasiennes du Manga

Les cuvettes sont des dépressions inter-dunaires de section très variée (amiboïde) et dont la forme générale se rapproche de celle d'un tronc de cône renversé (Garde, 1911) ; (Ambouta, 2006) ; Fig. 1.13). Elles sont généralement orientées Nord-Ouest Sud-Est (Fig. 1.13). Les dénivelés des cuvettes peuvent atteindre 10 à 40m de profondeur (Lenormand, 1984; Ambouta, 2006).

L'ensemble des cuvettes oasiennes du Sud-Est du Niger appartient au bassin du lac Tchad dont la formation remonte au quaternaire (Jahiel, 1996). A la moitié du Pléistocène Supérieur (pléni-glaciaire), il y a 50.000 ans avant notre ère, le lac Tchad couvrait la zone de Diffa jusqu'au socle granitique qui apparaît à Zinder et à Gouré. Le substrat argilo-limoneux salin qui surgit à l'heure actuelle en surface dans les cuvettes aurait été déposé à cette période à une profondeur de 50 m (Jahiel, 1996). Avec le recul du lac Tchad, ce plancher a été parcouru par de nombreux cours d'eau, confluents de la Komadougou-yobé, le long desquels se situent les cuvettes actuelles (Durand, 1978)

Puis, à la fin du Pléistocène Supérieur (au tardi-glaciaire) de 20.000 à 12.000 ans avant notre ère, le climat devenait aride avec une avancée des sables provenant des régions centrales du Sahara. Par un mécanisme non encore élucidé, où la végétation permanente, le long du cours d'eau et l'orientation des dépressions ont certainement joué un rôle déterminant, les cuvettes actuelles ne sont pas ensablées (Jahiel, 1996).

Ensuite, du début de l'Holocène (post glaciaire) jusqu'à la fin de cette époque (2.500 ans avant notre ère) une période pluviale voit les eaux du lac Tchad remonter jusqu'à Diffa et N'Guigmi, à la hauteur d'Issari. Les cuvettes sont sous l'eau et la végétation forme des couches de matière organique qui sont à l'origine de la richesse actuelle de leur sol.

Enfin, de la fin du post glaciaire (2.500 ans) à nos jours le climat actuel s'installe, le lac Tchad se replie et les cuvettes deviennent progressivement cultivables.

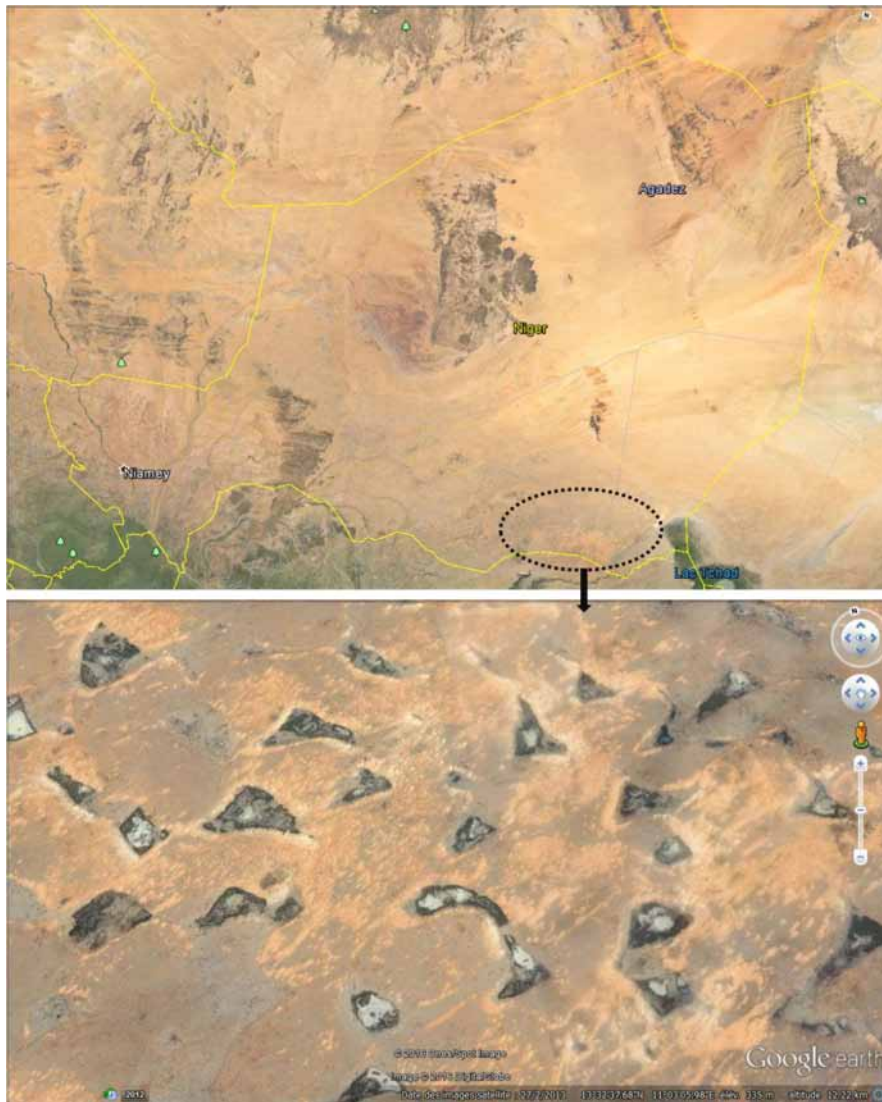


Fig. 1.13 : Zone des cuvettes du Sud-est du Niger (image : Google earth)

Typologie des cuvettes

La profondeur de la nappe au sein d'une cuvette varie généralement de 0 à 5 m et reste toujours inférieure à celle du plateau sableux environnant. Selon le régime hydrostatique de la cuvette, on distingue 3 grands types de cuvettes :

- Les cuvettes à eau affleurante (CEA) : nappe inférieure à 1,5 m ;
- Les cuvettes à eau intermédiaire (CEI) : nappe entre 1,5 et 4 m ;
- Les cuvettes à eau profonde (CEP) : nappe supérieure à 4 m.

Ces types de cuvettes s'organisent selon un gradient Sud-nord avec les cuvettes à eau affleurante localisées plus au Sud, les cuvettes à eau intermédiaire en zone intermédiaire et les cuvettes à eau profonde plus au Nord (Ambouta, 2006).

Dans les cuvettes, la végétation et les types de sols s'organisent en auréoles concentriques descendant en pente douce vers le centre avec, invariablement, la première auréole constituée essentiellement de doumiers (*Hyphaene thebaica*) denses et la plage centrale nue plus ou moins natronnée, parfois occupée par une mare (Fig. 1.14), (Ambouta, 2006). Le front dunaire est le lieu des cultures sous pluies (Fig. 1.14).

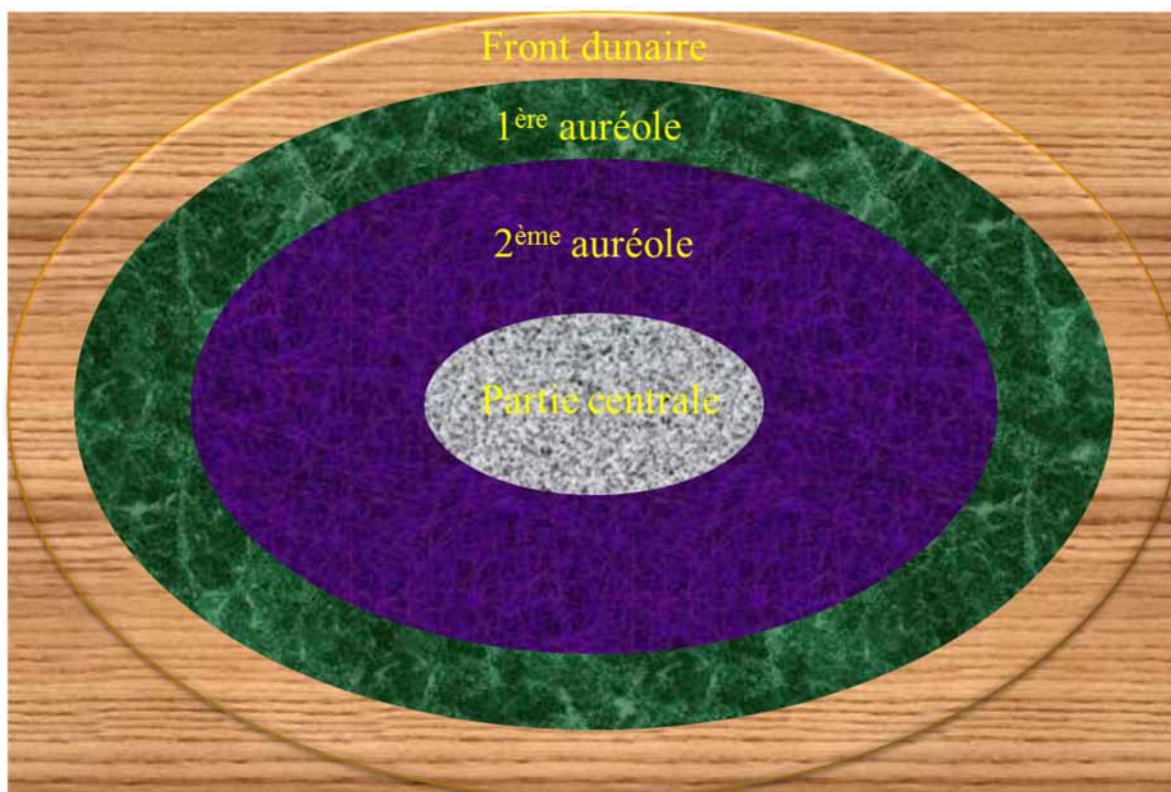


Fig. 1.14 : Schémas d'une cuvette vue de dessus avec sa disposition auréolaire.

On observe une bonne relation entre la profondeur de la nappe dans les cuvettes et leur exploitation. Les cuvettes à eau affleurante et intermédiaire sont essentiellement agricoles ; elles concentrent la majeure partie des activités d'arboriculture et du maraîchage alors que les cuvettes à eau profonde sont pastorales avec localement des cultures pluviales et quelques petits jardins (Ambouta, 2006). L'exploitation agricole des produits tels que manioc, choux, poivron, dattier, tomate, maïs, *etc.* constitue plus de 51% du revenu agricole globale contre 15.3% pour les cultures pluviales (Jahiel, 1998). A ce revenu agricole, il faut aussi ajouter le revenu tiré de l'exploitation du natron. Les cuvettes sont donc des sources de revenus importantes pour la population du Manga (Jahiel, 1996).

Cuvettes à eau affleurante

Le nombre des cuvettes à eau affleurante (Fig. 1.15) diminue avec la baisse généralisée de la nappe phréatique au Manga dans les années 1970 (PELCO, 2006). Encore

submergées sur 70 à 80% de leur surface il y a une trentaine d'années, ces cuvettes se sont révélées agronomiquement intéressantes avec la mise en valeur des sols liée au repli de la nappe (Ambouta, 2006). Les sols enrichis par les dépôts alluviaux et la proximité de la nappe (humidité permanente), permettent aux agriculteurs du Manga de développer le maraîchage et les cultures fruitières. Suivant la topo-séquence de la cuvette, on identifie trois parties (Fig. 1.15) :

Première auréole : Elle représente 15 à 25 % de la surface totale de la cuvette et porte une ceinture d'environ 10 m de large composée presque exclusivement de doumiers (*Hyphaene thebaica*) à frondaison généralement fermée hormis au niveau des zones d'accès (Ambouta, 2006). La densité des ligneux varie entre 300 à 1.300 pieds/ha (Harouna, 2006; Jahiel, 1989). Cette auréole constitue une haie vive protégeant ainsi la partie centrale de la cuvette.

Deuxième auréole : Elle représente 30 à 40 % de la superficie totale de la cuvette. La végétation ligneuse spontanée et plantée est composée essentiellement de dattiers, d'agrumes, de goyaviers, de papayers et manguiers, de doumiers, de *Piliostigma reticulatum* et de *Calotropis procera*. La végétation herbacée, très dense dans les zones inexploitées, est composée de chiendent et de *Schænfoldia gracilis*. Sur la partie exploitée se trouve le maïs, le blé, du manioc, la patate douce, l'oignon, le poivron, la tomate, les courges, le gombo, l'oseille de Guinée, le moringa *etc.* en polyculture. Elle est terminée par une zone submersible par l'eau de la mare de la partie centrale en saison des pluies lorsque l'année est assez pluvieuse (Ambouta, 2006). Cette partie porte une végétation naturelle presque exclusivement constituée de roseaux très denses et luxuriants. Dans les zones localement exploitées, les cultures les plus rencontrées sont surtout la canne à sucre, la patate douce, le blé et le maïs.

Partie centrale

La partie centrale constitue la mare de la cuvette, qui devient généralement nue après le tarissement en saison sèche (Ambouta, 2006). Elle représente entre 15 à 35 % de la surface de la cuvette (Jahiel, 1989) et est essentiellement destinée à l'exploitation du Natron.



Fig. 1.16 : Cuvette à eau affleurante (image : Google earth)

Cuvettes à eau intermédiaire

Le nombre des cuvettes à eau intermédiaire (Fig. 1.16) tend à se maintenir logiquement en fonction de la baisse du niveau phréatique (les cuvettes qui deviennent à eau profonde sont compensées par les cuvettes à eau affleurante dont la nappe s'affaisse, (PELCO, 2006). Suivant la topo-séquence de la cuvette, on rencontre presque les mêmes caractéristiques que la cuvette à eau affleurante à quelques différences près :

Première auréole : La ceinture de doumiers laisse de place en place des ouvertures utilisées comme voies préférentielles d'accès à la cuvette par les hommes et les animaux (Ambouta, 2006).

Deuxième auréole : Elle constitue un glacis faiblement ondulé à végétation ligneuse composée surtout de palmiers dattiers, manguiers, agrumes, bananiers, papayers et rôniers. On y observe aussi quelques pieds de *Calotropis procera*, *Acacia senegal*, *Acacia nilotica* et d'*Azadiracta indica* et, dans la frange aval, des plants de roseaux. Dans la zone cultivée, on trouve du manioc sur la frange amont de l'auréole puis en aval, sous irrigation, de l'oignon, de la laitue, du maïs, du chou, de l'oseille de Guinée et de la patate douce (Ambouta, 2006).

Partie centrale : Elle présente les mêmes caractéristiques qu'au niveau de la cuvette à eau affleurant. Elle est nue et est le lieu du ramassage du natron.



Fig. 1.16 : Cuvette à eau intermédiaire (mage : Google earth)

Cuvettes à eau profonde

La baisse généralisée du niveau de la nappe phréatique a considérablement augmenté le nombre des cuvettes à eau profonde (PELCO, 2006); Fig. 1.17). Dans ces types de cuvette les cultures maraîchères et fruitières semblent être un plus difficiles à cause de la profondeur de la nappe, néanmoins beaucoup de ces cuvettes sont exploitées par la population du Manga.

Première auréole : La végétation est moins dense que dans les deux premiers types de cuvette. On observe parfois la présence de termitières géantes dans les touffes de doumiers (Ambouta, 2006). Cette partie est souvent occupée par la culture du mil à même titre que les dunes environnantes.

Deuxième auréole : C'est une unité relativement plate colonisée par des végétaux ligneux dominés par des dattiers et des acacias (*A. seyal* et *A. nilotica*) avec de place en place des doumiers. Le sol est apte à la culture irriguée tant céréalière, maraîchère que fruitière (Ambouta, 2006).

Partie centrale : Elle comporte quelques maigres touffes de graminées halophiles se développant en périphérie. La production du natron semble être la seule aptitude des sols du centre des cuvettes à eau profonde (Ambouta, 2006).



Fig. 1.17 : Cuvette à eau profonde (image : Google earth)

Menaces sur les cuvettes

La remobilisation des dunes de sables vifs conduit à l’envahissement des cuvettes du Manga (Fig. 1.18) et même les villages (Fig. 1.19) ne sont pas épargnés par ce fléau.

Le phénomène d’ensablement (figures 1.18 et 1.19) est aujourd’hui accentué par les changements climatiques, l’augmentation de vents, des températures beaucoup plus élevées et la diminution des pluies (Tidjani, 2008). Cette situation décime les végétaux qui fixent les dunes les sols et, par conséquent, facilite la remobilisation des sables en les rendant plus vifs. On observe dans certaines cuvettes un ensevelissement complet ou partiel des troncs d’arbres ou des stipes des palmiers. L’ensablement a pour conséquence le dépérissement des espèces ligneuses, la baisse de fertilité des sols, la perte quasi-définitive de sols agricoles à forte productivité avec toutes les conséquences que cela entraîne sur les activités socio-économiques de la région.



Fig. 1.18 : Cuvettes menacés d'ensablement au Sahel (photos : Zango)



Fig. 1.19: Village menacé par le mouvement des dunes au Sahel (Photo : (Harouna, 2006))

Lutte contre l'ensablement des cuvettes

L'Etat et les ONGs utilisent comme moyens de lutte contre l'ensablement la fixation des dunes, qui consiste en la mise en défend de la partie à fixer par l'installation de claies périmétrales et la limitation du mouvement des particules ainsi que le piégeage de celles-ci par l'installation de claies internes (PASAM, 2007). Deux méthodes sont utilisées dans la région du Manga : la fixation mécanique (Fig. 1.20) et la fixation biologique (Fig. 1.21) des dunes (PASAM, 2007).

La fixation mécanique consiste à mettre en place un dispositif de clayonnage (Fig. 1.20a), avec les branches de *Leptadenia pyrotechnica* ou des palmes du dattier, dans lequel seront disposés en bande de 5 m les rachis du palmier doum (Fig. 1.20b&c) intercalé par des bandes nues de 0,5 m pour ralentir la vitesse du vent et freiner la mobilisation des sables (PASAM, 2007). L'installation de claies constitue un obstacle au vent qui de cette manière se trouve ralenti et dévié. L'obstacle doit être relativement perméable sinon, il provoque une accélération du vent et la création de tourbillons pouvant mettre des particules en mouvement (PASAM, 2007).



Fig. 1.20 : Fixation mécanique des dunes par épandage des rachis des palmiers doum. (a) mise en place du clayonnage, (b) transport des rachis des doumiers et (c) épandage des rachis de doumiers (PASAM, 2007).

La fixation biologique des dunes consiste à produire en pépinière des plants d'espèces résistantes à la sécheresse (les essences ligneuses généralement utilisées sont *Prosopis chilensis*, *Acacia senegal*, *Acacia albida*, *Acacia nilotica*, *Acacia radiana* et *Azadirrachta indica*, Fig. 1.21a). Ces plants seront ensuite plantés de juillet à mi-août, après une ou deux pluies consécutives (≥ 20 mm) à l'intérieur du dispositif mécanique de clayonnage (Fig. 1.21b). Cette plantation peut être renforcée par un ensemencement d'espèces herbacées (*Adropogon gayanus*, *Cenchrus bifloris*, Fig. 1.21c). Les résultats obtenus jusqu'à aujourd'hui sont assez satisfaisant, mais la menace d'ensablement plane toujours.

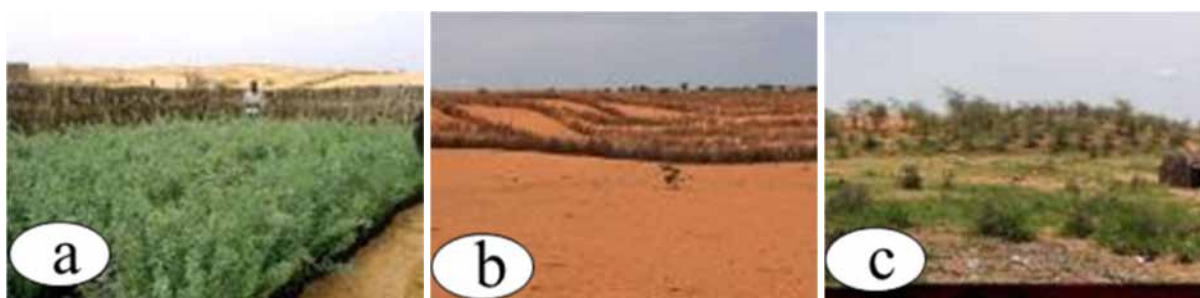


Fig. 1.21 : Fixation biologiques des dunes par plantation d'abres. (a) pépinière, (b) dispositif du clayonnage, (c) reprise de la végétation du site à fixer (photos : PASAM, 2007).

1.2 Quelques généralités sur le palmier dattier

1.2.1 Taxonomie du palmier dattier.

Les palmiers, plantes monocotylédones de la famille des Arecaceae sont originaires des régions tropicales humides (Dransfield et al., 2008) mais au cours du temps, certaines espèces se sont adaptées aux climats chauds, semi-arides ou arides. Au Sahara, cette famille, d'environ 2800 espèces (Tomlinson & others, 1990) est représentée par deux espèces d'importance économique majeure, *Hyphaene thebaica*, le palmier doum et *Phœnix dactylifera*, le palmier dattier (Benchelah & Maka, 2006).

Le palmier dattier appartient à la sous-famille des *Coryphoideae*, tribu des *Phœniceae* (Asmussen *et al.*, 2006). Le dattier est un *Phœnix*, qui est le seul genre de la tribu des *Phœniceae*. Au sein du genre *Phœnix*, les espèces sont proches morphologiquement avec des feuilles pennées, des folioles indupliquées en forme d'un 'V' ouvert vers la face ventrale de la palme à la base de laquelle, ces folioles sont modifiées en épines ou acanthophylles (Bouguédoura, 1979 ; 1991), Fig. 1.22). Ces caractéristiques font que les espèces *Phœnix* sont parfois difficiles à différencier (Pintaud *et al.*, 2010), néanmoins on distingue aujourd'hui 17 espèces différentes (<http://www.palmpedia.net/wiki/Category:PHŒNIX>).

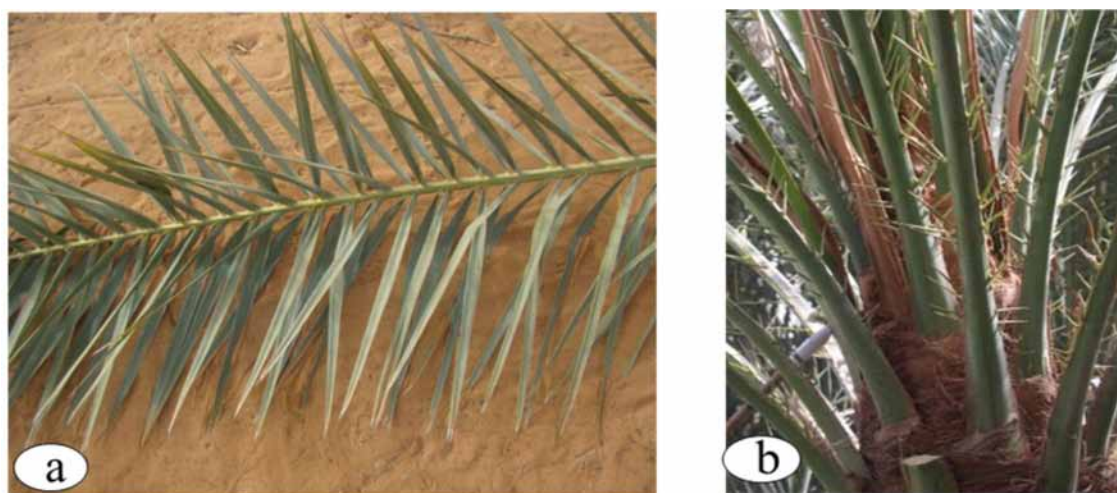


Fig. 1.22 : Caractéristiques morphologiques propres au genre *Phœnix*. (a) Feuille pennée et folioles indupliquées, (b) Acanthophylles.

Au niveau moléculaire, ce genre est également très divergent des autres palmiers mais reste difficile à classer phylogénétiquement (Asmussen *et al.*, 2006; Hahn, 2002). Il est placé en groupe frère des *Sabalae*, *Cryosophylae* et *Trachycarpeae* (Uhl *et al.*, 1995 ; Baker *et al.*, 2009), en groupe frère des *Trachycarpeae* (Asmussen & Chase, 2001), ou dans un clade avec les tribus *Cryosophyleae* et *Trachycarpeae* (Hahn, 2002).

1.2.1.1 Diversité génétique du palmier dattier

Ces dernières années, avec le développement des marqueurs moléculaires et pour pallier aux problèmes liés à l'identification phénotypique sur critères morphologiques des variétés du palmier dattier, les études sur la diversité génétique de l'espèce à l'aide de marqueurs moléculaires se sont multipliées. Le dattier est une espèce diploïde ($2n = 36$) comme les autres *Phœnix* (Beal, 1937) même si, des cas d'aneuploïdie et de polyploïdie ont été rapportés par Shabana *et al.* (2010).

Différents marqueurs génétiques ont été utilisés pour étudier la diversité génétique du palmier dattier : les RAPD (Random Amplification of Polymorphic DNA) (Sedra *et al.*, 1998; Mirbahar *et al.*, 2014) les RAMPO (Random Amplified Microsatellite Polymorphism) (Rhouma *et al.*, 2008), les AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism) (Jubrael *et al.*, 2005; Rhouma *et al.*, 2007) et les microsatellites (Billotte *et al.*, 2004; Al-Ruqaishi, 2008; Ludena *et al.* 2011; Bodian *et al.*, 2012; Aberlenc-Bertossi *et al.*, 2014). La plupart des études se sont focalisées sur des marqueurs nucléaires mais certaines se sont penchées sur des marqueurs chloroplastiques (Al-Qurainy *et al.*, 2011), ont combiné les deux (Pintaud *et al.*, 2010) et des marqueurs du sexe (Cherif *et al.*, 2013). Au vu des avantages présentés par les microsatellites pour l'étude de la diversité de nombreuses paires d'amorces pour l'amplification de microsatellites chez le dattier ont été publiées ces dernières années (Akkak *et al.*, 2009; Arabnezhad *et al.*, 2012; Billotte *et al.*, 2004; Aberlenc-Bertossi *et al.*, 2014).

En outre, de récentes études, fondées sur des microsatellites et impliquant des cultivars orientaux des pays comme Oman, les Emirats Arabes Unies, l'Irak et le Pakistan et des cultivars occidentaux des pays comme l'Egypte, le Maroc, la Tunisie et l'Algérie démontrent une forte différenciation géographique entre ces groupes (Gros-Balthazard *et al.*, 2013; Cherif *et al.*, 2013; Pintaud *et al.*, 2013; Zehdi-Azouzi *et al.*, 2015). La présence de deux chlorotypes a aussi été détectée chez le dattier (Pintaud *et al.*, 2010). Les travaux de Gros-Balthazard (2012) et de Pintaud *et al.*, (2013) sur les origines de la domestication du palmier dattier, font état de deux origines dont une origine de domestication orientale probablement au Golfe persique et une origine de domestication occidentale qui regroupe les palmeraies d'Afrique du Nord jusqu'en Espagne.

Les travaux de caractérisation de la diversité génétique entrepris dans les pays de tradition phœnicicole finissent par conclure que la diversité génétique du palmier dattier est très élevée du fait de son caractère dioïque et de sa probable plasticité d'hybridation avec d'autre *Phœnix* (Gros-Balthazard, 2013).

1.2.1.2 Cultivars de palmier dattier

Un cultivar est un ensemble de clones d'un même individu qui a été propagé végétativement la plupart de temps pour préserver la qualité gustative de ses fruits. Il s'agit principalement d'individus femelles mais il existe de rares cultivars mâles tels que 'Fard' et 'Jarvis' d'Oman (Abdoussalam & Pasternak, 2015).

Le nombre de cultivars à travers le monde est estimé à plus de 5 000 (Jaradat & Zaid, 2004). Il est de 940 en Algérie (Hannachi *et al.*, 1998), 453 au Maroc (Sedra, 2011a; Sedra, 2011b), 250 en Tunisie (Rhouma, 2005), 400 au Soudan (Osman 1984 ; Elshibli & Korpelainen, 2009) ou encore de près de 30 au Nord Niger (Abdoussalam et Pasternak, 2015). Le nombre exact des cultivars d'un pays reste pourtant difficile à évaluer. En effet, comme chez de nombreuses espèces fruitières, il existe des problèmes d'homonymie, c'est-à-dire que des cultivars différents peuvent porter un même nom. Par exemple, les cultivars 'Khalas' originaires d'Oman et de Bahrein sont différents (Al-Ruqaishi *et al.*, 2008). A l'inverse, des noms légèrement modifiés sont portés par des cultivars identiques (synonymie), souvent au gré de leur diffusion. Ainsi, le cultivar 'Bitamoda' au Soudan (Elshibli & Korpelainen, 2008) est dénommé 'Bertamoda' en Egypte (Saker *et al.*, 2006). En outre, il existe des groupes de génotypes différents portant un nom identique, comme c'est le cas dans l'oasis de Siwa, en Egypte (Battesti, 2013). De même, les «cultivars» Marocains 'Admam' et 'Tadmant' présentent une grande variabilité génétique (Bodian *et al.*, 2014). A noter qu'il existe une variabilité intra-cultivar (Devanand & Chao, 2003) du fait de la présence de mutations somatiques. Au Sud-est du Niger, cette reconnaissance des cultivars se base plutôt sur la couleur du fruit.

Les variétés les plus cultivées à l'échelle internationale (cultivars élites) sont 'Medjool', 'Barhee' et 'Deglet Nour'.

1.2.2 Répartition géographique et habitat du palmier dattier

1.2.2.1 A l'échelle mondiale

La culture du palmier dattier est concentrée dans les régions arides au Sud de la Méditerranée et dans la frange méridionale du Proche Orient depuis le Sud-Est de l'Iran jusqu'à la côte atlantique de l'Afrique du Nord à l'Ouest, entre les altitudes 15° et 35° Nord. L'Espagne reste le seul pays d'Europe à produire des dattes principalement dans la célèbre palmeraie d'Elche, située à l'Ouest d'Alicante à 39° Nord (Munier, 1973). L'aire de culture historique, traditionnelle, du dattier est celle pour laquelle la phœniciculture y est millénaire. Il s'agit du Moyen et du Proche-Orient, de l'Afrique du Nord et d'une partie du Nord-ouest de l'Inde et du Pakistan (Malik, 1984 cité par (Barrow, 1998) (Fig. 1.23).

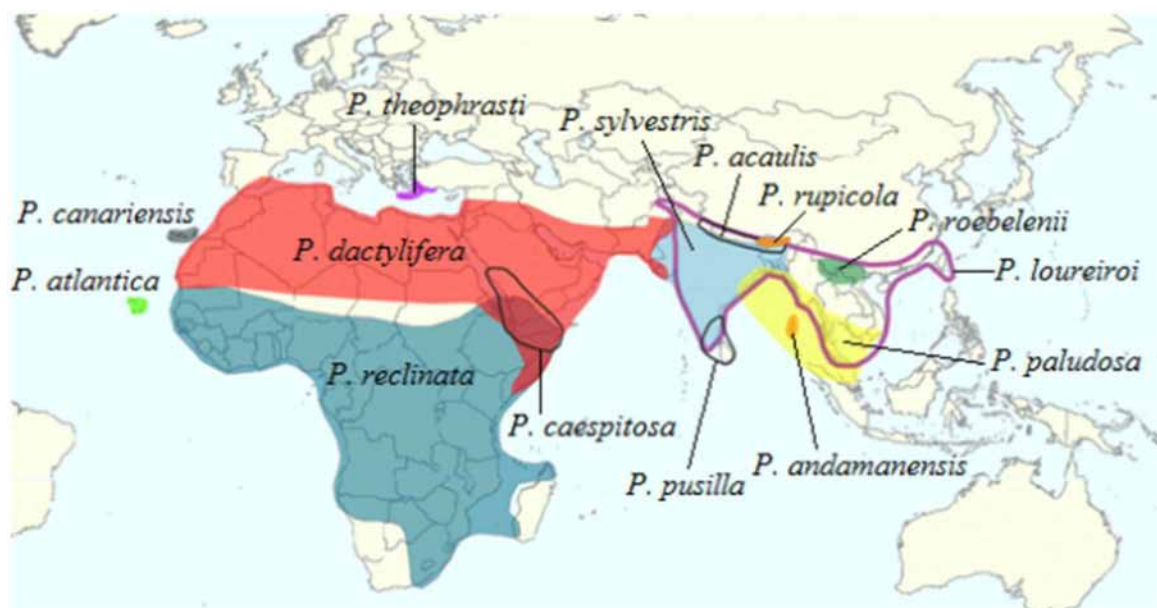


Fig. 1.23 : Pays de tradition phœnicicole en rouge à travers le monde (Gros-Balthazard *et al.*, 2013)

Le palmier dattier se trouve aussi en Afrique subsaharienne notamment dans les pays sahélien. Il a également été introduit au Mexique, en Argentine et en Australie où il est cultivé à plus faible échelle. On le rencontre aussi un peu partout à travers le monde sous forme de pieds isolés ou en petits peuplements pour l'ornementation des villes, comme c'est le cas à Sanremo en Italie (Zango *et al.*, 2013), mais aussi en Russie et en Afrique du Sud (Munier, 1973).

La production mondiale de dattes est estimée à près de 8 millions de tonnes en 2011. Avec plus de 18% de la production, l'Égypte est le premier pays producteur de dattes au monde (Fig. 1.24 ; FAOSTAT, 2016).

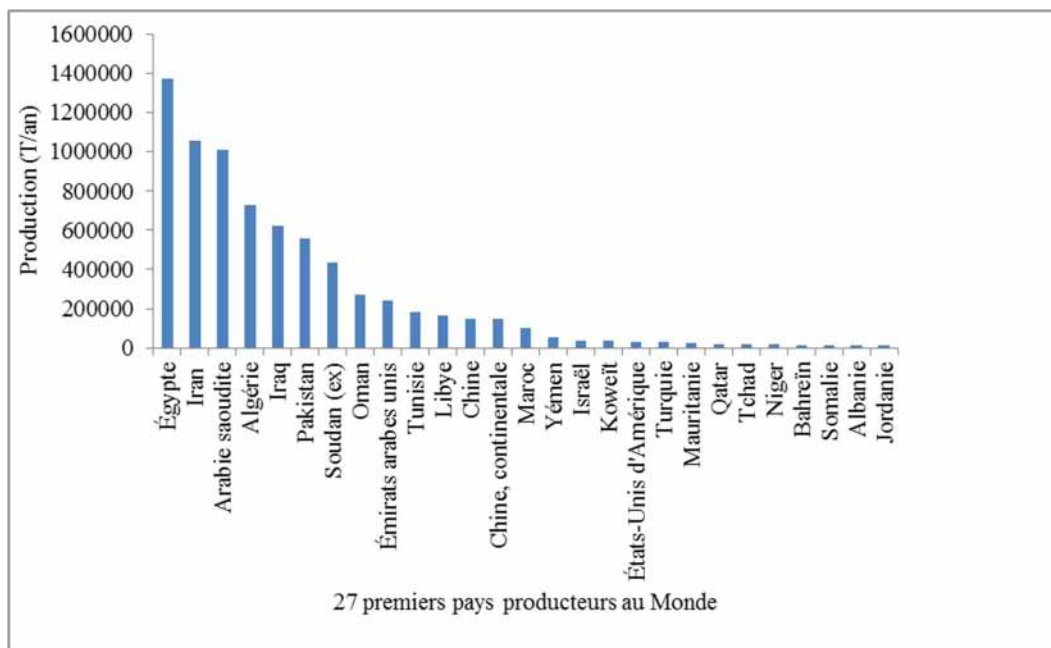


Fig. 1.24 : Production de dattes des 27 premiers pays producteurs dans le Monde (FAOSTAT, 2016).

1.2.2.2 Au Sahel

Au cours des deux derniers siècles, avec l'expansion de l'islam vers les années 1800, le palmier dattier a gagné l'Afrique subsaharienne dont presque tous les pays sahéliens d'Afrique de l'Ouest (Fig. 1.25, Jahiel 1996).

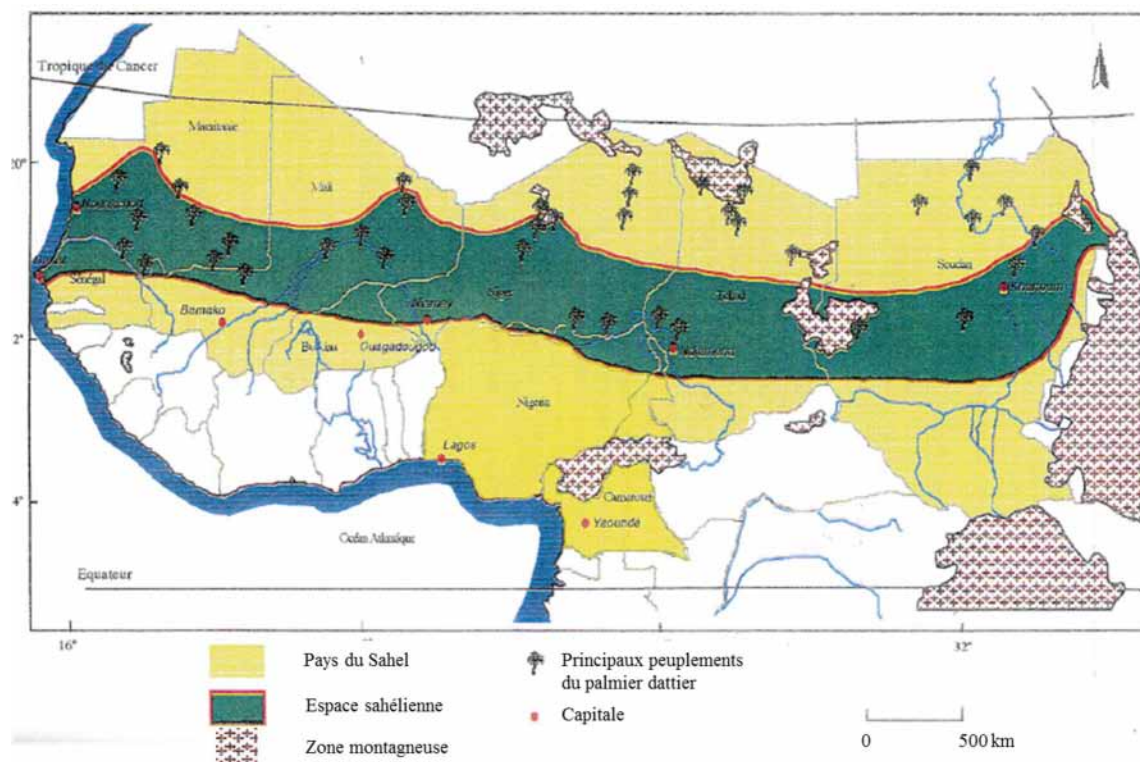


Fig. 1.25 : Sites phœnicicoles de l'Afrique Subsaharienne au Sahel (Carte : Jahiel, 1996).

La production de dattes au Sahel est estimée à 502 281 tonnes en 2011 soit plus de 6,8% de la production mondiale (FAOSTAT, 2016). Cette production est assurée par le Soudan, le Niger, le Tchad, la Mauritanie, la Somalie et Djibouti (FAOSTAT, 2016). Le Mali, le Sénégal ou encore le Burkina Faso sont aussi des producteurs de dattes au Sahel, mais ne font pas partie de cette liste par manque d'information. Le Soudan est le principal producteur de dattes au Sahel en 2011, suivi de la Mauritanie et du Tchad, le Niger étant en quatrième position (Fig. 1.26), néanmoins ces chiffres sont à prendre avec modération car l'essentiel de cette production est généralement concentrée dans la partie Saharienne de ces pays. La production de la partie sahélienne est en général plus faible (voire négligeable au Soudan).

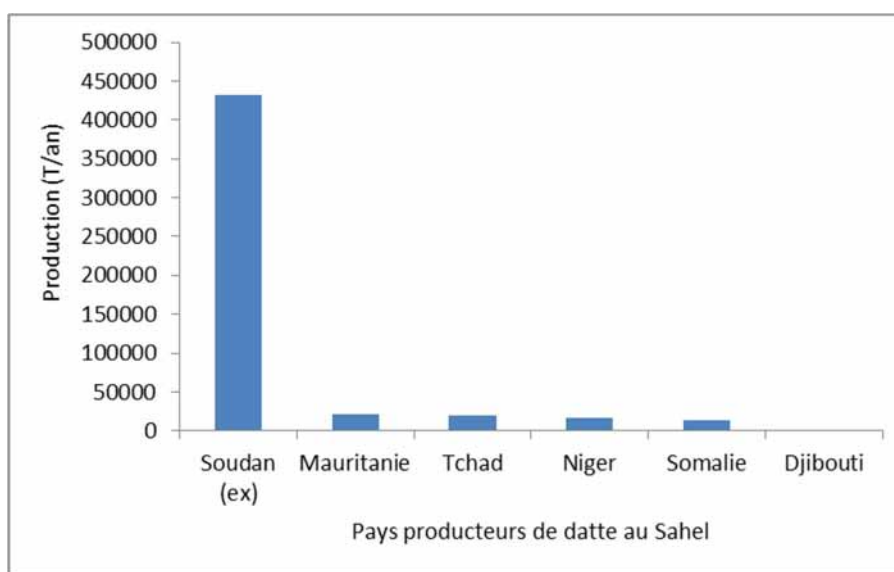


Fig. 1.26 : Production de dattes en 2011 des six pays sahéliens figurant sur la base des données FAO (FAOSTAT, 2016).

Les récents résultats de la production des dattes au Sahel dont le Soudan ne fait pas partie, classe le Niger en première position suivi du Tchad et de la Mauritanie (Fig. 1.27).

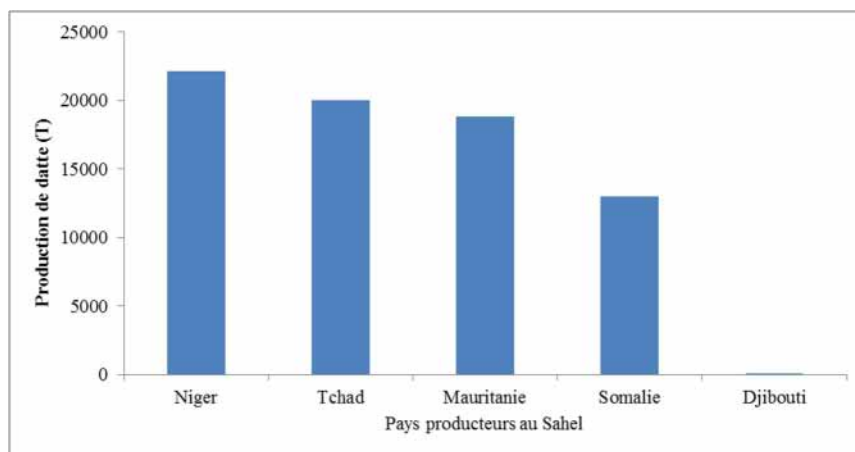


Fig. 1.27 : Production de dattes des pays sahéliens en 2013 (FAOSTAT, 2016).

1.2.2.3 Au Niger

Au Niger le palmier dattier est présent sous forme de palmeraies dans deux grandes zones (Fig. 1.28) : la zone traditionnelle qui s'étend au Nord, au Mont Aïr et dans la vallée d'Ingal, et au Nord-Est, dans la région de Bilma sur le plateau de Djado, Kavar et Agram et la zone marginale sahélienne qui s'étend au Sud-est par la région du Damagaran (région de Zinder) et celle du Manga (région de Diffa ; Lenormand, 1984; Jahiel, 1996; Abdoussalam and Pasternak 2015). A ces sites de grands peuplements historiques s'ajoutent aussi des peuplements récemment mis en place par des besoins de recherche (Bankoukou, Gaya), par des particuliers (Niamey) ou des individus naturels isolés un peu partout dans le pays dans les lieux où leurs besoins hydriques sont naturellement ou artificiellement satisfaits. Il faut aussi noter la présence des sites potentiellement favorables à la culture du palmier dattier un peu partout dans le pays notamment, les confins du lac Tchad, le dallol Bosso, le Goulbi de Maradi ou encore la Maggia de Tahoua (Fig. 1.28, (Jahiel, 1996) ; (Laborie, 1999) ; (Abdoussalam & Pasternak, 2015).

Le nombre de palmier en production au Niger est estimé à 750.000 pieds en 2011. La production annuelle est estimée à 22.154 t en 2013. La production des dattes au Niger a considérablement augmenté depuis les années 1970 et cela malgré les sécheresses des années 1973, 1984 et 2005 avec des petites fluctuations jusqu'en 2009-2010 où cette production a connu un pic jamais enregistré au cours de son histoire (Fig. 1.29, FAOSTAT, 2016). A partir de 2010, la production chute à nouveau et repart en 2012 jusqu'à 2013 où les données sont encore disponible sur le site de la FAO. Néanmoins, il est possible que ces chiffres sous-estiment la réalité, car dans un pays aussi vaste que le Niger où les moyens de communication sont faibles, le recouvrement des données est très difficile dans les milieux ruraux très reculés.

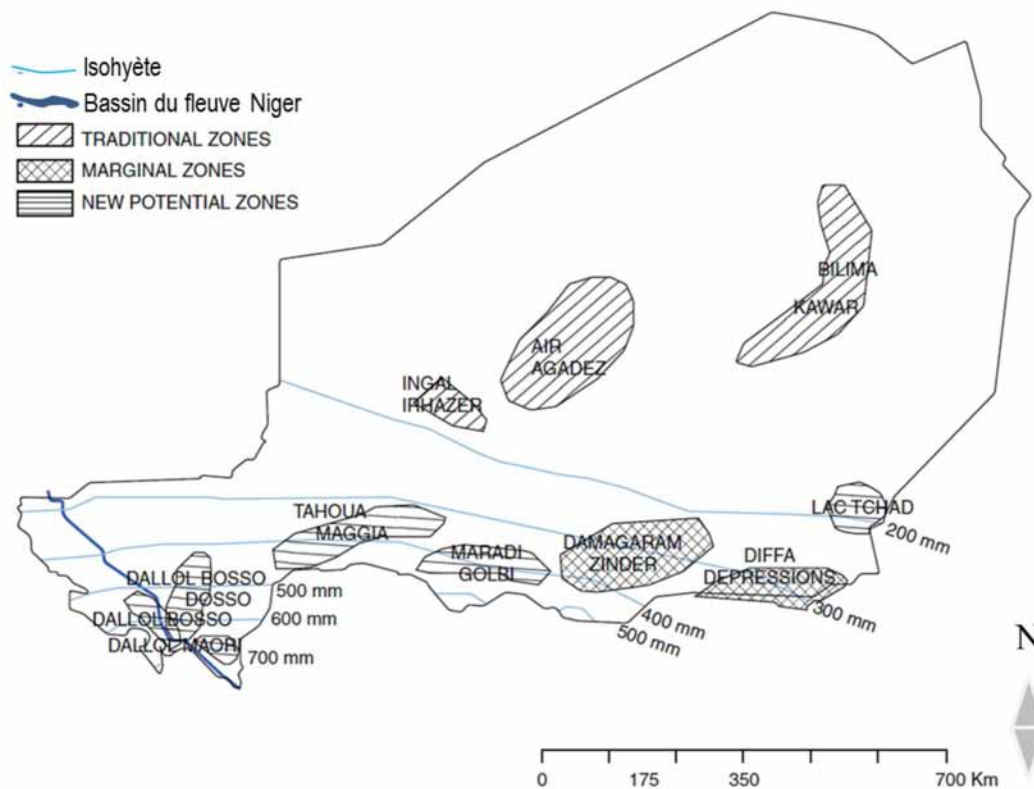


Fig. 1.28 : Répartition géographique du palmier dattier au Niger et des sites potentiellement favorables à la culture du dattier (carte, Jahiel, 1996)

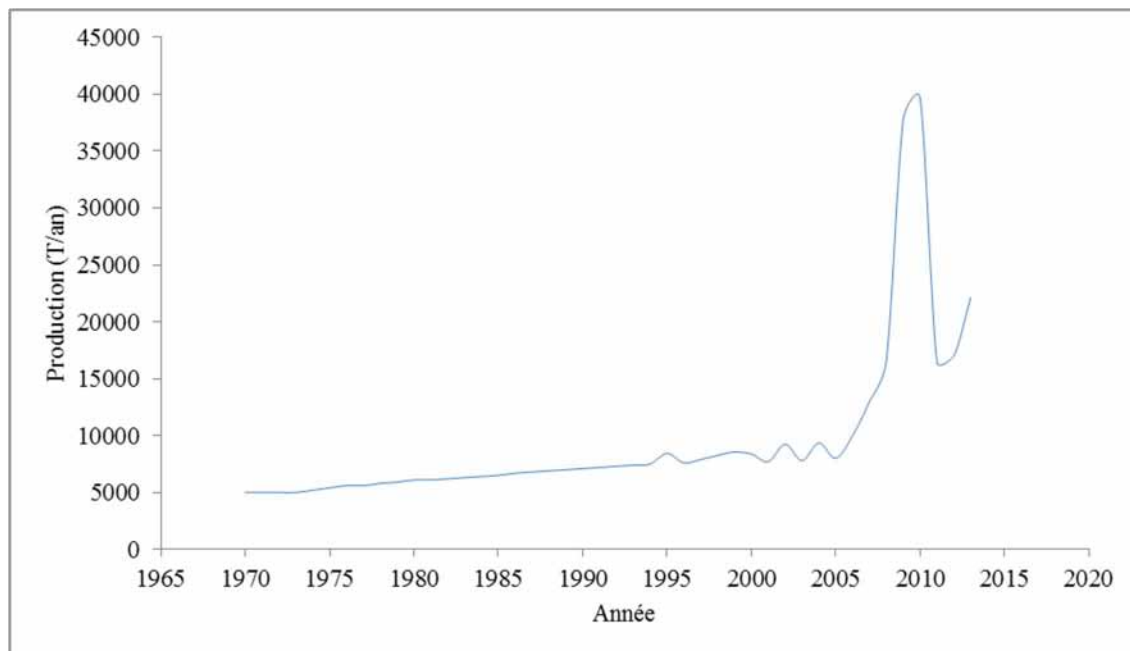


Fig. 1.29 : évolution de la production de dattes au Niger depuis les années 1970 (FAOSTAT, 2016).

1.2.3 Caractères architecturaux du palmier dattier

1.2.3.1 Morphologie du palmier-dattier

Le palmier dattier, bien que souvent considéré comme un arbre, est une Angiosperme monocotylédone à port arborescent de par son stipe ressemblant à un tronc. Le dattier est une espèce monocaule constituée d'un stipe surmonté d'une couronne de palmes à l'aisselle desquelles se mettent en place des inflorescences ramifiées. Il peut atteindre, voire dépasser 30 mètres de haut (Munier, 1973 ; Bouguedoura, 1991). Il est cespiteux, c'est-à-dire qu'il produit des rejets basaux qui répondent au mécanisme de réitération totale (Edelin, 1984) ; Fig. 1.30).

Au vu du grand nombre de cultivars existants, on observe une forte variabilité morphologique de la plante que ce soit au niveau du port, des palmes, des fruits, des graines, etc. La Tunisie, l'Algérie et le Maroc ont travaillé ensemble à la mise en place d'un document sur les descripteurs morphologiques du palmier du dattier (IPGRI, 2005). Cependant, ceux-ci s'avèrent peu utilisés car le protocole est très complet donc très fastidieux. Certains pays ont effectué des catalogues de leur diversité (Rhouma, 2005) mais à grande échelle, l'agro biodiversité du dattier reste méconnue. La description des cultivars, basée sur les caractéristiques du fruit (forme, taille, poids, couleur *etc.*) est une approche intéressante puisqu'il s'agit de la partie d'intérêt de la plante, variable et facilement accessible pour l'étude. Cependant, ces critères sont qualitatifs, influencés par l'environnement et le stade de développement et ont un pouvoir discriminant faible.

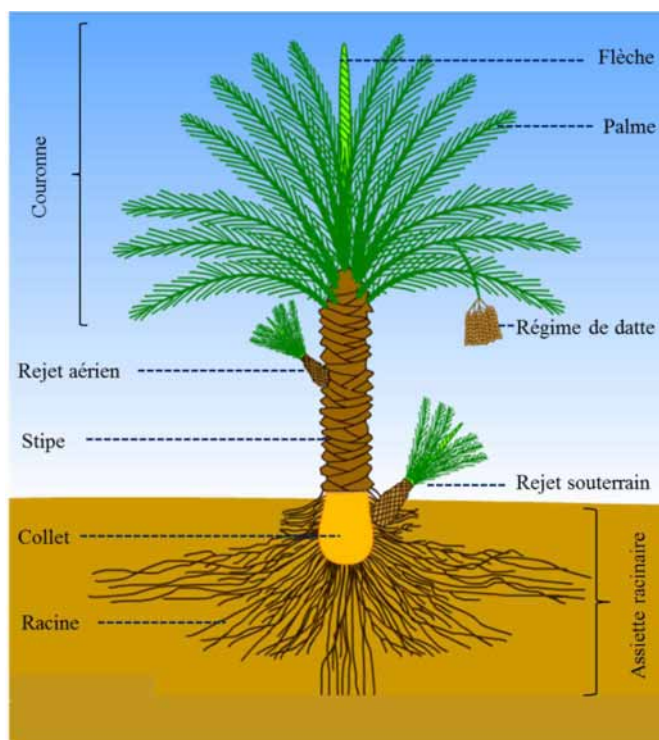


Fig. 1.30 : Schéma typique d'un palmier dattier adulte (Odyssé, 2015)

Système racinaire

Chez le palmier dattier, le système racinaire est fasciculé (Fig. 1.30), c'est-à-dire que les racines sont disposées en forme de faisceau, parfois ramifiées, avec beaucoup ou peu de radicelles selon qu'elles se trouvent ou non en contact avec des sols humiques. Il n'existe pas de racine pivot comme chez *Fhaiderbia albida* (Alexandre *et al.*, 1992; Rounsard, 1997). On distingue quatre types de racines : les racines respiratoires entre 0 et 20 cm du sol ; les racines de nutrition entre 20 et 100 cm du sol ; les racines d'absorption entre 100 et 200 cm du sol et les racines formant un faisceau pivotant entre 100 et au-delà de 1 500 cm du sol (Munier, 1973; Peyron, 2000). Les racines peuvent s'étendre jusqu'à 25 m autour du palmier et jusqu'à 17 m en profondeur (Peyron, 2000) si les besoins en eau ne sont pas satisfaits au niveau des racines de nutrition. La densité et la profondeur des racines permettent au dattier de résister aux stress hydriques et aux conditions de sécheresse. Le collet émerge au-dessus du niveau du sol chez les sujets âgés (Fig. 1.30).

Organes végétatifs aériens

Le palmier dattier est une plante habituellement monocaule (Hallé et Oldeman, 1970), dont le stipe (ou tronc) porte des palmes espacées par des entre-nœuds courts. Au cours du temps, les palmes tombent naturellement (ou artificiellement par les élagages horticoles et culturaux), laissant leurs bases pétiolaires ou la gaine sur le stipe (Fig. 1.30). Le stipe est généralement cylindrique. Le diamètre est, sauf exception, le même sur toute la hauteur du dattier : des zones de rétrécissement peuvent traduire des périodes de sécheresse ou de froid, ou des accidents divers (Zaid & De Wet, 1999). Le développement du dattier se fait par un unique bourgeon terminal à croissance indéterminée (Barthélémy & Caraglio, 2007) qui ne se divise pas (sauf accident) ce qui implique que l'axe terminal ne se ramifie pas. En revanche, le dattier produit des rejets à la base ou très rarement des gourmands plus haut sur le stipe (Fig. 1.30). Ces rejets sont des véritables clones (même génome) du pied mère permettant la reproduction clonale des génotypes d'intérêt agronomique (Pierre Munier, 1973).

Issues du développement du bourgeon terminal, les palmes, feuilles pennées à folioles indupliquées, résultent d'un processus de néoformation (Edelin, 1984) des primordia foliaires. En effet, une plante adulte peut porter à chaque instant de sa vie, un nombre de primordia néoformés correspondant à une production de palmes d'un peu plus de 6 ans (Zango et al., 2013). Une palme est composée d'une nervure principale (I-A) et de folioles (f) (Fig. 1.31). La nervure principale est composée d'un pétiole (I-C) et du rachis (C-A) (figure, 31). Le rachis se compose à son tour d'une partie épineuse (C-L) et d'une partie foliolée (L-A). Au

niveau du point A se trouve généralement une foliole (f) dite terminale ou deux selon les palmes et les variétés. Les épines (e) et les folioles sont disposées en groupes de 1 ; 2 ; 3 ou 4 de manière irrégulière le long du rachis (Fig. 1.31). Les palmes sont actives pendant 4 à 7 ans puis jaunissent (Zaid & De Wet, 1999), se dessèchent et meurent (Munier, 1973). L'ensemble des palmes d'un palmier dattier constitue la couronne au milieu de laquelle on aperçoit une série des jeunes palmes non encore complètement déployées, qui constituent les flèches (Fig. 1.30). La couronne d'un palmier adulte est en moyenne formée de 100 palmes actives, le renouvellement étant approximativement de 10 à 26 nouvelles palmes par an (Munier, 1973).

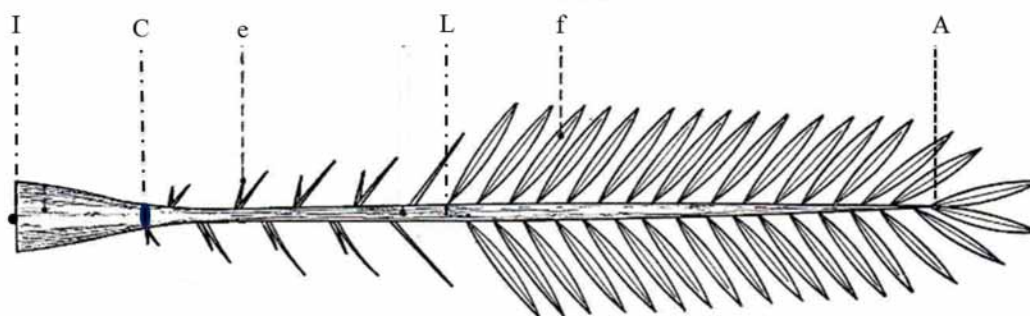


Fig. 1.31 : Différents éléments d'une palme du dattier. (I) le point d'insertion visible de la palme sur le stipe, (C) insertion de la première épine, (e) épine, (L) insertion de la première foliole, (f) foliole, (A) point terminal de la nervure principale (Munier, 1973).

Organes reproducteurs

La stricte séparation des sexes est largement répandue dans le règne animal en revanche, chez les plantes, la séparation des sexes ou dioécie est très rare. Néanmoins chez certains palmiers comme le dattier, les organes reproducteurs mâles et les organes reproducteurs femelles sont portés par des individus différents (Zango *et al.*, 2013). Le palmier dattier est donc une espèce dioïque (Cherif *et al.*, 2013b). L'organe reproducteur du palmier dattier est une inflorescence, qui se développe dans la région coronaire de la plante, à partir de bourgeons axillaires indéterminés (Bouguedoura, 1979; Tomlinson, 1990) situés à l'aisselle des palmes (Mason, 1915)

L'inflorescence est munie à sa base d'une grande bractée (b), qui, dans un premier temps, l'enveloppe et la protège de la chaleur du soleil (Mason, 1915). Sa forme lancéolée facilite son émergence hors de la gaine qui le comprimait entre pétiole et stipe. L'inflorescence est composée d'un axe principal (I-A) qui comprend une partie stérile (I-C), le pédoncule et une partie fertile (C-A), le rachis qui porte de nombreuses ramifications ou

épillets (Fig. 1.32). Les épillets sont à leur tour constitués d'une partie stérile (s) et d'une partie fertile (f) qui porte des fleurs puis des fruits (Fig. 1.32 ; Zango et al. 2013). Les fleurs (e) sont unisexuées, pratiquement sessiles (Daher *et al.*, 2010). Les fleurs mâles et femelles portées par des individus distincts sont morphologiquement différentes, seul les carpelles sont bien développés au niveau des fleurs femelles alors que ce sont les étamines qui se développent au niveau des fleurs mâles (Daher *et al.*, 2010).

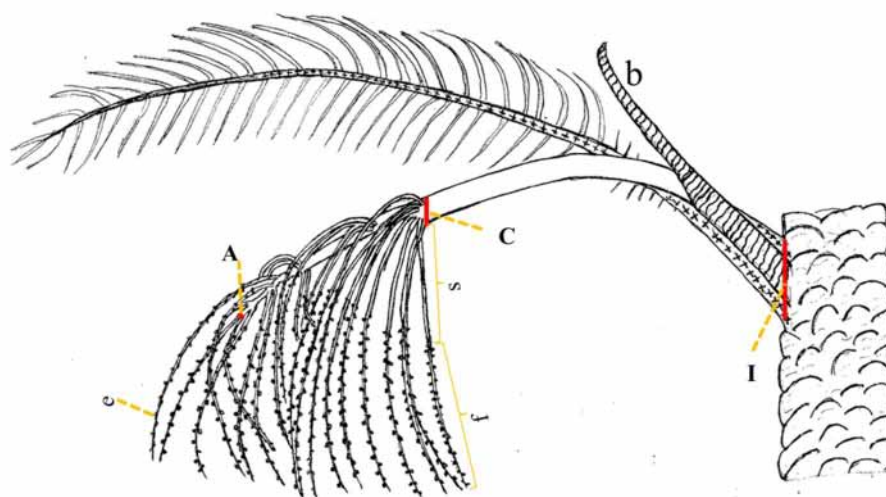


Fig. 1.32 : Inflorescence femelle du palmier dattier. (I) insertion visible de l'inflorescence au stipe, (b) bractée, (C) insertion des premiers épillets, (A) point apical de l'inflorescence, (s) partie stérile de l'épillet, (f) partie fertile de l'épillet et (e) fleur (Zango *et al.*, 2013).

L'inflorescence femelle est plus longue et porte moins d'épillets (Fig. 1.32) que l'inflorescence mâle (Fig. 1.33) qui est donc plus trapue et porte beaucoup plus d'épillets et de fleurs par épillet. Il est de même pour leur spathe qui répond à la même caractéristique de différenciation (Fig. 1.32 & 33).



Fig. 1.33 : Inflorescence mâle du palmier dattier en anthèse après l'ouverture de la spathe

Le fruit du dattier, la datte (Fig. 1.34a), provient du développement d'un carpelle après fécondation de l'ovule. En l'absence de pollinisation, il arrive que des fruits parthénocarpiques se développent mais ceux-ci arrivent rarement à maturité complète. La datte est une baie monosperme qui conserve généralement le périanthe à sa base (Fig. 1.34a&b). Elle est constituée d'un épicarpe cireux (peau), d'un mésocarpe charnu et d'un endocarpe fin et parcheminé entourant la graine (Fig. 1.34b).

La graine contenue dans la datte porte sur une face une fente longitudinale ou sillon, à l'opposé de cette fente se trouve généralement l'embryon en position médiane. Une coupe transversale de la graine montre qu'elle est constituée d'un tégument et d'albumen (Fig. 1.34b)

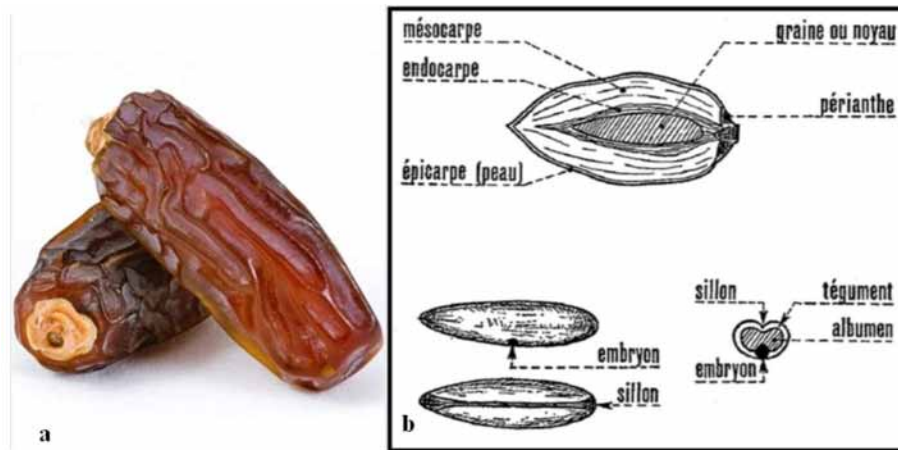


Fig. 1.34 : (a) fruit du palmier dattier (datte) au stade tamar, (b) coupe longitudinale d'une datte et de son noyau (Munier, 1973).

Les dattes sont généralement oblongues mais peuvent être presque rondes, selon la variété (Fig. 1.35). Leur couleur varie selon les cultivars et le stade de maturité (Fig. 1.35 et 36).



Fig. 1.35 : Quelques formes de dattes (Newton et al. 2013)

Par ailleurs, 5 stades de maturité ont été décrits par Zaid et De Wet (1999) et Yin et al., (2012) :

- le stade *Hababouk* : démarre peu de temps après la fécondation et se poursuit jusqu'au début du stade *Kimri* (F1, Fig. 1.36) ; cela prend habituellement quatre à cinq semaines ; Il est caractérisé par la perte de deux carpelles non fécondés et un taux de croissance très lente ; le fruit à ce stade est immature et est complètement recouvert par le calice où seule l'extrémité pointue de l'ovaire est visible ; son poids moyen est de un gramme et la taille est environ celle d'un petit pois ;
- Ensuite le fruit passe au stade *Kimri* (F2 à F4, Fig. 1.36) qui se caractérise par une forte multiplication des cellules ; le fruit est vert et sa taille, son poids et la quantité de sucre vont rapidement augmenter ; sa teneur en eau est de 85% ;
- Suit le stade *Khalal* (F5 et F6, Fig. 1.36), le fruit devient rouge ou jaune selon les variétés ; à ce stade la graine a atteint sa forme finale et pourrait d'ores et déjà germer ; la quantité de sucre augmente tandis que la quantité d'eau et du tanin diminuent ; le fruit est alors dur et croquant et la plupart des dattes sont comestibles à ce stade ; certains cultivars ('Lemsi' notamment) sont d'ailleurs commercialisés à ce stade. Dans le Nord-Ouest de l'Inde (Vashishtha, 2003) comme dans le Sud-est du Niger (Jahiel, 1998), la mousson qui démarre fin mai début juin oblige les agriculteurs à récolter les dattes à ce stade alors qu'elles ne sont pas complètement mûres ;
- Lorsque l'extrémité du fruit devient brune, le stade *Rutab* (F7, Fig. 1.36) est atteint, le poids de la datte diminue à cause de la perte d'eau, la peau s'assombrit et le mésocarpe

se ramollit ; l'humidité est alors d'environ 35% et les fruits peuvent ainsi être vendus comme dattes fraîches ;

- Elles peuvent également être laissés sur l'arbre afin que l'humidité descende jusqu'à 24-25% : il s'agit du stade *Tamar* (F8, Fig. 1.36) où les dattes se préservent telles que, naturellement sèches.

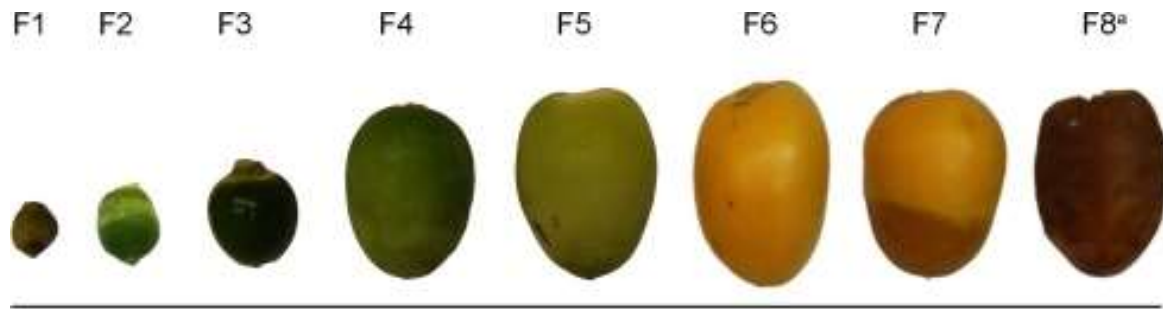


Fig. 1.36 : Stade de développement des dattes. (F1) *Hababouk*, (F2 à F4) *Kimiri*, (F5 et F6) *Khalal*, (F7) *Rutab* et (F8) *Tamar* (image, Yin et al., 2012)

1.2.3.2 Topologie du palmier dattier

La topologie d'une plante décrit la hiérarchie dans le branchement des différents éléments dans son système (Hallé & Oldeman, 1970; Hallé, Oldeman, & Tomlinson, 1978). Pour le palmier dattier, nous avons un seul axe orthotrope (Edelin, 1977) édifié par un seul méristème apical à croissance indéterminée (D. Barthélémy, Edelin, & Hallé, 1989). Cet axe à croissance continue (Daniel Barthélémy & Caraglio, 2007) est généralement sans ramification et à sexualité latérale. La structure résultante de cette topologie rappelle le modèle architectural de Corner (Fig. 1.37), (Hallé & Oldeman, 1970).

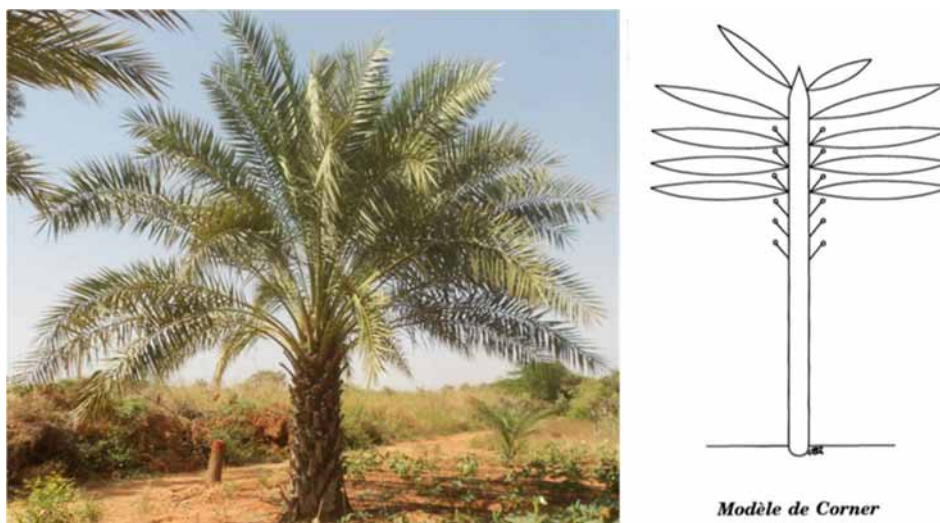


Fig. 1.37 : Modèle architectural (modèle de Corner) le plus rencontré chez le palmier (Hallé & Oldeman, 1970).

1.2.4 Ecologie et pratiques culturelles

1.2.4.1 Ecologie du dattier

Le palmier dattier est une espèce thermophile, ses activités végétatives et reproductives se manifestent respectivement à partir de +10° et +18°C (Peyron, 2000). Selon Munier (1973) et Peyron (2000) l'intensité maximale de végétation du palmier dattier est atteinte au voisinage de 30°C et décroît entre 38 à 40°C, alors qu'il peut supporter des températures très élevées jusqu'à 56°C, et dans une certaine mesure des froids modérés jusqu'à -8°C pendant une durée limitée. L'altitude entraîne un abaissement de température moyenne et limite dans certains cas l'extension de la culture du dattier (Munier, 1973). En général, les régions phœnicicoles sont situées à moins de quelques centaines de mètres d'altitude.

Le palmier dattier est aussi une espèce héliophile, la lumière favorise la photosynthèse et la maturation des fruits. En absence de forte luminosité, les fruits n'arrivent jamais à maturation. La maturation des dattes s'accompagne d'une perte en eau par transpiration des fruits (Abdelouahhab *et al.*, others, 1999). De ce fait, si l'hygrométrie est très élevée, la transpiration est ralentie et le processus de la maturation est bloqué, favorisant ainsi le pourrissement des dattes (cas des palmeraies du Sud-est du Niger, Jahiel, 1996).

Le palmier dattier s'accommode des sols désertiques et subdésertiques, il est considéré comme espèce non exigeante utilisée pour mettre en valeur les régions défavorisées où la plupart de plantes cultivées poussent difficilement (Munier, 1973). Il supporte généralement une certaine salinité mais, en toutes circonstances, le palmier dattier nécessite beaucoup d'eau (Chao & Krueger, 2007). En outre, l'environnement peu favorable au développement d'autres espèces fait que les ravageurs du palmier dattiers sont spécifiques à cette plante (Peyron, 2000).

1.2.4.2 Pratiques culturelles du dattier

Les jeunes dattiers commencent à produire des fruits entre 4 à 8 ans après la germination et atteignent leur production maximale à un âge compris entre 8 et 10 ans. Un dattier a une vie économique de 40 à 50 ans mais certains produisent encore à 150 ans (Chao & Krueger, 2007). Les pratiques culturelles associées au dattier sont principalement la propagation par culture des rejets et la pollinisation artificielle. D'autres interventions telles que le nettoyage sanitaire, l'irrigation, l'égrappage des régimes, leur désinsectisation ou la fertilisation du sol sont plus ou moins courantes.

Propagation du dattier

Dans les populations non cultivées, le dattier se multiplie naturellement par le biais de graines (reproduction sexuée). Dans les zones à forte tradition phœnicicole (Maghreb, Moyen-Orient), il est principalement propagé par voie végétative, c'est-à-dire par rejet. A partir de la deuxième moitié du 20^{ème} siècle, des essais de micro propagation par culture *in vitro* ont été entrepris (Munier, 1973).

La multiplication par voie sexuée consiste à semer les graines. Les individus qui en sont issus sont dénommés *khalt* dans le Maghreb. Cette méthode est la plus anciennement utilisée par les phœniciculteurs. Elle entraîne l'apparition de nouveaux phénotypes qui peuvent être intéressants. Cependant cette méthode comporte également plusieurs désavantages : dans un premier temps, il faut attendre 4 à 7 ans pour obtenir des fruits ; dans un second temps, le dattier étant dioïque, l'individu issu d'une graine ne produira que dans de rares cas (4%) des fruits possédant des qualités organoleptiques équivalentes ou supérieures à celles de sa mère (Peyron, 2000). De plus, les graines semées donnent approximativement 50% de mâles et 50% de femelles, étant donné que seules les femelles produisent des dattes, cette méthode de propagation apparaît donc peu rentable. Ce type de reproduction est donc utilisé dans de rares cas pour créer de nouveaux phénotypes ou survient de manière accidentelle lorsque des noyaux jetés ou des fruits non ramassés se développent. Néanmoins, dans le Nord-Ouest de l'Inde (NEWTON et al., 2013 ; Vashishtha, 2003) et au Sud-Est du Niger (Jahiel, 1996) les agriculteurs, méconnaissant les techniques de propagation végétative, utilisent uniquement ce mode de reproduction.

La production de rejets à la base du stipe (Fig. 1.38) est d'un avantage qui a probablement été très tôt utilisé par l'homme pour propager le dattier et contourner les contraintes engendrées par la multiplication par voie sexuée. Un rejet étant un clone du pied dont il est issu, la qualité de ses dattes équivaut théoriquement à celle du pied mère. Les rejets peuvent à leur tour produire des rejets, ce qui permet une multiplication infinie d'un cultivar. La propagation végétative présente cependant certaines limites, notamment le nombre maximum des rejets produits par plante (30 maximum, Zaid and De Wet 1999); la production est très limitée chez de nombreuses variétés et se concentre lors de la phase juvénile de la plante. De plus, des mutations somatiques peuvent survenir et donc engendrer des propriétés nouvelles, non recherchées par l'agriculteur. Enfin, cette méthode peut aussi présenter le risque d'introduction de certaines maladies en important des rejets déjà infestés



Fig. 1.38 : Production des rejets à la station de recherche ICRISAT du Niger (photo, Zango)

Afin de pallier les limites de la multiplication végétative, des efforts considérables ont été menés pour développer des méthodes *in vitro* de multiplication en masse des cultivars élites (Chao & Krueger, 2007). Deux méthodes existent : l'organogénèse qui repose sur les capacités de bourgeonnement de plusieurs types d'explants et l'embryogénèse somatique qui vise à dédifférencier des cellules somatiques afin de permettre la formation d'embryons.

Aujourd'hui, les plantes issues des cultures *in vitro* sont très largement utilisées pour le développement des cultures industrielles. Cependant ces méthodes présentent des risques de malformation des organes floraux.

Enfin, il faut noter la propagation végétative et la micro propagation présentent également des risques d'érosion la diversité génétique du palmier dattier.

Pollinisation

Sans intervention humaine, la pollinisation est anémophile mais le rôle des insectes n'est toutefois pas à minimiser (Zaid et Arias-Jiménez, 1999). La pollinisation naturelle est courante dans certaines palmeraies notamment au Manga (Sud-est du Niger), à Elche (Espagne) ou encore à Marrakech (Maroc) où le nombre de pieds mâles est assez élevé (Munier, 1973). De manière générale, la pollinisation des fleurs femelles est réalisée de manière artificielle par l'Homme, ce qui permet de réduire le nombre de mâles dans les palmeraies à 2% et d'assurer une fécondation optimale des fleurs femelles (Munier, 1973 ; Zaid & Arias-Jiménez, 1999).

La pollinisation artificielle peut être réalisée selon plusieurs méthodes, de manière traditionnelle ou mécanisée (Zaid et Arias-Jiménez, 1999). Elle se pratique juste à l'ouverture des spathes et la période de l'année concernée dépend des régions (Munier, 1973). Le pollen

peut être stocké et faire l'objet d'une utilisation future chez les agriculteurs. En se référant à la métaxénie, c'est à dire l'influence du pollen sur le fruit et la graine, démontrée chez plusieurs variétés de dattiers (Al-Khalifah, 2006; Swingle, 1928), il devient de plus en plus intéressant de sélectionner les dattiers mâles qui produisent du pollen de qualité intéressante. Ainsi, le pollen influence la taille, la forme, la couleur et le poids de la graine mais également la taille, la forme et le poids du fruit ainsi que le temps nécessaire au fruit pour atteindre la maturité. Ces effets sont variables selon le cultivar femelle. Malgré cette influence, la sélection de dattiers mâles est limitée, les pollinisateurs sont le plus souvent des dattiers issus de graines. Rares sont les agriculteurs au Sud-est du Niger qui pratiquent la pollinisation manuelle.

Irrigation

Dans les plantations industrielles, l'irrigation du dattier utilise des motopompes, alors que dans les plantations traditionnelles comme au Nord Niger, les agriculteurs utilisent plutôt un système d'exhaure empirique à motricité animale (Chaloud, Fig. 1.39). Cette méthode utilise un puits et une outre en peau de vache ou de dromadaire tirée par un animal pour amener de l'eau en surface (Abdoussalam & Pasternak, 2015)



Fig. 1.39 : Système traditionnel d'exhaure de l'eau pour irriguer les palmiers dattier au Nord-est du Niger dans les hauts plateaux de Djado (Abdoussalam & Pasternak, 2015).

Le problème le plus important dans ce type d'irrigation est celui de salinité qui n'est pour l'instant pas un phénomène très inquiétant dans les cuvettes du sud-est du Niger, où les palmiers continuent à satisfaire leurs besoins hydriques au niveau des nappes phréatiques superficielles. Il est plutôt à craindre dans les oasis du Nord du Niger là où l'irrigation est nécessaire pour la production des dattes (Jahiel 1996).

Lutte contre les bios agresseurs

Les maladies fongiques notamment le *Bayoud* et le charançon rouge sont les principaux ravageurs des cultivars élités dans les zones de culture traditionnelle du palmier (Abul-Soadn *et al.*, 2010; Benzohra *et al.*, 2015). Ces ravageurs ne sont pas bien connus au Sahel où les cochenilles, les criquets pèlerins, les oiseaux et les chauves-souris sont les principales menaces des récoltes au Sud-est du Niger.

La lutte biologique est surtout privilégiée pour lutter contre la cochenille par utilisation des coccinelles notamment au Nord Niger, en Mauritanie et aux Etats Unis d'Amérique. La couverture des inflorescences avec des tissus en nylon où des nattes tressées à base des folioles des palmiers, est utilisée pour prévenir les attaques des oiseaux, de certains insectes (cétoines) et d'autres animaux frugivores. Le charançon rouge et le *Bayoud* restent des problèmes sérieux dans la production des dattes à travers le monde.

1.2.5 Intérêt socio-économique du palmier dattier

La phœniciculture apparaît extrêmement importante pour la subsistance des populations en milieu désertique. La datte occupe, après les agrumes, la mangue, la banane et l'ananas, le 5^{ème} rang de production mondiale des fruits dans les régions arides et semi-arides. En même temps, elle occupe le 1^{er} rang des fruits secs, avant les raisins, les figues et les pruneaux (FAOSTAT, 2016).

1.2.5.1 Usage des dattes

De nombreuses études (Allaith, 2008 ; El-Sohaimy & Hafez, 2010 ; Sawaya, *et al.*, 1984; Habib & Ibrahim, 2009 ; Ahmed *et al.*, 2014) ont démontré l'excellente qualité nutritionnelle des dattes grâce aux minéraux, fibres et vitamines qu'elles contiennent et qui leur confèrent des propriétés antioxydantes d'une part et parce qu'elles sont très caloriques (67 à 75% de sucres) d'autre part. Elles constituent un complément alimentaire voire un aliment indispensable pour les populations des zones sèches du monde.

Les dattes peuvent être consommées fraîches ou sèches et à différents stades de développement selon les cultivars et les régions. Les dattes de faible qualité gustative et de faible valeur marchande sont données aux animaux (Newton *et al.*, 2013) ou sont utilisées pour confectionner divers produits dérivés (pâte, farine, vinaigre, alcool, sirop ou levure).

Les dattes présentent de nombreux usages médicaux (Benchelah & Maka, 2006; Essa *et al.*, 2015) et constituent la base de produits pharmacologiques et cosmétiques depuis

l'antiquité (Munier, 1973). Essa et al. (2015) ont démontré que les dattes améliorent la performance des élèves à l'école, c'est-à-dire qu'elles développent l'intelligence des jeunes consommateurs.

1.2.5.2 Autres usages du dattier

Outre la production des dattes qui constituent une base alimentaire non négligeable pour la lutte contre l'insécurité alimentaire et la malnutrition dans les zones arides du monde, toutes les autres parties du palmier dattier sont utilisées par la population. Le dattier fournit en effet divers matériaux destinés à l'artisanat, à la construction ou à la production d'énergie. Ainsi, les feuilles (palmes) sont utilisées pour la vannerie (Fig. 1.40a) et la construction de palissades (Fig. 1.40b), elles servent de fourrage pour les animaux (Newton et al., 2013) ; les rachis sont utilisés pour la construction des lits (Fig. 1.40c) et l'armature des huttes (Fig. 1.40d), des hangars et de plafonds des maisons (Fig. 1.40e) ; les folioles tressées servent d'éléments décoratifs (Fig. 1.40f) ; Les fibres de la gaine permettent de fabriquer des cordages ; le stipe, entier ou coupé dans sa longueur, est lui aussi employé pour la construction (bancs, ponts, plafonds, *etc.*) ou utilisé comme source d'énergie dans les ménages ; les macérations des racines du palmier sont utilisées pour soigner les maux de ventre et bien d'autres maladies ; les jeunes tissus au niveau du cœur et la sève sont consommés (Jahiel, 1996).

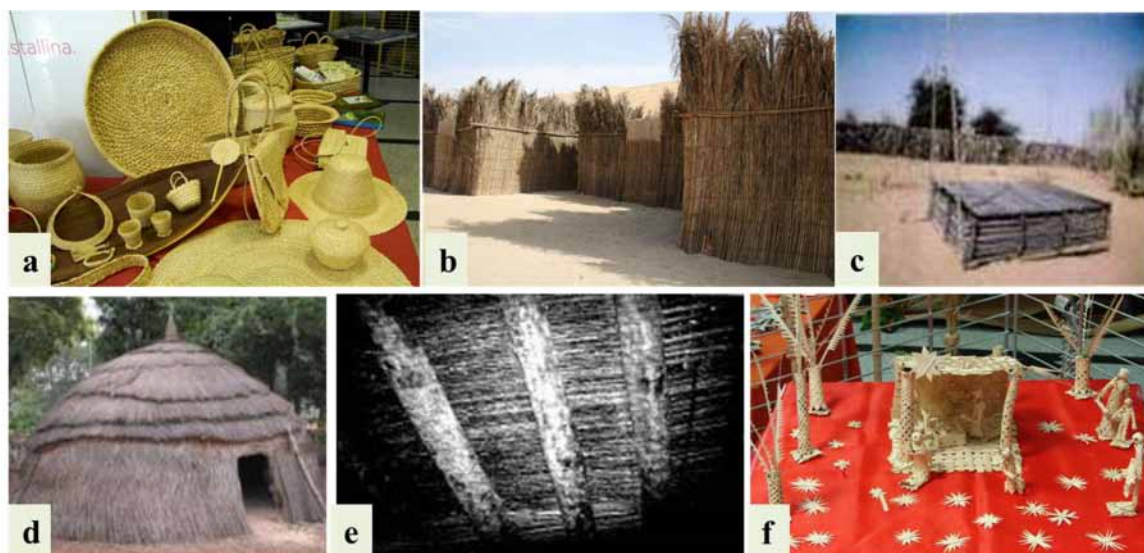


Fig. 1.40 : Usages du palmier dattier : (a) éléments conçu en vannerie, (b) palissade à base de rachis du dattier, (c) lit traditionnel à base de rachis, (d) hutte traditionnelle dont l'armature est à base de rachis du dattier, (e) toit de maison à base de rachis soutenu par des poutres à base du stipe de dattier et (f) éléments décoratifs à base des folioles de dattier

En plus de ces usages, au Sud-est du Niger les rachis du palmier dattier sont utilisés pour la fixation des dunes (PASAM, 2007) ; les inflorescences servent de balais pour les concessions et le ramassage du natron (Jahiel, 1996) ; le tronc ou stipe est utilisé comme armature servant de cuvelage pour les puits traditionnels (Fig. 1.41a), est transformé en récipient servant d'abreuvoir pour les animaux (Fig. 1.41b) et est aussi utilisé comme piquet pour attacher les animaux (communication personnelle).



Fig. 1.41 : (a) Stipes de palmiers dattiers servant pour le cuvelage des puits et (b) d'abreuvoir des animaux au Manga.

1.2.5.3 Place culturelle du palmier dattier

Le palmier dattier revêt une importance symbolique dans les pays d'Afrique du Nord et du Moyen-Orient depuis l'antiquité comme en témoignent les nombreuses représentations de dattier dans l'iconographie (Michel-Dansac and Caubet 2013 ; Fig. 1.42a), et ce jusqu'à nos jours avec l'élaboration d'îles artificielles en forme de palmier à Dubaï (Fig. 1.42b). Qualifié d'arbre de vie, il est symbole de fertilité et de fécondité. On le retrouve sur des timbres-poste (Fig. 1.42c), des billets de banque (Fig. 1.42d) et de nombreux proverbes et mythes lui font référence. Il est cité plusieurs fois dans la Torah, la Bible et le Coran (Musselman, 2003). Traditionnellement, en période de Ramadan, le jeûne est rompu en mangeant des dattes. Les cérémonies de mariage ou de baptême sont célébrées en partageant les dattes avec les invités. Lors du dimanche des rameaux, des processions de fidèles portent des palmes tressées et bénies (Fig. 1.42e& f ; Castellana, 1998).



Fig. 1.42 : Différentes représentations qui rappellent l'importance du palmier dans le monde, (a) gravure en forme du dattier sur les anciens murs, (b) îles artificielles de Dubaï, (c) timbre postal portant une photo du palmier dattier et (d) billet de banque portant une photo du palmier dattier ; (e) palme tressée pour la fête chrétienne des palmes ; (f) signe d'une association en Italie (Michel-Dansac and Caubet 2013)

1.2.5.4 Intérêt écologique

Le dattier permet la subsistance d'autres cultures grâce à la protection qu'offrent les palmes contre les vents, les tempêtes, les rayonnements solaires et la chaleur. Ainsi, dans les palmeraies traditionnelles, la polyculture oasisienne se structure en plusieurs strates (Tengberg, 2012) dont la première strate est constituée du dattier, la seconde d'arbres fruitiers (citrus, manguiers, papayers etc.) et enfin, les cultures maraîchères et fourragères (les légumes, luzernes, céréales, les tubercules etc.) forment la troisième strate (Fig. 1.43).



Fig. 1.43 : Une palmeraie avec culture de Manioc et des dattiers en multi strate

1.3 Palmier dattier au Manga

1.3.1 Historique du dattier au Manga

L'introduction du dattier au Manga aurait deux origines (Jahiel 1996) :

Une voie d'introduction Nord-Ouest que l'on peut diviser en deux phases distinctes :

- La première phase correspond au passage du Nord au Sud (Fig. 1.44), c'est-à-dire l'introduction des palmiers du Nord du pays dans le Damagaram qui remontait au début du XIX siècle (Foureau, 1902) et est à mettre en relation avec l'accroissement de la culture islamique. L'extension à l'ensemble de cette région aurait eu lieu vers (1917-1918), sur l'initiative des autorités militaires françaises et particulièrement le Capitaine Gamori, commandant de la subdivision (Munier, 1981), qui aurait distribué des graines de dattes de l'Aïr (Nord-Niger, Fig. 1.44).
- La seconde phase correspond à l'extension du dattier du Damagaram vers le Manga plus à l'Est du pays, qui est plus tardive et daterait de 1920 à 1925 lors du passage des colonnes de méharistes dans la zone (Lenormand, 1984). Cependant, aucun dattier n'ayant été identifié dans le Manga lors d'une mission scientifique de 1937 (Aubreville et al., 1973) nous pensons que son introduction par cette voie serait encore plus tardive (Fig. 1.44).

Une voie d'introduction Nord-Est plus récente (1940-1950), est imputable aux commerçants Arabes et Toubous qui assuraient le transport du sel et des dattes suivant un axe Nord-Sud en direction du Nigeria, en transitant par le Manga. De ce fait, les graines introduites pourraient provenir des palmeraies du Djado Kavar (Nord-Est du Niger, Fig. 1.44).

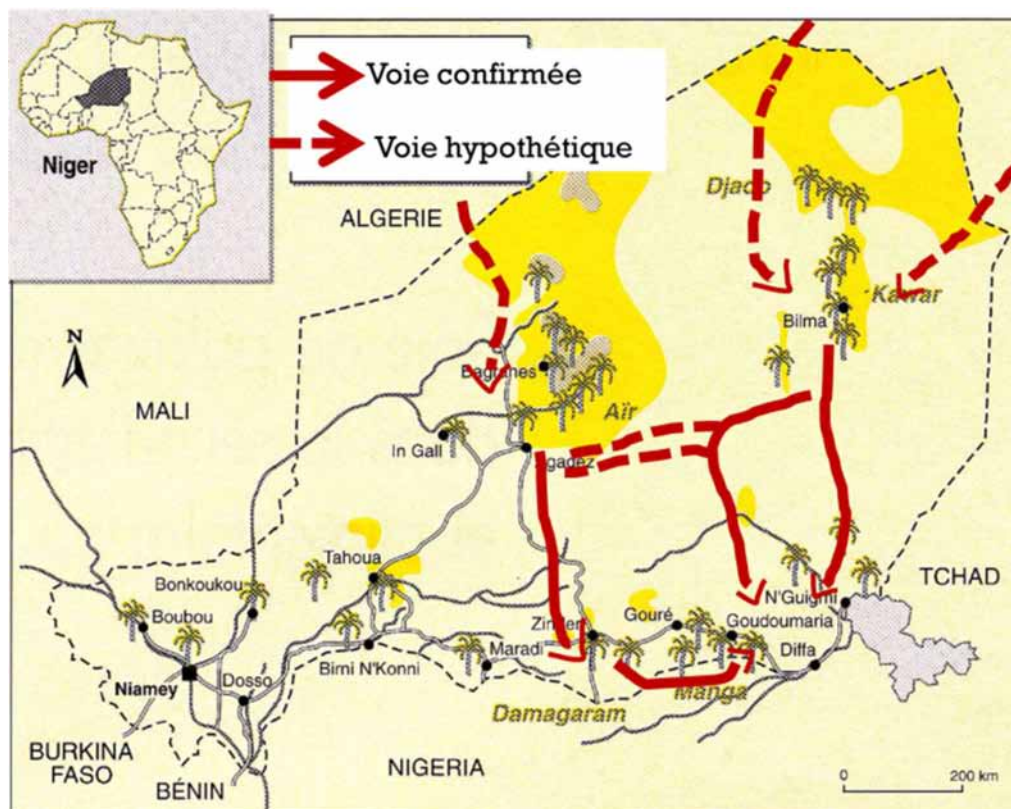


Fig. 1.44 : Voies probables d'introduction du palmier dattier dans le Sud-est du Niger

1.3.2 Potentiel phœnicicol au Sud-est du Niger

Le nombre de pieds de palmier dattier dans la région était estimé à 300 000 dans les années 1990 (Jahiel, 1996). En 2011, la production du palmier dattier s'élevait à 7 441 t de dattes au Sud-Est du Niger (M A, 2013).

La multiplication des dattiers au Manga se fait généralement par semis de graines. Plusieurs tentatives de régénération par rejets ont été entreprises par Jahiel (1996) au cours du projet « Palmeraie Diffa » mais, les résultats n'ont pas été satisfaisants car la reprise des rejets ne dépasse guère 60%. Dans la majorité des cas elle est autour de 30% et le poids idéal pour qu'un rejet ait une forte chance de reprise doit avoisiner les 25 kg (Jahiel, 1996). Ce poids est trop lourd pour les manipulations tant au niveau du sevrage, du traitement qu'au niveau de la plantation. Cet état de fait a eu pour conséquence le refus des paysans de s'adonner à cette manipulation, très rude et décevante (Jahiel, 1996). La pollinisation artificielle et l'irrigation sont quasiment absentes dans le Sud-est du Niger (Jahiel, 1996).

1.3.3 Particularité du dattier dans les cuvettes oasiennes du Sud-est du Niger

Les agriculteurs du Manga enregistrent chaque année deux campagnes de production de dattes, dont la première concerne près de 20% des dattiers et la seconde concerne la quasi-totalité des palmiers productifs (Jahiel, 1996). La première campagne commence la floraison en aout-septembre et les fruits sont récoltés entre mars et avril. La deuxième campagne commence la floraison en janvier- février et la récolte des fruits a lieu entre juin et juillet.

La remontée des eaux riches en natron (carbonate de sodium déca hydraté $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, ("Natron," 2016) à la surface du sol dans certaines cuvettes font tomber des palmiers dattiers se trouvant sur la surface submergée (Fig. 1.45).



Fig. 1.45 : Palmiers dattiers tombés suite à une remontée de la nappe (eau salée) en surface

1.4 Justification de la thématique de recherche

Le choix du sujet de recherche a été déterminé par la situation d'insécurité alimentaire des pays sahéliens d'une part et par l'ambition d'améliorer les connaissances sur le palmier dattier d'autre part. Les conséquences drastiques des sécheresses des dernières décennies sur les cultures pluviales, ont rendu la population du Sahel très vulnérable aux famines. Ceci a amené les autorités de la République du Niger et leurs partenaires (ONGs nationales et internationales) à faire de la lutte contre l'insécurité alimentaire, l'un de leurs axes prioritaires. Pour appuyer les efforts des agriculteurs nigériens, les autorités ont lancé un important programme dénommé 3N (les Nigériens Nourrissent les Nigériens) dont le principal slogan est « Que plus jamais sécheresse ne soit synonyme de famine au Niger ». Entre autres activités, ce programme concerne la mise en valeur de ressources hydriques non encore exploitées à travers les cultures irriguées en contre saison (Leduc *et al.*, 2001 ; Favreau *et al.*, 2011; Nazoumou *et al.* 2016).

Dans ce contexte, il est apparu que le palmier dattier de par sa bonne adaptation au changement climatique (Pintaud et al., 2013) et sa particularité de double floraison dans le Sud-Est du Niger (Jahiel & Blay, 1994), pouvait constituer une solution très intéressante à cet ambitieux programme. En effet, la culture du palmier dattier dans le Sahel est largement reconnue comme une activité déterminante pour assurer la sécurité alimentaire dans cette région (Jahiel, 1996). Pour ces raisons, de nombreux projets soutiennent le développement de la phœniciculture dans les pays sahéliens.

1.5 Contexte général et problématique

Le palmier dattier est une plante d'intérêt écologique, économique et social majeur pour de nombreux pays des zones arides qui comptent parmi les plus chaudes du globe. La valeur nutritive élevée de ses fruits et ses multiples utilisations (Munier, 1973), en fait la principale ressource vivrière et financière des populations oasiennes (Chao & Krueger, 2007). Il constitue de plus une composante essentielle de l'écosystème oasien (Toutain et al., 1989; de Grenade 2013). En effet, il présente une remarquable adaptation aux conditions climatiques sévères et sa morphologie permet de créer un microclimat favorable au développement des cultures sous-jacentes (de Grenade, 2013). Le bilan des problématiques liées à la culture du palmier dattier en Afrique sur l'évaluation, la conservation et la valorisation des ressources génétiques du palmier dattier fait par Aberlenc-Bertossi (2010) a ouvert de nouvelles perspectives pluridisciplinaires de recherche non seulement dans les régions de production traditionnelles, mais aussi dans les zones marginales de production du palmier dattier.

Le cycle biologique du palmier dattier se caractérise classiquement par une saison annuelle de production de fruits, alors qu'il présente une particularité de double floraison dans le Sahel (Jahiel & Blay, 1994b; Jahiel & Fortin, 1990). Dans cette région, la saison des pluies s'installe vers fin mai début juin alors que les dattes sont au stade '*Khalal*' (Zaid & De Wet, 1999). Dans un environnement sec, la maturation des dattes s'accompagne d'une déshydratation des fruits sous l'effet de la chaleur (Munier, 1973). Dans le Sahel en revanche, les pluies provoquent une augmentation de l'hygrométrie de l'air et une diminution de la température, ce qui perturbe la maturation des fruits (Jahiel & Candelier, 1991). Ce phénomène entraîne une production de dattes de mauvaise qualité dont la conservation est limitée.

Les connaissances sur les ressources génétiques des espèces cultivées est d'une grande importance pour l'amélioration de la productivité et de l'efficacité de toute activité tendant à sa préservation et sa valorisation. Avec l'avancées des connaissances sur les ressources génétiques du palmier dattier dans l'ancien monde, deux pools génétiques de palmier dattier liées à la répartition géographique ont été décrits (Gros-Balthazard et al, 2013; Pintaud et al, 2013; Hazzouri et al, 2015; Zehdi -Azouzi et al., 2015). Contrairement aux pays du Maghreb où les ressources génétiques du palmier dattier ont été étudiées (Hannachi *et al.*, 1998 ; Rhouma, 2005 ; Sedra, 2011), le patrimoine génétique de cette espèce est encore méconnu dans les pays sahéliens comme le Niger, même si une étude préliminaire a montré une certaine originalité de ce germplasma par rapport à l'Afrique du Nord et à la Mauritanie (Pintaud *et al.*, 2013).

De même, la caractérisation morphologique du palmier dattier dans le pays du Sahel à fait l'objet de peu d'études. Dès les années 1950, la découverte de l'angle de phyllotaxie (Henry, 1955; Thomas *et al.*, 1969) a posé les bases d'une description botanique exhaustive des palmiers. La compréhension de l'architecture des plantes permet désormais la modélisation de leur ensemble (Barthélémy & Caraglio, 2007). La modélisation du palmier repose principalement sur la détermination de la succession (topologie) des différents organes (palmes, inflorescences *etc.*) et leurs mesures morphométriques. La modélisation représente un domaine de recherche doté d'un grand potentiel en matière de gestion des vergers. Dans monde oasien, la modélisation des palmeraies concerne la gestion rationnelle des plantations. L'enjeu de cette pratique intéresse non seulement les besoins en eau du palmier (Sperling, *et al.*, 2014), mais également la sélection des cultivars pour améliorer de la production quantitative et qualitative de dattes. Elle permet en effet d'évaluer l'interception optimale du rayonnement solaire par les palmiers et ainsi la quantité disponible pour des cultures associées (Dauzat and Eroy 1997 ; Dauzat *et al.*, 2007).

1.5.1 Objectif général et stratégies de recherche

L'objectif général de la thèse est d'améliorer nos connaissances sur le palmier dattier et la phœniciculture afin de promouvoir le développement durable de l'agriculture oasienne et d'accroître la sécurité alimentaire dans le Sud-Est du Niger.

Pour répondre à cet objectif, notre travail a été organisé en trois parties :

1.5.1.1 Evaluation des connaissances locales

La première partie vise à connaître les pratiques culturelles, les savoir locaux et la valorisation du palmier dattier par les populations, dans la perspective d'identifier les points forts et les limites de la phœniciculture dans le Sahel. À terme, ces connaissances permettront d'optimiser les étapes clés de la filière économique du palmier dattier dans la région. Dans cette perspective, une enquête socioéconomique a été entreprise auprès des agriculteurs. Dans des villages de la région du Manga, les cultivateurs ont été questionnés sur leurs pratiques culturelles, les critères utilisés pour identifier les variétés et les revenus tirés de leurs activités. Cette enquête a pris en considération les groupes ethniques, les facteurs environnementaux et la phénologie du palmier dattier.

1.5.1.2 Caractérisation de la diversité génétique

La deuxième partie a pour objectif de caractériser la diversité génétique des palmeraies des cinq départements des régions du Damagaram et du Manga afin de comprendre l'histoire et l'origine des palmeraies et d'en connaître la richesse génétique et le potentiel. Cette étude est un préalable indispensable à la conservation et la valorisation du patrimoine phœnicicol dans le Sahel. Une caractérisation de la diversité génétique des palmiers dattiers des cuvettes oasiennes du Sud-Est du Niger a ainsi été conduite. Les données générées ont été analysées et comparées avec l'information génétique de palmiers dattiers de dix pays représentatifs de la diversité mondiale afin de comprendre la structuration génétique et l'origine des palmeraies du Sahel.

1.5.1.3 Caractérisation de l'architecture et modélisation

La troisième partie est une étude morphologique pour la mise au point d'un modèle architectural du palmier dattier dans la région du Sahel. La finalité de ce travail est de tendre vers un modèle fonctionnel afin de mettre à disposition un outil opérationnel de gestion de la culture du palmier dattier au Sahel. Les paramètres architecturaux du stipe, de la palme de l'inflorescence ont été évalués. Les résultats obtenus par l'analyse de ces données ont servi à renseigner et à calibrer le modèle numérique (PRINCIPES) de la plante. Ces informations ont été agrégées pour tendre *in fine* vers une modélisation fonctionnelle complète incorporant l'architecture, la croissance, le développement et les réponses de la plante aux conditions environnementales.

CONNAISSANCES LOCALES AUTOUR DU PALMIER DATTIER

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats d'une enquête socio-économique qui a été entreprise auprès des agriculteurs afin d'étudier le potentiel et la perception de la phœniciculture dans le Sud-est de Niger. Nous avons d'une part analysé les pratiques culturelles et les savoirs locaux autour du palmier dattier et d'autre part, nous avons fait un recensement des variétés locales de palmier dattier identifiées par les agriculteurs.

Ce chapitre a fait l'objet d'un article publié dans le journal *Agricultural Sciences* de la revue *Scientific Research publishing*.

Title: *Local practices and knowledge associated with date palm cultivation in Southeastern Niger*

Authors: Zango O^{1&2}, Rey H¹, Bakasso Y², Lecoustre R¹, Aberlenc F³ and Pintaud J.-C³

1 CIRAD, UMR AMAP, F-34398 Montpellier, France

2 Sciences and Technologies Faculty, Niamey University, BP 10662, Niamey, Niger

3 IRD, F2F- Palms group, UMR DIADE, F-34394 Montpellier, France.

Abstract

The date palm (*Phoenix dactylifera* L.), a dioecious species, is of particular interest in the Sahel due to its phenological plasticity in relation to climate change and its double-flowering capacity. This article explores local practices and knowledge associated with date palm cultivation in the oasis basins of south-eastern Niger, and provides an inventory of local seed propagated varieties, for more effectively guiding agricultural research and the breeding of this species. We carried out a survey of 30 date palm growers in 14 villages of the Manga region. The qualitative data of the survey were processed by a Multiple Correspondence Analysis. We inventoried 19 date palm varieties, for which the main distinctive criterion was fruit colour, but some other criteria such as biology or provenance were also used. The cultural practices and knowledge associated with the date palm in Manga have improved since the 1990s. They also depend on ethnic groups and the importance they assign to farming compared to livestock rearing and trading activities. The type of basin (high, intermediate, or low water table) influences growers' practices and perceptions. Lastly, the date harvest in the wet season is abundant, but of mediocre quality, whereas it is the opposite for the dry season harvest. To conclude, sustainable development of date palm cultivation in the Sahel zone relies firstly on the selection of varieties that are early fruit producers or that can complete fruit maturation during the raining season and secondly on technical capacity building for producers.

Keywords: Sahel, *Phoenix dactylifera*, seed propagated variety, local knowledge, climate change.

2.1 Introduction

The Sahel (a semi-arid zone) is acknowledged to be a climate change hot spot with great social and environmental vulnerability (de Sherbinin, 2014). Farming in the Sahel countries needs to deal with this in order to meet the food security of their growing populations. Using plant species with high phenological plasticity (ability to adapt), such as the date palm (*Phoenix dactylifera* L., (Munier, 1973), is one response to difficult pedoclimatic conditions to which few plants are adapted.

The date palm is a multi-purpose plant (Routson, 2012). Its ecosystem services enable the development of diverse forms of animal and plant life essential for the populations of arid zones (De Grenade, 2013). This dioecious species, mainly grown for its fruits, is of great socio-economic importance on the Arabian Peninsula, in North Africa and in the Middle East (Chao & Krueger, 2007). It has been introduced into many regions of the world, including Asia, Australia, the USA and Spain, and it is present in the Sahel, notably in Niger, Mali, Chad, Mauritania and Djibouti (Munier, 1973).

In Niger, the date palm is cultivated in two zones, one traditional in the Sahara and the other more marginal in the Sahel. The traditional zone stretches to the North, to Mount Aïr and into the Ingal valley, and to the Northeast, in the Bilma region on the Djado plateau, Kavar and Agram. The marginal Sahel zone, to the Southeast, covers Damagaran (Zinder region) and Manga (Diffa region; Lenormand, 1984; Jahiel, 1996; Abdoussalam and Pasternak 2015). In southeastern Niger, the date palms are recent stands of a few hundred or thousand plants in oasis basins (Jahiel, 1996). The introduction of the date palm there would appear to date from the turn of the 20th century; the unexpected consequences of the great famine “*Gande beeri*” in 1913-1914 (Chillio, 1994) led the population of Manga to understand that the date palm could be part of agricultural diversification to contribute to household food security. However, farmers did not show any more interest in it until the 1970s, when the climate became even more arid (Jahiel, 1998). In southeastern Niger, as in the Thar desert in western India (Bhansali, 2010), the palms produce dates twice a year: an initial atypical season from September to March which would seem to involve under 20% (Jahiel and Blay, 1994) of mature palms and produces dry dates, and a second season of typical production from January to June, which involves virtually all bearing palms (Jahiel et Blay, 1994) whose date ripening is disrupted by the onset of the rainy season (Jahiel 1996; Bhansali, 2010). In general, the dates produced in southeastern Niger, as in the Thar Desert in western India, are of lower commercial value and storage quality (Jahiel 1996) than dates from the traditional zones, such as Bilma in northern Niger, Algeria and Libya.

Better knowledge of local varietal diversity of the date palm in southeastern Niger and of the associated local knowledge would make it possible to more effectively guide agricultural research requirements on this species with high phenological plasticity, in view of the consequences of climate change for the Sahel. Indeed, in order to reduce the damage caused by the early onset of rainfall and improve the commercial value and storage quality of dates, it might be worth promoting seed propagated varieties that start bearing early, or can

complete fruit maturation during the raining season, or focusing on the first harvest. However, these seed propagated varieties had not been inventoried; nor had the associated knowledge and farming practices. It was in order to fill that gap in the inventory that we investigated these local practices and knowledge and we inventoried the date palm seed propagated varieties in the oasis basins of the Manga region in southeastern Niger. The study was completed by looking at the use made of income generated by this crop.

2.2 Materials and methods

2.2.1 Study site and survey procedure

Our study was undertaken from May to November 2014 in southeastern Niger, in the two departments of the Manga region (latitude 13°20' to 13°55'N; longitude 9°50 to 11°50'E): Gouré and Goudoumaria (Fig. 2.1). The inhabitants of Manga are primarily Kanuri sedentary agropastoralists, along with some Hausa commercial farmers and Fulani, Toubou, Tuareg and arab nomadic pastoralists (Zakaria, 1985; Thébaud and Batterbury, 2001).

The climate in Manga is Sahelian, with average annual rainfall of 329 mm (average over 74 years from 1939 to 2013) distributed in a single rainy season from June to September, and August is the wettest month (Fig. 2.2). The average monthly temperature is 28°C (over 30 years, from 1983 to 2013) and April and May are the hottest of the year (Fig. 2.2).

The relief comprises a sandy plateau from 300 to 400 m above sea level, whose upper areas correspond to the rims of shifting sand dunes. The plateau is peppered with basins and lowlands which would seem to derive from the flow network of temporary water courses, once tributaries of Lake Chad. The basins, small oasis depressions around 10 m in depth, are home to date palms. These basins have three types of hydrological regime in the lowest central section (Jahiel, 1996): (i) basins with a high water table (HWTB) at a depth of less than 1.5 m, (ii) basins with an intermediate water table (IWTB) at a depth of between 1.5 and 4 m and (iii) basins with a deep water table (DWTB) at a depth of over 4 m (Jahiel, 1996).

During the long dry season (8-9 months, Fig. 2.2), the basins are the only ideal place where humans and animals live side by side in search of the best conditions. During that period, the animals deposit their faeces, which thus maintains soil fertility in the basins (Thébaud & Batterbury, 2001). This manure, combined with the shallow depth of the water table, the characteristics of the climate (Ozer et al., 2010b) and the texture and chemical composition of the soils (Jahiel, 1996) create an environment suited to date palm cultivation.

In almost 400 basins with date palms inventoried by Lenormand (1984), Jahiel and Candelier (1991) estimated the date palms in the basins to number 200,000 plants. Male date palms appeared to account for half of the total number of palms in the groves (Jahiel, 1998), while fewer than 3 male palms are needed for 100 females when artificial pollination is used.

Dates develop in five stages: ‘Hababouk’, end of fruit-set when the small fruit is still with its calyx; ‘Kimri’, from the small fruit stage up to green fruit growth; ‘Khalal’, physiologically ripe and sweet fruit, which turns from green in colour to yellow or red; ‘Rutab’, a fruit whose apex starts to turn from yellow or red to brown or black; ‘Tamar’, a completely ripe fruit whose colour turns from yellow or red to brown or black (Zaid et De Wet, 1999). In the Manga region, dates are usually harvested at the ‘Tamar’ stage during the first season and at the ‘Khalal’ stage during the second season (rainy season). In order to ensure optimum and profitable production, good practices involve the choice of variety, irrigation, fertilization, sanitation cleaning, pruning of old fronds, artificial pollination, thinning of bunches or spikelets, and protection of bunches from pests (insects, birds, mammals) (Zaid and Wet 2002). Nevertheless, apart from pruning, little attention is paid to date palm growing in Manga, as the palms are primarily used to secure land tenure (Jahiel, 1998).

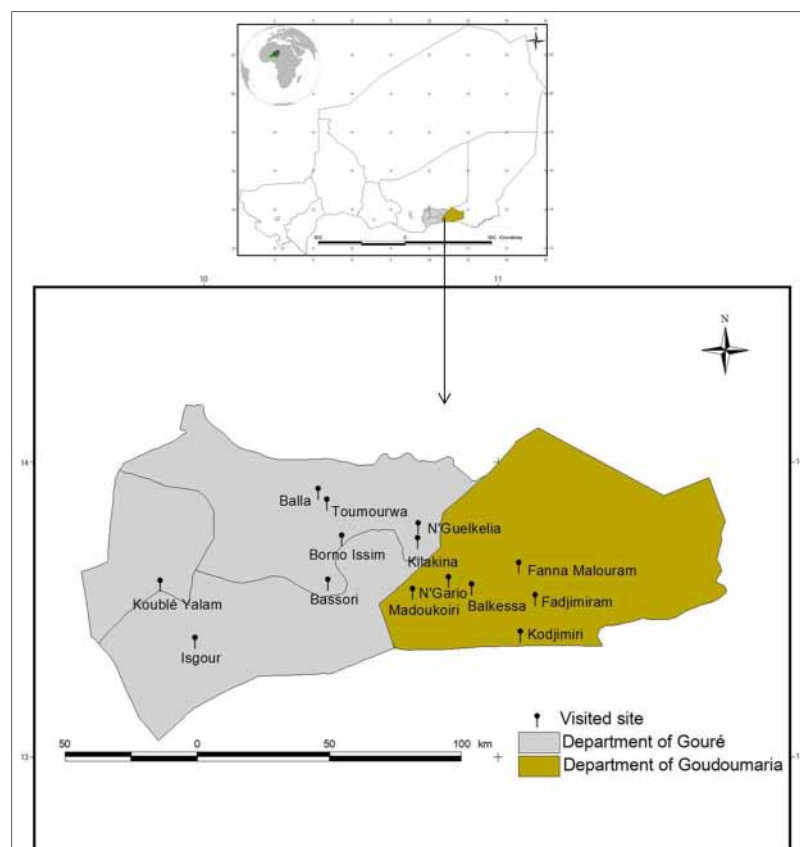


Fig. 2.1 the Manga region in southeastern Niger; the 14 villages surveyed for date palm cultivation (map: Garkoua)

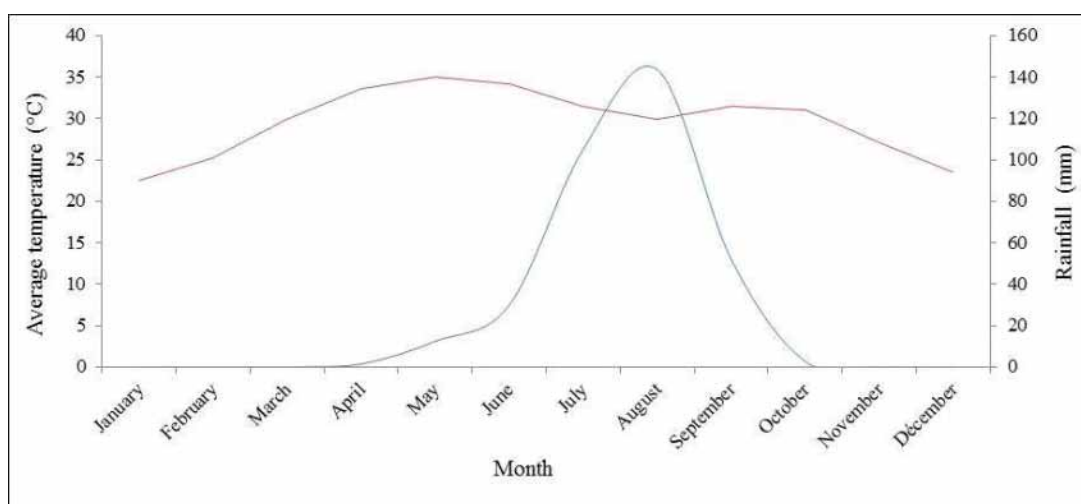


Fig. 2.2 Monthly average temperature trends from 1983 to 2013 (red line) and monthly average rainfall from 1939 to 2013 (blue line)

Our survey covered 14 villages (i.e. around 10% of the villages in the two departments; Fig. 2.1) representative of the whole Manga region, enabling us to cover the three types of basin. The survey took place in three phases: (i) consultation with the population of the village to identify date palm farmers; (ii) visit to the palm groves of the

person or group to be surveyed (in some cases, all the palms belonged to the founder of the village); (iii) data gathering by interviews.

We carried out 30 interviews (on 30 farms) among the date farmers, with an interview corresponding to a meeting with one person or a group of 3 to 6 people. The interview was conducted in the field, in the plots containing the palms, or in the village. The information gathered in each interview was as follows: identity of the basin or village, identity of the producer, date palm seed propagated varieties, cultural practices, date production, the use made of income derived from dates.

2.2.2 Data processing

The qualitative data (table 2.1) were processed by Multiple Correspondence Analyses (MCA) with R software (version 3.2.0) to characterize the geographical location and categorize the basins according to date palm distinction criteria, and the practices and income uses associated with date palm growing. We used descriptive statistics for some of the calculations comparing production means for the two seasons and the price of dates depending on their provenance.

Table 2.1 The 14 variables and their modalities for the Multiple Correspondence Analysis (30 interviews in 14 villages, southeastern Niger, 2014).

Variable code	Variable name	Modalities
P1	Department	Gouré, Goudoumaria
P2	Municipality	Gouré, Bouné, Guidiguire, Goudoumaria
P3	Type of basin	HWTB, IWTB, DWTB
P4	Ethnic group	Hausa, Kanuri, Fulani
P5	Seed propagated variety distinction criteria	Fruit colour, plant biology, fruit quality, fruit quality and colour, fruit colour and biology of the plant
P6	Propagation method	Naturally sown, semi-natural plantation of suckers
P7	Pruning period	Harvest, rest period, harvest and rest period
P8	Pollination	Yes, no
P9	Inflorescence thinning	Yes, no
P10	Type of organ removed	A few spikelets, a few inflorescences, nothing
P11	Reason for thinning	Quality, weight reduction, none
P12	Date production (kg/palm/season)	50, 75, 100, 150, 200, 250
P13	Use made of income	Food, food and clothing, food and field work
P14	Type of protection against pests	Inflorescence covering, none

Type of basin: HWTB, High Water Table Basin, IWTB, Intermediate Water Table Basin, DWTB, Deep Water Table Basin

2.3 Results

2.3.1 Local practices and knowledge associated with date palm

The first two dimensions of the Multiple Correspondence Analysis (MCA) absorbed 32% of the variation out of the 30 dimensions of the MCA (Fig. 2.3, graph P15). Dimension 1 compared the two departments of Manga region (Fig. 2.3, graph P1). Dimension 2 concerned the different types of basins (Fig. 2.3, P3).

Dimension 1 compared the department of Gouré to the department of Goudoumaria (Fig. 2.3, graph P1). The farmers in Goudoumaria thinned inflorescences by removing a few spikelets or a few bunches, leading to better quality dates and reducing plant weight to prevent crown toppling (Fig. 2.3, P9, P10 and P11), while those in Gouré were indifferent to this practice. Virtually all the farmers in Goudoumaria carried out artificial pollination, while it was the opposite in Gouré (Fig. 2.3, graph P8). Artificial pollination was manual and consisted in shaking male inflorescences surrounding female inflorescences and introducing them into the crown of the female plant. The farmers in Goudoumaria protected bunches from pests (insects, birds, bats) much more than those in Gouré (Fig. 2.3, graph P14). The protection involved using nylon fabric or matting woven from doum palm leaflets to cover the inflorescences. In terms of propagation, the farmers in Goudoumaria used suckers more than those in Gouré (Fig. 2.3, graph P6). The income from date sales served solely to buy food and clothing in Goudoumaria, while it was also used to buy livestock and to hire farmer labourers in Gouré (Fig. 2.3, P13).

Dimension 2 compared the intermediate water table basins to the other basins with a high or deep water table (Fig. 2.3, P3). The farmers of the intermediate water table basins tended to use the “fruit colour” criterion to identify seed propagated varieties, while the farmers in the other basins also used the quality, biology or origin criteria (Fig. 2.3, graph P5). Only the farmers in the intermediate water table basins pruned and cleaned their date palms during the harvesting and resting periods (Fig. 2.3, graph P7). According to the farmers, the date palm was introduced into the high water table basins, which offered ideal conditions for seed germination but, as time went by, the water tables dropped in those basins. Date production per palm and per season was higher in the intermediate water table basins (200 kg on average) than in the other basins (110 kg on average) (Fig. 2.3, graph P12).

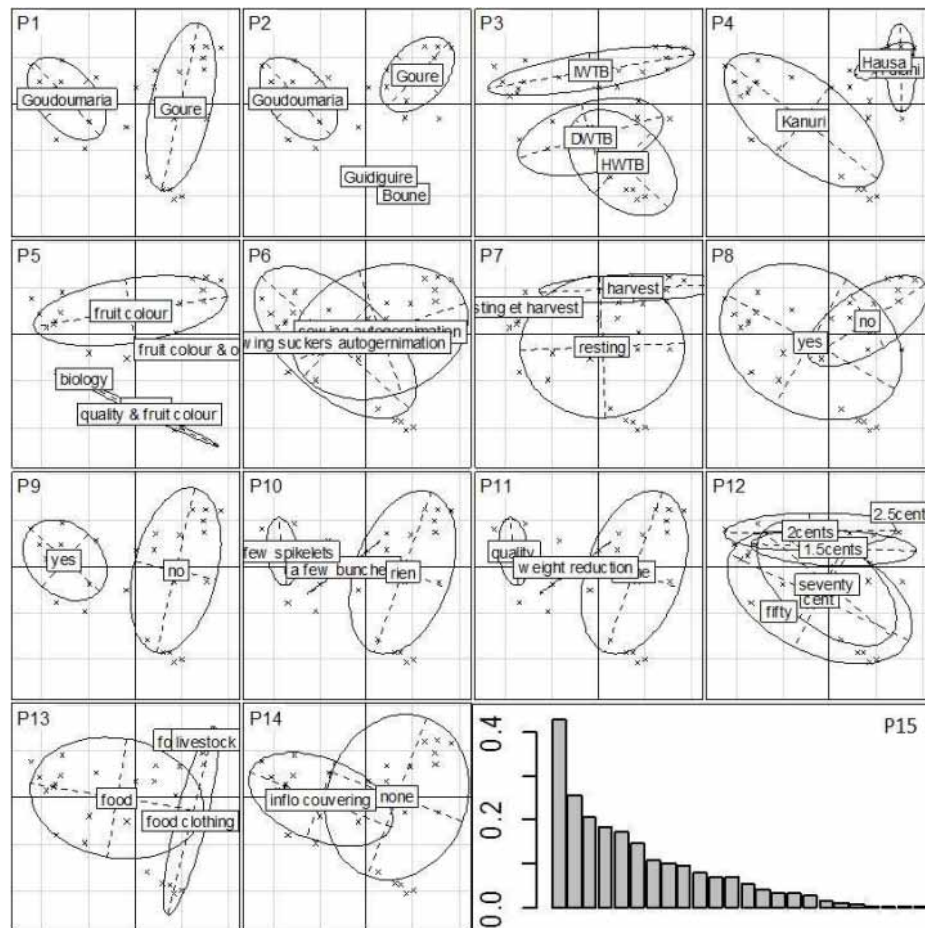


Fig. 2.3 Projection of the 30 surveyed farms growing date palms (Manga region, southeastern Niger, 2014) onto the first two dimensions of the multiple correspondence analysis. Each graph from 1 to 14 represents a projection of the farms according to the modalities of variable P (see details of the variables in table 2.1). Graph 15 shows the diagram for the eigenvalues associated with the 30 dimensions of the MCA

Lastly, the sex ratio (number of male palms compared to the number of female palms) was 32% in all the basins visited. The farmers had two ways of recognising the sex of the date palm, one by the seeds and one by the seedlings. Any seed with a curved shape, pointed tips and a generally rough appearance would give a female plant and, conversely, any straight seed with a generally smooth appearance would give a male plant (Fig. 2.4A). The other way consisted in placing seeds to germinate in the same pit covered with matting woven from leaflets of a palm (Doum palm, *Hyphaene thebaica* (L.) Mart., date palm): the seedlings for which the first leaves did not manage to pass through the matting were female plants (Fig. 2.4B), while those whose leaves passed through the matting were male plants. All the males were usually destroyed and, if needed, only fewer than 30% were kept.

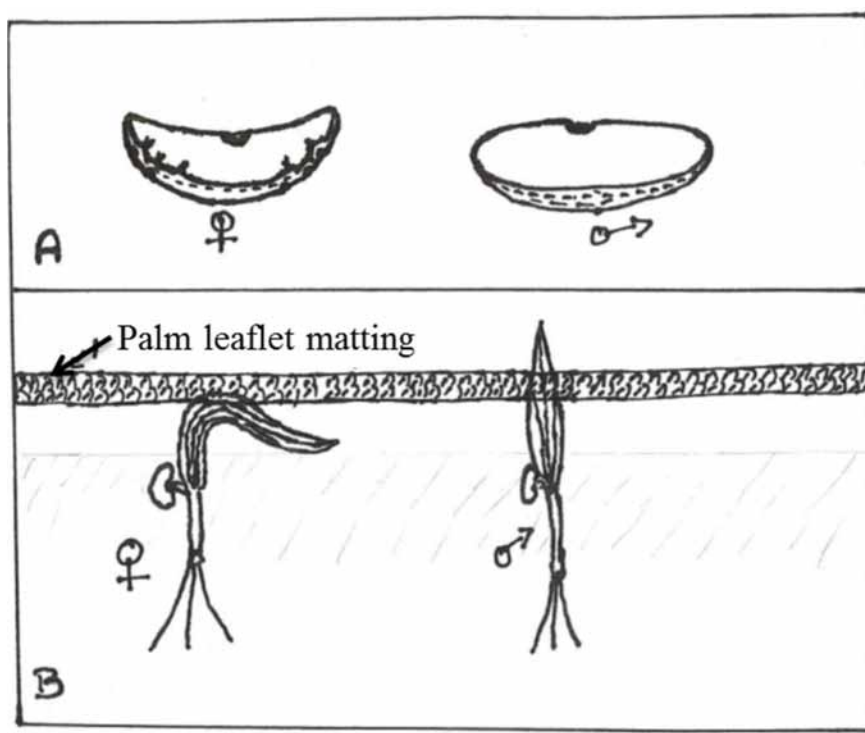


Fig. 2.4 Techniques for early recognition of date palm sex. (A) date palm seeds, female on the left and male on the right. (B) Date palm seedlings germinated under matting woven from palm leaflets, female on the left and male on the right

According to the farmers in Manga, rainfed cereal production outside the basins (millet and sorghum, dietary staples in Manga), only covered 4 months of family food requirements on average. To complete those harvests, date palms were usually intercropped with fruit, cereals and market garden crops, giving rise to palm groves organized in 4 strata (Fig. 2.5):

- upper stratum: date palms sometimes with doum palms
- 2nd stratum, fruit crops: mango, guava, moringa, lemon, baobab, jujube, pawpaw, orange, banana, tamarind
- 1st stratum : cereals (maize, wheat and sorghum), sugarcane, cassava
- soil level, market garden crops: cabbage, onion, lettuce, carrot, tomato, potato, chilli pepper, bell pepper, melon, watermelon, squash, sweet potato, aubergine, sorrel, okra.

In this cropping system, the date palms benefited from protection (fencing), irrigation water and the fertilizers applied to the market garden crops in all the groves. On the other hand, when they were in plots without market garden crops, no irrigation or fertilization was provided. In that case, they took up water from the water table and their fertilization came from animals roaming in the basin. In all the basins investigated, the depth of the water table was less than 5m, Nevertheless, according to the farmers, the date palms competed with the market garden crops and the shade of the palms prevented those crops from growing well.

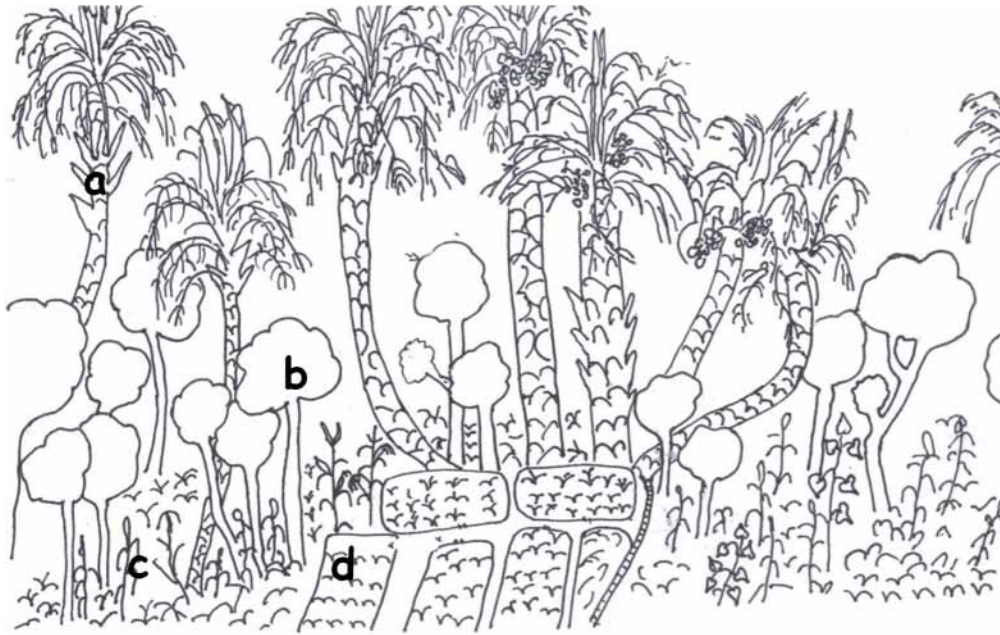


Fig. 2.5 Multi-stratum intercropping of a palm grove in an oasis basin (Manga region, southeastern Niger), (a) date palm (upper stratum), (b) tree crops (2nd stratum), (c) cereals (1st stratum), e. market garden crops (soil level)

2.3.2 Inventory of date palm seed propagated varieties

We inventoried 19 date palm seed propagated varieties in Manga (table 2.2). They were identified from the colour of their fruits at the ‘Khalal’ and ‘Tamar’ stages, sometimes from their quality (‘Bordol’ which produces large fruits, ‘Maga’ which produces poor quality dates, ‘Kitila’ whose unripe fruit is not astringent), their biology (‘Garouda’ less susceptible to relative humidity), the origin of the sown seed (‘Balma’ from Bilma, or “Dan Agadez’ from Agadez), and the sex of the palm in question (‘Namiji’ male palm).

The same seed propagated variety could have two synonymous names in the same language, ‘Massara’ or ‘Kouranjaki’, or in different languages, ‘Massara’ and ‘Wale’. It might also have only one name in one language without a synonym in another, ‘Balma’ and ‘Zinzime’ (table 2.2). The names were often preceded by the prefix ‘Dabino’ which designated the date without any seed propagated variety distinction; for example, ‘Ja’ could be called ‘Dabinoja’, ‘Baki’ ‘Dabinobaki’, or ‘Boule’ became ‘Dabinoboule’.

Of the 19 seed propagated varieties in Manga, 12 had yellow fruits, 4 had red fruits, 1 had greenish brown fruits and 1 other had fruits that were grey at the base and yellow towards the tip (table 2.2). In general, the yellow seed propagated varieties had a higher commercial value on the market given the paler appearance of the fruits.

The ‘Kitila’ seed propagated variety produced dates mostly for home consumption. It was the only seed propagated variety whose fruits could be consumed in their unripe stage in full growth before the ‘Khalal’ stage, whereas all the others produced dates that were indigestible at that stage due to the amount of tannin they contained. The ‘Garouda’ seed propagated variety was the only one to produce fruits that fully ripened, i.e. dry on the palm, whatever the rainfall. Despite its average sugar content, the ‘Garouda’ date had a good commercial value during the rainy season because dry dates are rare. To obtain dry dates from the other seed propagated varieties, the farmers cut bunches between the ‘Khalal’ and ‘Rutab’ stages and dried them under thatch shelters where they were hung from the roof, protected from rain, until fully ripe.

Table 2.2 The 19 date palm seed propagated varieties and their distinctive criteria inventoried in 2014 in 14 villages in the Manga region (southeastern Niger, 2014)

Seed propagated variety name		Distinctive criteria		
Hausa name	Kanuri name	Fruit colour at ‘Khalal’ stage	Distinction criterion	Characteristics
Balma		Yellow	Origin of sown seed	From Bilma, dry date, large fruit, good commercial quality
Maywa,	Crikiji	Greenish brown	Fruit colour at ‘Khalal’ stage	Greenish brown when ripe, sweet, average commercial quality
Maiduhuduhu				
Ja	Kime	Red	Fruit colour at ‘Kahal’ stage	Average physical appearance, poor commercial quality
Magaja		Red	Fruit colour at ‘Kahal’ stage	Fruit less sweet, rarely fully ripens, mediocre commercial quality
Baki	Tiloum	Dark red	Fruit colour at ‘Kahal’ stage	Red becoming black on ripening, sweet, poor commercial quality
Ja maihaske	Soumala	Bright red	Fruit colour at ‘Kahal’ stage	Good flavour, average commercial quality
Massara, Kouran	Walé	Bright yellow	Fruit colour at ‘Kahal’ stage	Good flavour, dry date, good commercial quality
jaki				
Farin	Boule	Pale yellow	Fruit colour at ‘Khalal’ stage	Pale date, average sized date, high commercial quality
Massara maiduhu		Dark yellow	Fruit colour at ‘Kahal’ stage	Good flavour, average commercial quality
Cala biyu		Grey at base and yellow at tip	Fruit colour at ‘Kahal’ stage	Grey at beginning, yellow at end, good flavour, poor commercial quality
Dan Agadez		Yellow	Origin of sown seed	From Agadez, dry date of good commercial quality
Namiji		-----	Male sex	Male, rarely produces fruits
Maga		Yellow	Fruit quality	Rarely fully ripens, poor commercial quality
Dan macka		Yellow	Origin of sown seed	From Mecca, average sized fruit, average commercial quality
Dan tunus		Yellow	Origin of sown seed	From Tunisia, large fruit, good commercial value
	Zinime	Yellow or red	Fruit quality	Very small fruit, never fully ripening
	Kitila	Yellow	Fruit quality	Large sweet fruit, less astringent and consumable unripe (‘Kimiri’ stage)
	Bordol	Yellow	Fruit quality	Large fruits of high commercial value
	Garouda	Yellow	Phenology of the species	Less susceptible to relative humidity, moderately sweet, good commercial value

Table 2.3 Varieties grown by village (14 villages, southeastern Niger, 2014).

Village	Basin type	Ethnic group	Number of seed propagated varieties	Most appreciated seed propagated variety
<i>Department of Goudoumaria</i>				
Kodjimiri	IWTB	Kanuri	5 : Ja, Farin, Massara, Maiduhuduhu, Baki	Farin
N'Gario	IWTB	Kanuri	5 : Ja, Farin, Maiduhuduhu, Baki, Ja-maihaske,	Farin
Balkessa	HWTB	Kanuri	2 : Ja, Farin	Farin
Fadjimiram	DWTB	Kanuri	2 : Garouda, Massara	Garouda
Fanna	DWTB	Kanuri	3 : Bordol, Ja-maihaske, Maga	Bordol
Malouram				
Madoukouri	IWTB	Kanuri	2 : Ja, Farin	Farin
<i>Department of Gouré</i>				
Toumourwa	DWTB	Kanuri	4 : Massara, Maiduhuduhu, Ja, Baki	Massara
Isgour	HWTB	Kanuri	5 : Ja, Balma, Zinzime, Cala biyu, Dan Agadez	Balma
Kilakina	IWTB	Hausa + Kanuri	5 : Ja, Massara, Maiduhuduhu, Massara-maiduhu, Dan Macka	Massara
N'Guelkelia	IWTB	Fulani	5 : Ja, Farin, Baki, Massara, Massara-maiduhu	Farin
Balla	DWTB	Kanuri	4 : Ja, Maywa, Farin, Magaja	Farin
Koublé Yalam	DWTB	Fulani	1 : Massara	Massara
Borno issim	HWTB	Fulani	3 : Balma, Massara, Ja	Balma
Bassori	IWTB	Kanuri	2 : Ja, Massara	Massara

Basin types: HWTB, high water table basin, IWTB, intermediate water table basin, DWTB, deep water table basin

On average, 4 seed propagated varieties were grown per village or per basin (table 2.3). Each basin was home to at least two seed propagated varieties, except the basin of Koublé yalam, a Fulani village where only one variety, 'Massara', was inventoried. The intermediate water table basins (IWTB) had the largest number of seed propagated varieties, apart from the high water table basin (HWTB) of Iskour, which also had 5 seed propagated varieties. The same seed propagated varieties were encountered in both departments, Gouré and Goudoumaria. The 'Massara' seed propagated variety was found in 8 of the 14 basins visited (table 2.3).

In Manga, the 'Farin' seed propagated variety produced the dates most appreciated by the farmers. The 'Massara' and 'Balma' seed propagated varieties in some basins of the Gouré department, and the 'Garouda' and 'Bordol' seed propagated varieties in Goudoumaria, produced dates that were also appreciated (table 2.3).

2.3.3 Date production seasons

The first production season, from September to March (Fig. 2.6), took place in the dry season, with an average 45% of bearing palms in 2014-2015. On average, a palm produced 6 inflorescences for which all the dates reached full maturity ('Tamar' stage), giving 25 kg of dry dates.

The second season, from February to July (Fig. 2.6), included the rainy season and 100% of the mature palms were productive in 2014-2015. On average, a palm produced 12 inflorescences, but the dates rarely reached full maturity due to the rain. Average production per palm was 140 kg of partially ripe fresh dates. Dry dates were very rare.

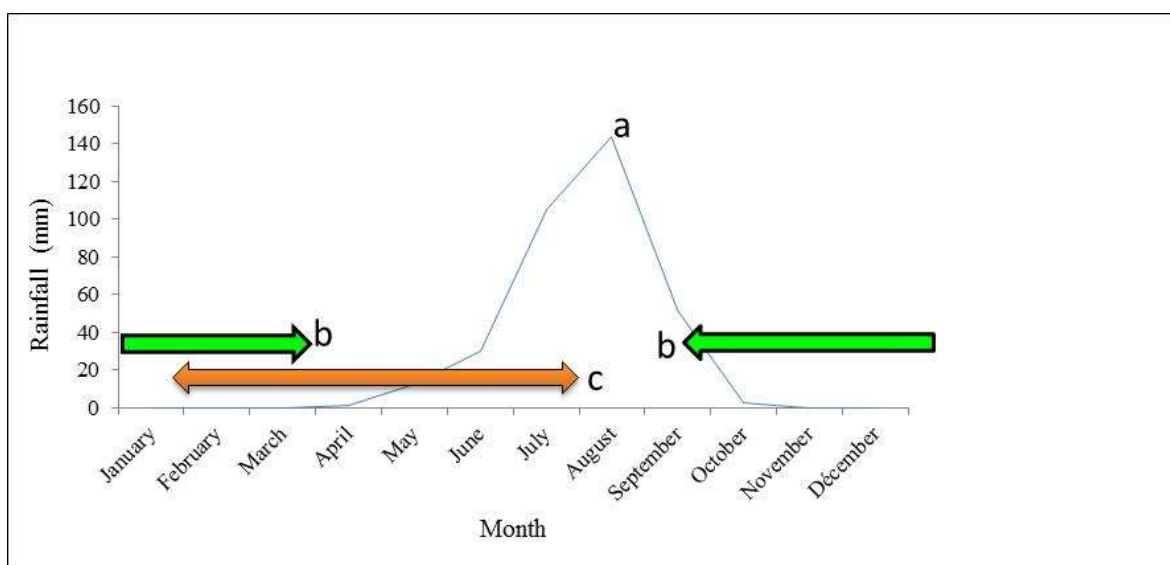


Fig. 2.6 The 2 annual date production seasons in Manga and the monthly average rainfall from 1939 to 2013 in Gouré. (a) Rainfall, (b) 1st season, (c) 2nd season

2.3.4 Date marketing

Only 20% of date production was consumed on-farm, and 80% went for sale on the local market and in neighbouring Nigeria.

In 2014-2015, on the Boutti local market, the average sale price for a kilo of dry dates was 1,060 CFA F (€ 1.60) for the first season and 485 CFA F for the second season (Fig. 2.7). The dates harvested at the ‘Khalal’ or ‘Rutab’ stage (partially ripe), which accounted for virtually all the production in the second season, were sold on average for 50 CFA F per kilo. The dates from the first season sold for more than dates from Bilma (northern Niger) and Libya, but were cheaper than those from Algeria. The dates from the second season were sold for less than those from outside the region.

The low price of dates from the second season (rainy season) was due to their poor quality. On the one hand, the dates did not fully ripen (they remained at the ‘Khalal’ stage) and, on the other hand, the harvest was completed very quickly, in under two weeks, just after the first rainfall. In addition, they were marketed directly, as storage facilities were insufficient. Conversely, the first season (dry season), with less than half of the palms bearing,

was more profitable as the dates fully ripened and were sold at twice the price of dried dates from the rainy season.

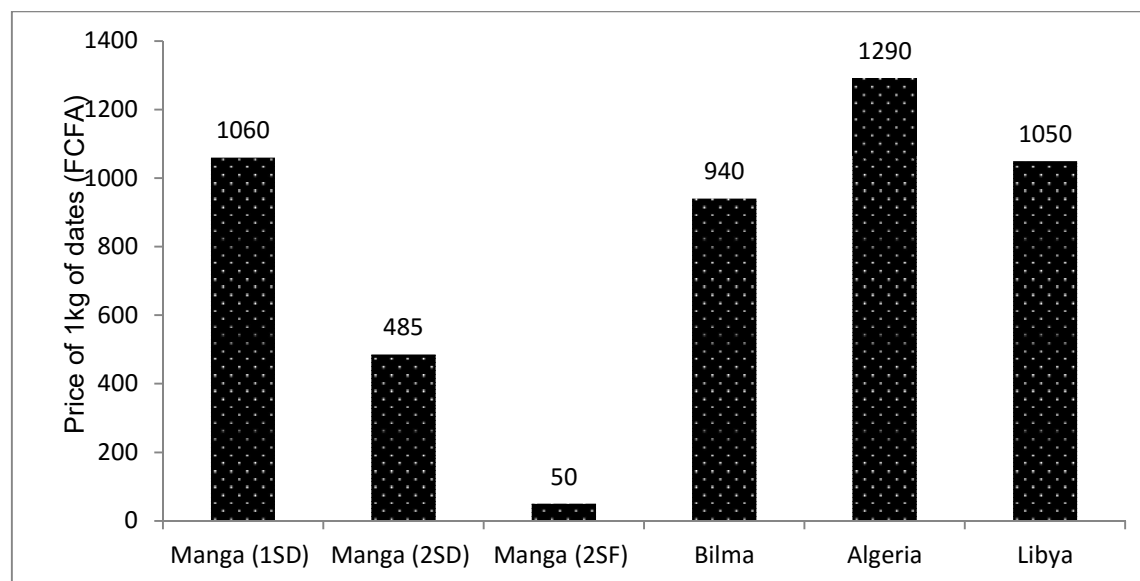


Fig. 2.7 Sale price for dates on the local markets (CFA F/kg, Goudoumaria, southeastern Niger): local dates depending on ripeness stage and the productions season, and dates from outside the region (Bilma, northern Niger, Algeria, Libya) (100 CFA F = € 0.15). 1SD: 1st season dried dates; 2SD: 2nd season dried dates; 2SF: 2nd season fresh dates

2.4 Discussion

2.4.1 Inventory of local seed propagated varieties

Our results showed that 19 date palm seed propagated varieties existed in 2014 in the Manga region of southeastern Niger, whereas the scarce literature on the subject reports far fewer. Indeed, Jahiel and Candelier (1991) only inventoried 3, of which 2 names ‘Kime’ and ‘Wale’ were included in the names we found. A slight contradiction linked to language can be highlighted: unlike what Jahiel and Candelier (1991) stated, the colour ‘Kimé’ in Kanuri means red not yellow, and the colour ‘Walé’ means yellow not red. Abdoussalam and Pasternak (2015) reported six varieties, of which three names ‘Maiwa’, ‘Ja’, ‘Farin’ were included in our inventory, but these six varieties are probably relative to another region close to Manga, the Damagaram region.

Based on the commercial value of the dates, our results revealed that some seed propagated varieties are more appreciated than others. For instance, it may be that a seed propagated variety selection process has taken place, when compared to what was reported by Lenormand (1984) and Jahiel (1989) who described pseudo-date palm cultivation and use of the date palm to secure land tenure. The distinction between male and female seeds, or

between male and female seedlings, confirms today the awareness of farmers in the Manga region since the 1970s of the merits of date palm growing reported by Jahiel (1996).

The names of the seed propagated varieties that we identified differed from those inventoried by Abdoussalam and Pasternak (2015) in the traditional date production zone in the North of Niger (Bilma, Air, Kawar and Djado) although the languages spoken in the two regions are similar. However, the average number of four seed propagated varieties per basin in the Manga region was lower than that reported by Abdoussalam and Pasternak (2015) in northern Niger, i.e. 7 seed propagated varieties in the Mont Aïr oasis, 13 at Ingall and 10 at Bilma. This difference might be explained by the size of the basin comparatively to that of an oasis. All the seed propagated variety names also differed from the names of the Tunisian, Algerian or Moroccan varieties (Mohamed *et al.*, 2011).

2.4.2 Local practices and knowledge associated with the date palm

Two of the results, farming practices and the used made of income, could be explained by the positions held by the different ethnic groups in the Manga region of southeastern Niger. On the one hand, farmers in the department of Goudoumaria (Kanuri ethnic group) had a better command of certain cultural practices, notably bunch thinning, hand pollination, palm pruning and inflorescence covering than those in Gouré (Kanuri, Fulani and Hausa ethnic groups). These practices are described in the literature as good practices leading to better quality dates (Nixon and Carpenter 1978; Zaid and Wet 2002). They are therefore well known in Manga, though they are less developed than in the traditional zones in the North of the country (Abdousalam and Pasterand, 2015). On the other hand, the income arising from date production is only used to buy food in Goudoumaria, whereas it also serves to buy livestock and clothing and to pay farm labourers in Gouré.

In fact, the Kanuri, who are agropastoralists (Zakaria, 1985), practise rainfed agriculture exclusively and sometimes sheep fattening. Given the poor seasons seen since the 1970s in the Sahel (Ozer *et al.*, 2010), the Kanuri use almost all the income derived from date cultivation to buy food, to cover nutritional requirements once the rainfed cereal harvests have been exhausted. Consequently, date growing is taking on increasing importance among the Kanuri due to the income it procures. The Fulani, who are generally livestock farmers (Zakaria, 1985), show less interest in agriculture to cover their food requirements. Likewise, the Hausa who are traders (Zakaria, 1985), have trade, in addition to agriculture, which

enables them to procure cereal supplies. This explains why the income derived from date growing is also used to buy livestock and pay farm labourers.

We found an improvement in the sex ratio, since it is 32% today whereas it was 50% in the 1990s (Jahiel, 1996). This improvement doubtless came from the surge in date growing by farmers in Manga since the 1970s (Jahiel, 1989). However, some efforts are still needed to return to the recommended sex ratio norm for hand pollination, which is 3% (3 males for 100 females, Zaid and De Wet 1999).

Farmers had a particular perception of the consequences of the water requirements of date palms in relation to the hydrological regime of the basin. The farmers in high water table basins, like those in the deep water table basins, did not wish to increase their date palm stand, as they felt that date palms were the main reason for the drop in the water table. For them, the current intermediate water table basins were formerly high water table basins: when the date palm was introduced in those basins, its great evapotranspiration rate (Tripler *et al.*, 2011, Adil *et al.*, 2015) would seem to have led to a drop in the water table down to the intermediate and even deep stage. In addition, contrary to what was reported by Toutain *et al.* (1990) and Celette *et al.* (2008), who suggested that date palms or perennial species live in harmony with seasonal crops (cereals and market garden crops), these farmers believed that date palms competed with market garden crops for water and fertilizer availability. Consequently, they did not take as much care of the current stand as the farmers in the intermediate water table basins that, conversely, had only one ideal: that of enlarging their date palm plantation given the income it generated.

The biology or seed provenance criterion used in distinguishing seed propagated varieties in addition to fruit colour in the high and deep water table basins in no way means that date cultivation practices are better mastered in those basins than in the intermediate water table basins. This is explained by the fact that when farmers in those basins wished to replace a dead palm (rare operation), they often sowed seeds whose fruits they appreciated, found on the market, while regeneration in the intermediate water table basins only involved seeds from the basin in question.

2.4.3 Date production and marketing

Our results confirmed the two production seasons, as mentioned by Jahiel and Fortin (1990) in the same region, Munier (1963) in western Mali, and Haury (1982) in western Niger. In addition, in 2014-2015, there were 45% of bearing palms in the first season, whereas

the Fig. 2.2. was only 20% in 1990 (Jahiel and Fortin, 1990). This better result shows that there has been a selection effort made by farmers, linked to the progression in the sex ratio, and also that this double-flowering would also seem to be due to the ageing of the palm groves, as it was seen more on old palms (Jahiel and Fortin 1990).

In 2014-2015, the numbers of inflorescences were identical to those found by Jahiel and Fortin (1990), i.e. 6 inflorescences per palm in the first season and 12 in the second season. Despite the decrease in rainfall since the 1970s (Panthou *et al.*, 2014), the date palms in Manga seem to have kept their development rhythm, which can be explained by the phenological plasticity of the species (Chandra *et al.*, 1992; Pintaud *et al.*, 2013; Arab *et al.*, 2016).

Date production per palm was six-fold higher in the second season (but with mediocre quality), than in the first season (where quality was better). In addition, the proportion of bearing palms was twice as high in the second season. Consequently, most of the dates in Manga were sold at a paltry price when compared to dates from Bilma (northern Niger), Algeria or Libya. This sale price was linked to a lack of ripeness and poor storage quality. Nevertheless, the high price of dry dates from the first season suggests that the seed propagated varieties in Manga generally produce dates that are much appreciated by the population. The problem to be solved is storage difficulties, for which the solution would seem to lie in breeding varieties that start bearing early or are more humidity-tolerant, like the 'Garouda' seed propagated variety grown in just one of the surveyed villages (the Kanuri village of Fadjimiram, in the department of Goudoumaria). This selection, combined with technical capacity building for farmers, would help to improve the self-subsistence of the local populations, along with their incomes, through the existence of greater competitiveness on the local and regional markets.

Our results did not enable us to decide which season was the most profitable, as the volume of dry dates in the second season remained very difficult to evaluate. It depended on the early onset (or not) of the rainy season.

2.5 Conclusion

This article describes an original investigation of the local practices and knowledge associated with date palms in the oasis basins of the Manga region in south-eastern Niger, along with the inventory of 19 local seed propagated varieties. Today, date palm growing is increasingly considered by farmers as a major source of income, even though the constraint of

water management arises in terms of competition between the different plant strata grown beneath their canopies, particularly market garden crops. The other constraint arising is poor date quality in the rainy season, whereas that season is more productive by far than the dry season. Selecting date palm varieties that start bearing early or are humidity-tolerant, along with technical capacity building for farmers, are avenues of research and development that fit in with adaptation to climate change in the Sahel.

Acknowledgements

This work was supported by the International Foundation of Science (IFS, grant number D/5695-1; 2014) and CIRAD (France). We thank Mr. Baaré Amadou Chefou executive Secretary of the karkara NGO; Garkoua Sayédi, Director of Hydraulics in Magaria and Col. Hamza Barmou, Director of the Environment, in Gouré, for their logistical support.

CARACTERISATION DE LA DIVERSITE GENETIQUE DU PALMIER DATTIER AU SUD EST DU NIGER



Dans le chapitre précédent, nous avons décrit les différentes variétés de palmier dattier identifiées par les agriculteurs dans les cuvettes oasiennes du Sud-est du Niger. Dans le présent chapitre nous avons réalisé une analyse de la diversité génétique des palmiers dattiers de la même région. Cette étude a permis d'apporter des éléments pour connaître la richesse génétique et le potentiel des palmeraies et en comprendre l'origine.

Ce chapitre a fait l'objet d'un article soumis au journal *Theoretical and Applied Genetics* de la revue *Springer*.

Title: *Genetic diversity of South-east Niger date palms reveals a secondary structure within western populations*

Authors: Oumarou Zango^{1,2,3&4}, Emira Cherif¹, Nathalie Chabrillange¹, Hervé Rey², Yacoubou Bakasso³ and Frédérique Aberlenc¹

¹IRD/CIRAD Palm Developmental Biology Group, UMR DIADE, Centre IRD, 911 avenue Agropolis, 34394, Montpellier, France;

²CIRAD, UMR AMAP, 34398, Montpellier, France

³ Faculty of Sciences and Technologies, University of Niamey, BP 10662, Niamey, Niger

⁴ Montpellier University, F-34090 Montpellier, France

Abstract

Date palm (*Phoenix dactylifera* L.) is mainly cultivated for its fruits and is of great socio-economic importance for the population of arid zones. Analysis of the date palm genetic diversity in the Old World has revealed a strong genetic structure with the existence of two genepools, one Eastern comprising Asia and Djibouti, and one Western, consisting of accessions from North Africa. Date palm populations were mainly characterized from countries of Maghreb and Middle East, but no information from Sahel was included. Here, we present the genetic diversity of date palm populations from South-east Niger. The DNA of 113 date palms accessions was analyzed and compared with database containing genetic information of 248 accessions from the ancient world. The diversity generated from 22 microsatellite markers was compared to the same loci of both Eastern and Western genetic pools. Our results show that date palms from South-east Niger constitute an original group with a high degree of genetic diversity. Moreover, this group is included in the western genetic pool but shows a specific originality which differentiates it from others western populations. In addition, it shows one of the lowest admixture levels of the western pool. The global analysis showed a secondary genetic structure within the western pool highlighting a new genetic group in the South-east Niger different from the North African one.

Keywords: Date palm, genetic diversity, microsatellite markers, Sahel, South-east Niger.

3.1 Introduction

Cultivated for more than 6000 years mainly for its fruits (Terral et al., 2012), the date palm is of a great socio-economic importance in Arabic Peninsula, North Africa and Middle East (Bouguedoura, 1979 ; Chao and Krueger 2007; Zango *et al.*, 2013). It was introduced in several areas of the world, including Asia, Spain, Australia, United States of America, and it is present in Sahel, particularly in Niger, Mali and Chad (Munier, 1973).

In Niger, the date palm is cultivated in two main regions: in a traditional growing area in the Sahara and in a marginal area of cultivation in the Sahelian part in the South-east of the

country. Traditional cultivation extends from Air Mount to the Ingal Valley in the North and from the Djado Plateau to Kavar and Agram in the North-east. The Djado and Kavar palm groves (Figure 1) are natural stands which have been mentioned for the first time in 1154 by the Arab geographer Idrisi quoted by Munier (1963). The palm groves of Air and Ingal would originate from local seeds coming from Djado, Kavar or imported from Medina (Saudi Arabia) and would date from the sixteenth century (Munier, 1963). The Sahel is considered as marginal area for date palm cultivation because of sustained rainfalls and insufficient high temperature days (due to cloudiness) during late fruit development which alter date maturation. In this area, date palms would originate from seeds coming from Air, Djado or Fezzan in Libya and would date from years 1917-1918 (Munier, 1963; Lenormand, 1984). These groves are located in the South-east of the country in Damagaran (Zinder region) and in Manga (Diffa region) where they are grown in oasis basins and lowlands (Jahiel, 1996); (Zango *et al.*, 2016). According to Lenormand (1984) palms were first introduced in Damagaram and gradually rose further East in the Manga region from 1924.

In the traditional area of date palm cultivation, date palm's biological cycle is characterized by an unique annual flowering season. In Sahel it presents a double flowering peculiarity (Jahiel, 1996 ; Zango *et al.*, 2016). The first flowering covers over than 45% of date palm production and occurs from September to March (dry season). The second one relates to all of the palm trees and takes place from February to July during the rainy season (Zango *et al.*, 2016). The date production during the second season is higher than during the first one (Zango *et al.*, 2016), but fruits are of poor quality and conservation, because of rainfalls coming in June. However, the date palm cultivation is widely recognized as an important activity to ensure food security in the Sahel in general and South-east Niger in particular (Munier, 1973 ; Jahiel, 1998 ; Zango *et al.*, 2016) strongly affected by aridity and ecosystem alteration (Ozer *et al.*, 2010).

With advanced knowledge on date palm genetic resources in the ancient world, two distinct date palm genetic pools related to geographic distribution were described (Gros-Balthazard *et al.*, 2013; Pintaud *et al.*, 2013; Zehdi-Azouzi *et al.*, 2015; Hazzouri *et al.*, 2015; Zehdi-Azouzi *et al.*, 2015). The eastern pool covers Djibouti, Iraq, United Arab Emirates, Oman and Pakistan and the western pool spreads countries from North Africa (Tunisia, Morocco, Algeria, Mauritania, Libya, Sudan and Egypt) to Spain. The date palm germplasm in Sahel is still unknown compared to Libya (Racchi *et al.*, 2014), Tunisia (Zehdi-Azouzi *et al.*, 2016), Algeria (Bennaceur *et al.*, 1991), Morocco (Bodian *et al.*, 2014), Mauritania

(Bodian et al., 2012), Nigeria (Yusuf et al., 2015) and Sudan (Elshibli & Korpelainen, 2008) where knowledge on genetic resources are well advanced.

In the present article, we used three kinds of molecular markers (nuclear, chloroplast and “Y” linked) to characterize the date palm genetic structure in South-east Niger. Moreover, the Nigerien date palms genetic diversity was compared to the world genetic diversity in order to (i) identify the genetic pool to which it belongs and (ii) learn more about its origin.

3.2 Materials and methods

3.2.1 Plant Materials

The plant material was collected in South-east Niger in Damagaram Takaya (D. Takaya), Magariah and Mirriah (region of Damagaram) and from Goure and Goudoumaria (region of Manga) (Fig. 3.1). A sampling of 113 date palms (31 males and 82 females) was gathered from 19 basins oases (Fig. 3.1). For each date palm, a sample of leaflet was collected from the heart of the crown and stored with silica gel.

The genetic diversity of Nigerien date palms was compared to 136 samples of the ancient world from Egypt (19), Libya (7), Mauritania (5), Morocco (16), Sudan (4), Tunisia (85) Iraq (14), Oman (27), Pakistan (51) and Arab United Emirates (20) as described by Zehdi-Azouzi et al. (2015)

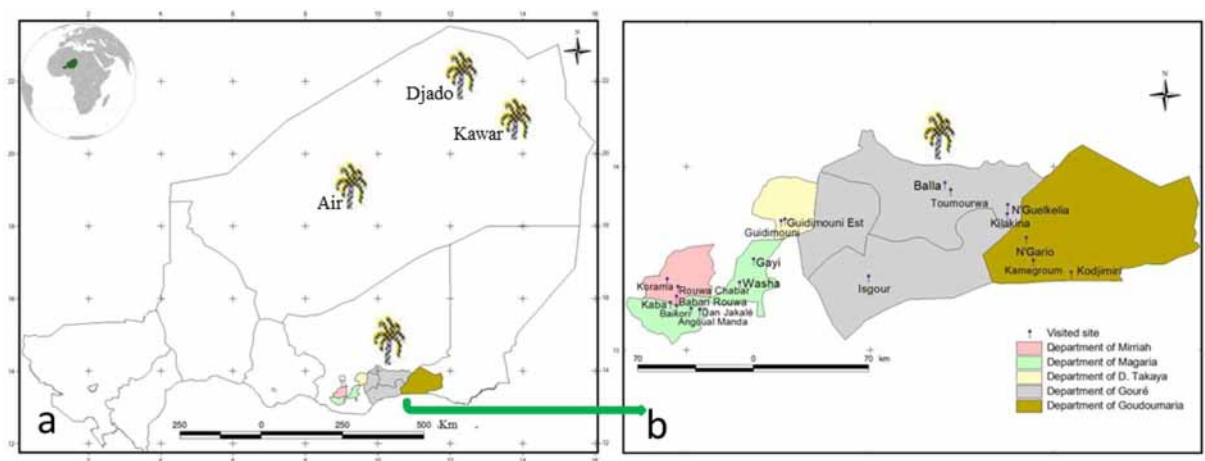


Fig. 3.1. Date palm samples were collected in the South-east Niger (a) in Mirriah, Magariah and D.Takaya departments from the Damagaram region and in Goure and Goudoumaria departments from the Manga region (b).

3.2.2 DNA preparation, amplification and genotyping

Leaf samples were freeze-dried for 72 h with an Alpha1-4LD Plus lyophilizer (Fisher Scientific, Illkirch, France) and ground with a Tissue Lyser System (Qiagen SA, Courtabœuf,

France). DNA extraction was carried out using the Dneasy plant mini kit (Qiagen SA, Courtabœuf, France) according to the manufacturer's instructions.

In this study, 18 SSRs loci were amplified including dinucleotide repeats (Billotte et al., 2004 ; Ludeña et al., 2011) as well as tri/hexa-nucleotide repeats (Aberlenc-Bertossi et al., 2014; Zehdi-Azouzi et al., 2015). The plastid decanucleotide minisatellite identified in the intergenic spacer psbZ-trnfM (Henderson *et al.*, 2006) was also amplified, to identify, within the sampling, the western and eastern chlorotypes as defined by Pintaud et al, 2010). Furthermore, the three sex-linked loci (mPdIRDP50, mPdIRDP52 and mPdIRDP80)(Cherif et al, 2013) were used to identify the western and eastern Y haplotypes as defined by Cherif et al, 2013.

Amplification reactions were performed in a final volume of 20µL containing 20ng of DNA template, 4pmol of the reverse primer and 1pmol of the forward primer, 0.2mM of each deoxynucleotide, 2mM MgCl₂, and 1 unit of Taq polymerase (Sigma). The forward primers were 5'-labelled with one of the three fluorescent compounds (6FAM, NED or HEX) to enable analysis on automated sequencers. PCR was carried out using an EppiMotion 96 thermocycler (Eppendorf). After 5min at 94°C, 30 cycles were performed with Aq 30s at 94°C, 30s at the annealing temperature (depending on the locus) and 30 s at 72°C, followed by a final extension step of 5 min at 72°C. Amplified products were detected on an ABI 3130XL Genetic Analyzer (Applied Biosystems; USA). Analysis and allele calling were performed using the GeneMapper V3.7 software (Applied Biosystems).

3.2.3 Data analyses

3.2.3.1 Genetic diversity analyses

PowerMarker v.3.25 (Liu & Muse, 2005) was used to estimate the major allele frequency (Mfa), the total number of genotypes (Ga), the number of alleles (Na), the number of alleles with a frequency higher than 5 % (NAP) and the polymorphic information content (Pic) at each locus. GenAlEx 6.502 program (Peakall & Smouse, 2012) was used to calculate the observed (Ho) and the expected (He) heterozygosities and the inbreeding coefficient (Fis).

3.2.3.2 Date palm genetic relationships between populations

To examine the genetic inter-population relations, GeneAlex v.6.502 (Peakall & Smouse, 2012) was used. The average number of allele per locus (Na), the average number of allele with a frequency higher than 5 % (Nap), the allelic richness per locus (Ra), the observed

heterozygosity and the number of private allele (A_r) within each population were estimated. Genetix v.4.0.5.2 (Belkhir *et al.*, 2004) was used to estimate the inbreeding coefficient (F_{is}) and its significance within each population by using a bootstrap of 1000000 repetitions.

Genetic differentiation among and between the four geographic groups generated by the 18 loci was estimated by calculating F_{st} according to Weir and Cockerham (1984) estimate (Weir & Cockerham, 1984) using GENEPOP v.4.2 (Rousset, 2008). Fisher's method was applied to test the significance of pairwise F_{st} values (Raymond & Rousset, 1995). The analysis of molecular variance (AMOVA) implemented in the GenAlEx v.6.502 program (Peakall & Smouse, 2012) was conducted to estimate the hierarchical differentiation. Moreover, GeneAlex V6v.6.502 (Peakall & Smouse, 2012) was used to assign the various individuals of the population of the South Niger to the most likely population that they would be native.

To examine the relations between accessions of the 5 sub-groups of south-east Niger, the Principal Component Analysis (PCA) with the factoMiner R package (Lê *et al.*, 2008; Team, 2014) was realized on the data of 18 markers. To examine the genetic relationships between the genotypes of the south-east Niger, the western genetic pool (Mauritania, Morocco, Tunisia, Libya, Sudan and Egypt) and those of the eastern genetic pool (Iraq, Pakistan, United Arab Emirates and Oman), Principal Coordinate Analysis (PCoA) was carried out on the genetic distance matrix using GenAlEx v.6.502 program (Peakall & Smouse, 2012).

To deepen the knowledge on the origin of the Nigerien germplasm, maternal and paternal lineages were studied. For this, western and eastern chlorotypes (Henderson *et al.*, 2006) and Y-haplogroups (Cherif *et al.*, 2013) frequencies were calculated within the Nigerien sampling.

3.2.3.3 Genetic structure analysis

To identify the population structure of the date palm collection, we used a model-based clustering algorithm implemented in the computer program STRUCTURE v. 2.3.4 (Pritchard *et al.*, 2000). This algorithm identifies the best number of clusters (K) with different allele frequencies, and assigns portions of individual genotypes to these clusters. It assumes Hardy–Weinberg equilibrium and linkage equilibrium within clusters. The STRUCTURE algorithm was run without previous information about the geographic origin of the accessions, using a model with admixture and correlated allele frequencies with 10

independent replicate runs for each K value (K ranging from 1 to 6). For each run we used a burn period of 10,000 iterations and a post-burn simulation length of 1,000,000. The optimal number of clusters was assigned by using the run with the maximum likelihood validated with an ad hoc quantity based on the second order rate of change in the log probability of data between different K values (Evanno *et al.*, 2005). To obtain optimal alignment of the independent iterations CLUMPP v.1.1 (Jakobsson & Rosenberg, 2007) implemented in the Pophelper software v.1.0.10 (Francis, 2016) was used. Pophelper v.1.0.10 (Francis, 2016) was also used to plot results for K=2 to K=6.

To generate hierarchical classifications, the shared allele distance (DAS) (Chakraborty & Jin, 1993) among the western and eastern genetic pools and the Nigerien group was calculated. The obtained distance matrix was used to construct the tree using the Neighbor-Joining algorithm (NJ). Bootstrap values were computed over 10,000 replications with the PowerMarker v.3.25 software (Liu & Muse, 2005). So the tree consensus got back via Mega software V7 (Kumar *et al.*, 2016) then imported in Darwin software v.6 (Perrier & Jacquemoud-Collet, 2006) in order to visualize the tree. Finally the probability to belong to the one or to another clusters at the level of the 3 iteration (K=3 which differentiates three groups of date palm) were got back by the results of the software STRUCTURE v. 2.3.4 (Pritchard *et al.*, 2000) to build pie charts which were positioned on the phylogenetic tree at the head of each population.

3.3 Results

3.3.1 Genetic diversity of Niger

3.3.1.1 Polymorphism of microsatellite markers

A collection of 18 microsatellite primer pairs were used to analyze the genetic variation in the 113 South-east Nigerien date palm accessions. A total of 124 alleles were differentiated. The number of allele per locus varied from 1 allele for PdCUC3-SSR1 to 15 alleles for PdAG1-ssr with an average of 6.9 alleles per locus (Table 3.1). Moreover, the number of genotype per locus ranged from 1 for PdCUC3 SSR1 to 49 genotypes for PdAG1-ssr with an average of 18 genotypes per locus (Table 3.1). The major allele frequency per locus varied from 0.28 for PdAG1-ssr to 1 for PdCUC3-SSR1 with an average of 0.54 for all loci. In addition, the polymorphic information content (PIC) at each locus ranged from 0 for PdCUC3-SSR1 to 0.84 for PdAG1-ssr with an average of 0.55 per locus (Table 3.1). The expected heterozygosity varied from 0 for PdCUC3-SSR1 to 0.82 for PdAG1-ssr with an

average of 0.56 per locus while the observed heterozygosity varied from 0 for PdCUC3-SSR1 to 0.79 for PdAG1-ssr with an average of 0.53 per locus. The inbreeding coefficient (Fis) varied from -0.049 to 0.212 for mPdCIR057 and for PdCUC3-SSR2, respectively, with an average of 0.04 per locus. Significant Fis values ($p < 0.05$, Table 3.1) were only obtained with the mPdIRD033, mPdCIR010, mPdCIR015, mPdCIR035, PdAP3-ssr-F4, and PdCUC3-SSR2 loci.

Table 3.1. Diversity generated by the microsatellite markers

Marker	Reference	Na	Ng	Maf	Pic	He	Ho	Fis
mPdIRD013	Aberlenc-Bertossi et al. (2014)	2	2	0.991	0.017	0.022	0.023	-0.036
mPdIRD031	Aberlenc-Bertossi et al. (2014)	3	4	0.876	0.207	0.220	0.228	-0.037
mPdIRD033	Aberlenc-Bertossi et al. (2014)	3	6	0.788	0.316	0.344	0.328	0.049*
mPdIRD040	Aberlenc-Bertossi et al. (2014)	6	10	0.655	0.470	0.510	0.511	-0.003
mPdCIR010	Billotte et al. (2004)	10	25	0.323	0.737	0.729	0.642	0.119***
mPdCIR015	Billotte et al. (2004)	7	18	0.429	0.654	0.685	0.653	0.046**
mPdCIR016	Billotte et al. (2004)	5	8	0.602	0.479	0.545	0.548	-0.005
mPdCIR025	Billotte et al. (2004)	7	16	0.531	0.618	0.619	0.569	0.081
mPdCIR032	Billotte et al. (2004)	8	24	0.336	0.746	0.726	0.745	-0.026
mPdCIR035	Billotte et al. (2004)	5	14	0.628	0.526	0.547	0.431	0.212**
mPdCIR057	Billotte et al. (2004)	6	12	0.442	0.570	0.569	0.596	-0.049
mPdCIR063	Billotte et al. (2004)	6	16	0.372	0.689	0.698	0.734	-0.052
mPdCIR078	Billotte et al. (2004)	10	32	0.416	0.743	0.741	0.734	0.010
mPdCIR085	Billotte et al. (2004)	9	28	0.296	0.785	0.770	0.778	-0.010
PdAG1-ssr	Ludena et al. (2011)	15	49	0.283	0.842	0.822	0.793	0.036
PdAP3-ssr-F4	Zehdi-Azouzi et al. (2015)	8	19	0.407	0.688	0.702	0.615	0.124*
PdCUC3-ssr1	Zehdi-Azouzi et al. (2015)	1	1	1.000	0	0.000	0.000	N/A
PdCUC3-ssr2	Zehdi-Azouzi et al. (2015)	13	31	0.358	0.785	0.784	0.633	0.193***
Moyenne		6.9	17.5	0.541	0.548	0.557	0.531	0.038

Na: number of alleles per locus, Ng: number of genotype per locus, Maf: major allele frequency, PIC: polymorphic information content, He: expected heterozygosity, Ho: observed heterozygosity, Fis: inbreeding coefficient and Fis Wright's analysis of hierarchical F-statistics, exact test significant at * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, N/A: Not Applicable.

3.3.1.2 Genetic structure of South-east Nigerien date palms

Genetic relationships between five South-east Nigerien date palm sub-groups: D.Takaya, Goure, Goudoumaria, Magariah and Mirriah

Here, all results were reported to the sub-groups. The average number of allele per locus ranged from 4.17 for the D.Takaya sub-group to 6 for Goure with an average of five alleles per locus for each sub-group (Table 3.2). For all sub-groups, the average number of allele with a frequency higher than 5% was 3.71 alleles per locus (Table 3.2). Allelic richness

of the five sub-groups was almost identical with an average of 2.96 alleles per locus (Table 3.2). The expected heterozygosity was almost identical to the five sub-groups with an average of 0.56. It was the same conclusion for the observed heterozygosity with an average of 0.53. The Fis of all sub-groups was significantly positive ($p < 0.05$), it varied from 0.026 to 0.119 for Goudoumaria and D.Takaya sub-groups, respectively with an average of 0.075 for all groups (Table 3.2).

Table 3.2. Date palm genetic diversity in five departments of cultivation in the South-east Niger.

Pop	N	Na	Nap	Ar	Pa	He	Ho	Fis
D.Takaya	12	4.17	3.44	2.76	4.17	0.56	0.51	0.119*
Goudoumaria	13	4.33	3.33	2.84	4.33	0.54	0.55	0.026*
Goure	32	6.00	3.50	3.08	6.00	0.56	0.53	0.075*
Magariah	39	5.94	4.28	3.18	5.94	0.58	0.54	0.073*
Mirriah	17	4.83	4.00	2.96	4.83	0.55	0.52	0.083*
Mean	22.6	5.06	3.71	2.96	5.06	0.56	0.53	0.075*

(D.Takaya) Damagaram Takaya, (N) number of accessions, (Na) number of alleles per locus, (Nap) number of alleles with a frequency higher than 5 %, (Ar) allelic richness, (Pa) private alleles, (Ho) observed heterozygosity, (He) expected heterozygosity, (Fis) fixation index values, exact test significant at * $P < 0.05$.

In general, the values of shared allele distance and genetic differentiation coefficient (Fst) were very low among sub-groups from the five departments. However, the most lower shared allele distance and Fst were observed between Magariah and Goure that appeared to be close together, while the highest values were observed between D.Takaya and Goudoumaria which seemed more genetically distant ($p < 0.05$, Table 3.3).

Based on the analysis of molecular variance (AMOVA), the observed genetic diversity was explained 100% through individual variations, no inter-group variation was observed ($p < 10^{-4}$, Table 3.4).

Table 3.3. Shared allele distance (above the diagonal) and Fst (below the diagonal) of five date palm groups from South-east Niger

Group	D.Takaya	Goudoumaria	Goure	Magariah	Mirriah
D.Takaya	0.000	0.301	0.238	0.231	0.286
Goudoumaria	0.050*	0.000	0.225	0.225	0.216
Goure	0.029*	0.028*	0.000	0.148	0.178
Magariah	0.030*	0.026*	0.009*	0.000	0.157
Mirriah	0.047*	0.028*	0.015*	0.011	0.000

(D.Takaya) Damagaram Takaya, * $p < 0.05$.

Table 3.4. AMOVA for date palm differentiation based on 18 microsatellite markers.

Source	df	Sum of square	estimated variability	% of variation
Among Grp	4	1.923	0.000	0%*
Among Indiv	108	50.152	0.000	0%*
Within Indiv	113	53.500	0.473	100%*
Total	225	105.575	0.474	100%*

df= degree of freedom, *p<0.001.

Genetic relationships between individuals of the five Nigerien sub-groups

Considering the two first components of the principal component analysis (PCA), no group was distinguished *posteriori* among the 113 the date palm accessions for the five sub-groups. The gravity centers of these groups were not only close to each other, but were close to the origin of the two components (Fig. 3.2).

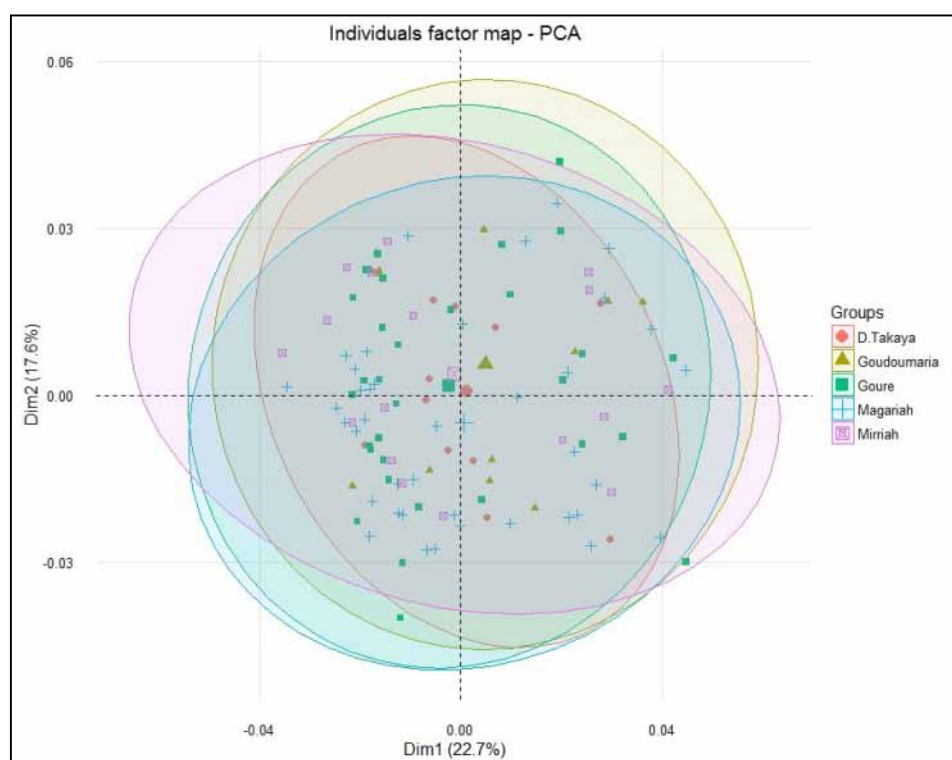


Fig. 3.2. Principal component analysis (PCA) of 113 date palm accessions from the five sub-groups. Both the two first components explain 40.3 % of total variation.

3.3.2. South-east Nigerien genetic diversity in the world genetic pools

3.3.2.1 Genetic relationship between Nigerien date palms and the Western and Eastern pools

The principal coordinate analysis (PCoA) of the 361 accessions from Nigerien date palm, western (Mauritania, Morocco, Tunisia, Libya, Sudan and Egypt) and eastern (Irak,

Pakistan, United Arab Emirates and Oman) genetic pools showed that the component 1 opposed the populations of the eastern pool to both western and Nigerien ones (Fig. 3.3). The component 2 differentiated accessions of the same gene pools, Western germplasm being more diverse than the eastern (Fig. 3.3).

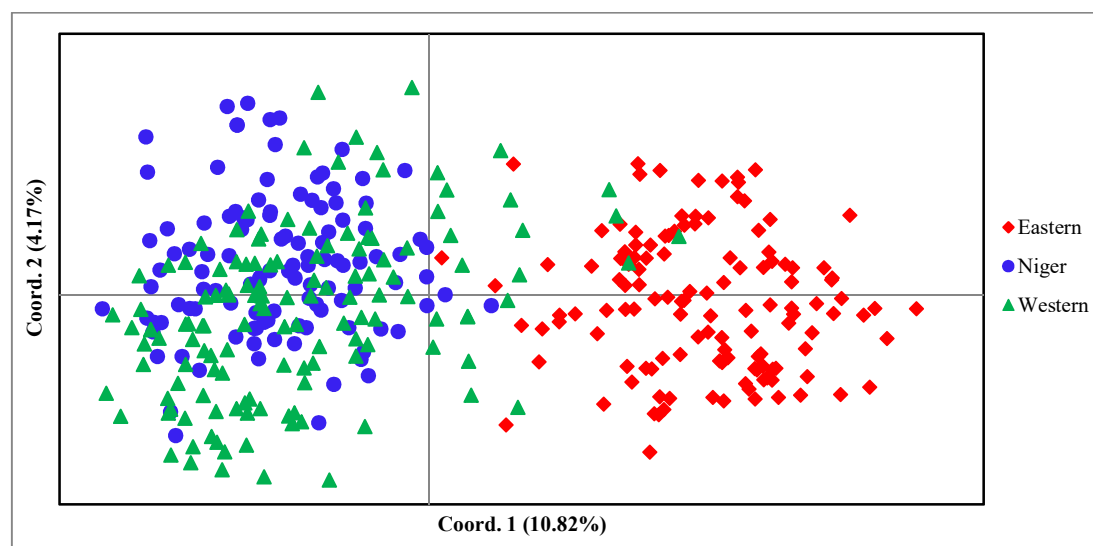


Fig. 3.3. Principal coordinates analysis (PCoA) of date palm accessions from the eastern genetic pool (Iraq, Pakistan, United Arab Emirates and Oman) in red, the western genetic pool (Mauritania, Morocco, Tunisia, Libya, Sudan and Egypt) in green and the South-east Niger populations in blue.

The assignments of the South-east Nigerien genotypes showed that 91% of these genotypes were actually assigned to the Nigerien group and the remaining 9% were assigned to the western genetic pool (Table 3.5).

Table 3.5. Nigerien date palms assignments

Origin	Assignment	Population %
Niger	103	91
Eastern	0	0
Western	10	9

3.3.2.2 Maternal and paternal lineages of the five sub-groups from the South-east Niger

The chloroplast minisatellite showed two chlorotypes i.e. the 242 and the 254 corresponding to the western and eastern maternal lineages, respectively (Pintaud et al., 2010). In the Nigerien date palm group, both chlorotypes were detected. However, the western chlorotype 242 was the most common with frequencies varying from 0.76 for Mirriah sub-group to 1 for Goudoumaria sub-group. The higher frequency of the eastern chlorotype 254 was observed in Mirriah sub-group (0.23) (Fig. 3.4a).

The Y haplogroups were formed by two western haplotypes and one eastern haplotype. The frequency of the first western Y haplotype (180-191-192) varied from 0.17 in the D. Takaya group to 0.50 in Mirriah and Magariah sub-groups (Fig. 3.5). The second western Y haplotype (180-193-192) frequencies varied from 0.38 for the Magariah sub-group to 0.83 for D.Takaya sub-group. The eastern Y haplotype (180-188-308) was only observed in Magariah sub-group with a frequency of 0.13 (Fig. 3.4b). Goure and Goudoumaria sub-groups were entirely composed by female genotypes hence, no Y haplotype was identified (Fig. 3.4b).

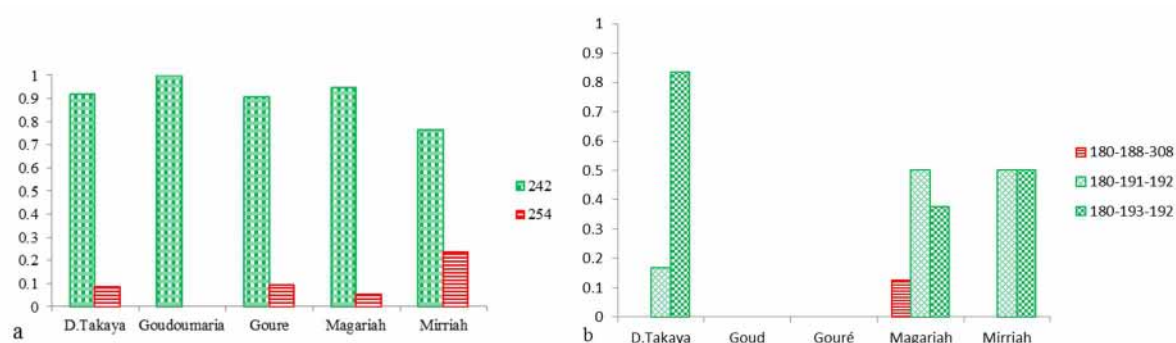


Fig. 3.4. Paternal and maternal lineages distribution within South-east Niger date palm groups. (a) Chlorotype distribution, green and red histograms correspond to western (242) and eastern (254) chlorotypes, respectively. (b) Y haplotypes distribution, green and red histograms correspond to western and eastern haplotypes, respectively.

3.3.2.3 Model-based Bayesian clustering analysis of southern Niger within date palm genetic pools

The model-based Bayesian clustering approach implemented in STRUCTURE v. 2.3.4 (Pritchard et al., 2000) was used to investigate the genetic structure of date palm genotypes according to the models with two ($K=2$) to six clusters ($K=6$). The change rate in the log likelihood between successive K values (ΔK) revealed a first level of clustering at $K=3$ for the studied date palm accessions.

At $K=2$, the date palm accessions were differentiated into two geographic clusters, the first cluster consisted of accessions from eastern pool, and the second cluster consisted of accessions from western pool and South-east Nigerien group (Fig. 3.5). At $K=3$, the accessions from South-east Niger were separated from those of the western pool. At $K=4$, the Egyptian, Libyan, Mauritanian and Moroccan groups were separated from the other western accessions.

At $K=5$ and $K=6$, the genetic structure of date palm accessions was slightly the same and no meaningful additional cluster was observed (Fig. 3.5).

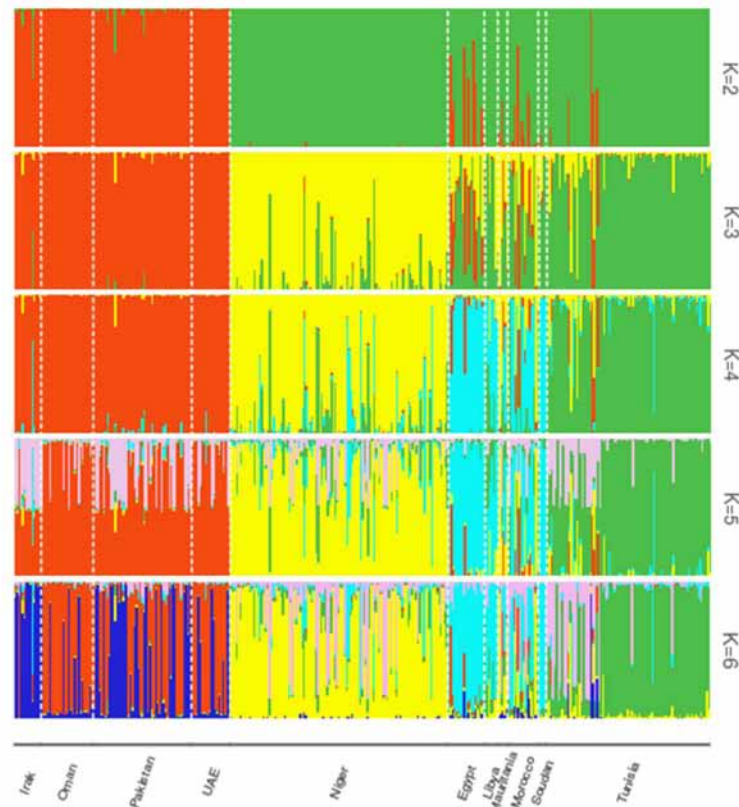


Fig. 3.5. Inferred population structure for K=2 to K=6 as the presumed number of sub-populations within the date palm collection, including 295 accessions. Each individual is represented by a vertical bar, partitioned into colored segments representing the proportion of the individual's genome in the K clusters. The date palm groups are separated by a white dotted line.

The shared allele distance and F_{st} calculated from the 18 markers showed the lowest values between South-east Niger population and Tunisian one ($p < 10^{-4}$, Table 3.6). However, the higher value of these distances were recorded among the populations of southern-east Niger and UAE ($p < 10^{-4}$, Table 3.6).

Table 3.6. Shared allele distance (Das) and F_{st} between South-east Niger populations and 11 populations of Eastern and Western two genetic pools.

Country	Distance	Eg	Ir	Li	Ma	Mc	Om	Pak	So	Tu	UAE
Niger	Das	0.290	0.418	0.374	0.291	0.252	0.465	0.421	0.411	0.198	0.459
	F_{st}	0.053*	0.115*	0.096*	0.020*	0.036*	0.146*	0.119*	0.105*	0.032*	0.150*

Eg: Egypt ; Ir: Irak ; Li: Libya; Ma: Mauritania; Om: Oman; Pak: Pakistan; So: Sudan; Tu: Tunisia; UAE: United Arab Emirates. * $P < 10^{-4}$.

Genetic relationships among the pre-defined date palm groups were also assessed based on DAS genetic distances and the NJ algorithm (Fig. 3.6). Each pie chart at the head of a country on the phylogenetic tree represents the probability of its population to belong to one from the

3 groups found with structure software at K=3, with the red area for the group of UAE and Oman populations, the yellow color for Niger population and the green color for Tunisia population (Fig. 3.6). According to the bootstrap values, the 11 date palm groups were classified into two clusters: cluster I, including Niger, Mauritania, Morocco, Sudan, Libya, Tunisia and Egypt and corresponding to the Western cluster, was clearly distinguished from cluster II (or Eastern cluster), including Oman, Iraq, the UAE and Pakistan groups, by a high bootstrap support of 100 % (Fig. 6). Moreover, South-east Niger's population was closer to Tunisian one (86%) (Fig. 3.6). However, the low bootstrap values between the other populations reveal that the topography of phylogenetic tree is not well solved in the western cluster and needs further studies including increased sampling.

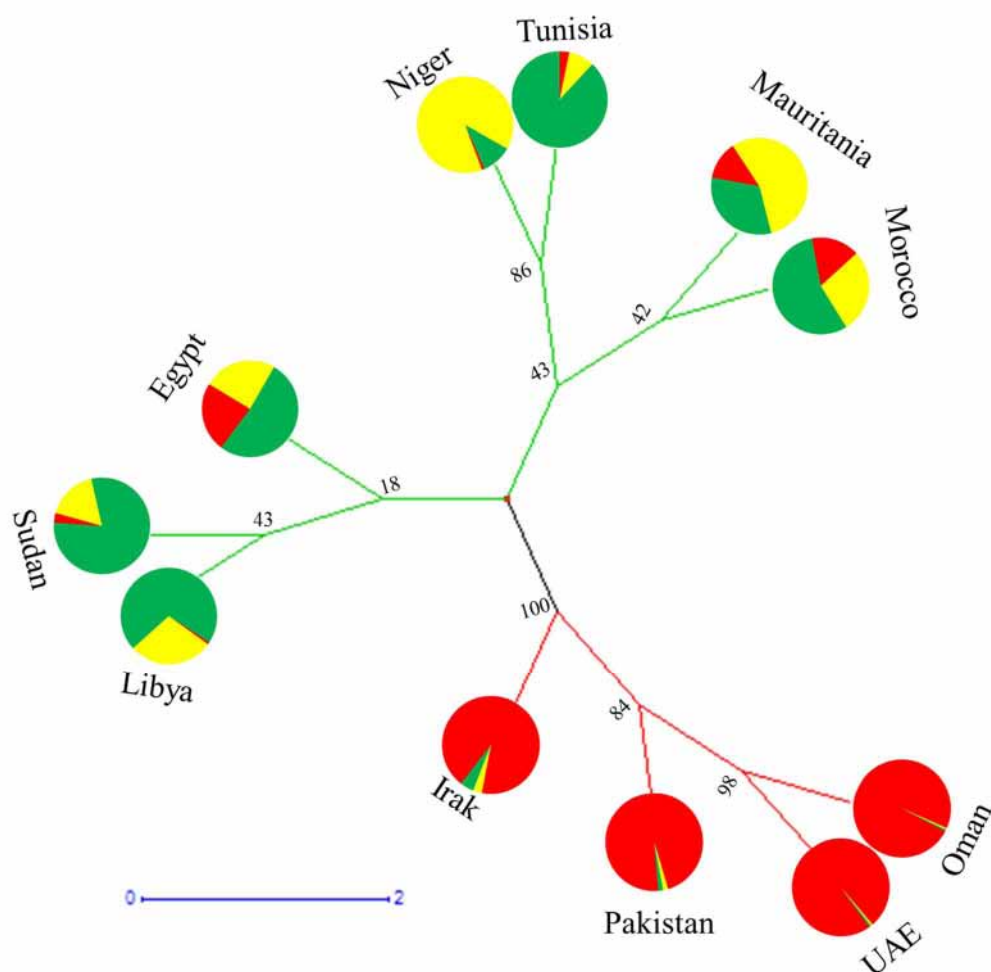


Fig. 3.6. NJ clustering of geographic groups based on DAS genetic distance values, as well as the distribution of the genetic clusters within each of them. The colors correspond to genetic clusters defined by the STRUCTURE analysis, as reported in Fig. 3.5 with western cluster in green and eastern cluster in red. The numbers next to the nodes indicate bootstrap support percentages in 10000 pseudoreplicates.

3.4. Discussion

The knowledge on genetic resources of cultivated species is of great importance for improving productivity and efficiency of any activity tending to its preservation and valorization. The knowledge of date palm genetic diversity in the Sahel, considered as a marginal area for date production, is at the heart of this study. With the current trend of climate change in the Sahel (de Sherbinin, 2014) and the decline of isohyet 300 mm more than 200 km further in the South (Ozer et al., 2010), the date palm cultivation will be particularly suiTable 3.in this area for the future.

Genetic diversity of 113 Nigerien's date palm accessions revealed a total of 124 alleles with an average of 6.9 alleles per locus. This average is upper than that found in Mauritania with 14 markers on 92 accessions (Bodian *et al.*, 2012); it is comparable to those found in Nigeria with 6 markers on 14 accessions (Yusuf *et al.*, 2015), in Libya with 16 markers on 440 accessions (Racchi et al., 2014) and in Tunisia with 18 markers on 105 accessions (Zehdi-Azouzi *et al.*, 2016); but it is lower than those obtained in Morocco with 15 markers on 200 accessions (Bodian et al., 2014), in United Arab Emirates with 21 markers on 80 accessions (Chaluvadi *et al.*, 2014) or to that found in Sudan with 16 markers on 68 accessions (Elshibli & Korpelainen, 2008). Furthermore, the average of expected heterozygosity (0.56) is comparable to that found in Tunisia by Zehdi-Azouzi et al. (2016), but remains lower than those found in Libya by Racchi et al (2014) and in Sudan by Elshibli and Korpelainen (2008). These results show a high genetic diversity in the date palm germplasm of South-east Niger.

Our results indicate that the five South-east Nigerien sub-groups have a homogeneous genetic diversity and consequently, they constitute a single population. The analysis of molecular variance shows that the variations noticed inside this single group result only from individual molecular differences. The hypothesis of homogeneous genetic diversity is supported by several results i.e. the number of allele per locus per sub-group, the shared distances and the index of genetic differentiation (F_{st}) between these sub-groups. In addition, the analysis of principal component confirms also this hypothesis. Compared with the palm groves of Tunisia (Zehdi-Azouzi et al., 2012; Zehdi-Azouzi et al., 2016) in which 5 % of the genetic variation is due to geographical grouping, the palm groves of South-east Niger show more homogeneous genetic diversity with 0 % of variation due to geographic origin. Our results, in line with Lenormand assumption (1984), confirm the same genetic background behind the Damagaram and Manga date palm populations.

The Nigerien germplasm is an integral part of the western genetic pool as revealed by nuclear markers. Moreover, the analysis of the female lineage confirms the maternal western origin of the Nigerian palms where 92% of the chlorotypes are occidental (chlorotype 242, (Gros-Balthazard et al., 2013; Zehdi-Azouzi et al., 2015, 2016) and only 8% of the chlorotypes show an oriental origin (chlorotype 254, Gros-Balthazard et al., 2013; Zehdi-Azouzi et al., 2015, 2016). The analysis of the paternal lineage shows a same pattern with a large proportion of the western haplogroup A (92%) (Cherif et al., 2013a) and a low percentage of the eastern haplogroup B (8%) (Cherif et al., 2013a). These results provide additional evidences of the belonging of the Southeast Nigerien germplasm to the western genetic diversity with a low eastern introgression. Taken together, our results show the extent of the western gene pool previously defined in North Africa (Zehdi-Azouzi et al., 2015) to the South in the Sahelian region.

This study also highlights the originality of the South-east Nigerien date palm population which constitutes a new Sahelian group. Furthermore, it establishes a secondary genetic structure within the western genepool. The South-east Nigerien date palms could be a local ancient population or come from another origin within the western genetic pool, which remains to elucidate. To better understand the Sahelian group's origin and define its extent, it is necessary to undertake a complete genetic analysis of date palm groves in the region from the North-east of the country, the nearby South of Algeria and from other countries of the Sahelian area.

Acknowledgments

This work was made possible by the financial support of the IFS (International Foundation of Science, D / 5695-1, 2014), CIRAD (France, AI N°1 2014; 2015 and 2016) for field work, French Embassy in Niger, the Government of Niger. This study was made possible by grant NPRP-EP X-014-4-001 from the Qatar National Research Fund (a member of Qatar Foundation). We thank Mr. Garkoua Sayédi, Hydraulic Magariah Director, Col Barmou Hamza, Director of Goure environment, Mr. Elh Idi village chief Killakina, and Mr. Mamane Moussa (regional coordinator NGO Karkara Zinder) for their logistical support.

ELABORATION D'UN MODELE ARCHITECTURAL DU PALMIER DATTIER AU SUD DU NIGER



Dans le premier chapitre, nous avons montré que certains agriculteurs ont une perception négative de l'association entre la culture du palmier dattier et les cultures maraichères en raison d'une compétition pour les ressources hydriques et le rayonnement solaire. Nous avons montré dans le deuxième chapitre que le patrimoine phœnicicole de la région est riche d'une grande diversité génétique qui peut être valorisée pour l'amélioration de cette culture. L'étude de l'organisation des palmeraies fait apparaître une densité des cultures agricoles parfois très importante. L'objet de ce chapitre est d'élaborer un modèle architectural du palmier dattier qui permette d'optimiser la coexistence des cultures maraichères et de la phœniciculture.

Ce chapitre fait l'objet d'un article qui sera soumis après traduction en anglais au journal *Annal of botany* de la revue *Oxford Journals*.

Titre : *Traits architecturaux du palmier dattier affectant la production agricole dans les palmeraies sahéliennes*

Auteurs : Zango O^{1&2}, Lecoustre R¹, Bakasso Y., Aberlenc F² and Rey H¹

¹ CIRAD, AMAP, F-34038, Montpellier, Cedex 5 France

² IRD, DIADE, F-34394 Montpellier, France Cedex 5

Abstract

Le palmier dattier, *Phoenix dactylifera* L. (Arecaceae), est largement cultivé depuis plus 6000 ans pour ses fruits dans la Péninsule Arabique, en Afrique du Nord et au Moyen-Orient. Cette culture, récente au Sahel fait face à la non maîtrise des pratiques agricoles par les agriculteurs et à l'arrivée précoce des pluies qui perturbent la maturation des fruits. Pour pallier ces problèmes, nous pensons que l'aménagement des palmeraies et la sélection de cultivars mieux adaptés à ce contexte doivent tenir compte des formes structurales. Ainsi nous avons collectés au Sud-Est du Niger des données morphométriques nécessaire à la construction des plantes numériques. Nous avons appliqué un modèle radiatif à ces plantes numériques. Il ressort de l'analyse, que la longueur des palmes, des inflorescences, des épillets et la proportion du rachis peuvent être considérés comme critères de discrimination des cultivars. Le modèle architectural du palmier dattier calibré s'ajuste bien aux données observées et nous avons réussi à appliquer le modèle radiatif. D'un point de vue fonctionnel, ce modèle permettra de recalculer la plantation à un stade donné de son développement et de faire son bilan radiatif afin de prévoir des opérations nécessaires comme espacement et élagage pour une bonne cohabitation des palmiers et les plantes sous-jacentes. Parallèlement, ce travail introduit de nouvelles pistes qui pourront guider les phœniciculteurs dans le choix des cultivars afin d'améliorer le rendement ou la qualité des dattes.

4.1 Introduction

Principalement cultivé depuis plus 6.000 ans (Terral et al., 2012) pour ses fruits, le palmier dattier est une espèce d'une grande importance socioéconomique sur la Péninsule Arabique, en Afrique du Nord, et au Moyen-Orient (Bouguedoura, 1979 ; Chao and Krueger 2007; Zango *et al.*, 2013). Il a été introduit dans de nombreuses régions du monde, dont l'Asie, l'Australie, les Etats-Unis, l'Espagne, et il est présent dans le Sahel, notamment au Niger, Mali, Tchad, (Munier, 1973).

Au Sahel, la culture du palmier dattier est largement reconnue comme étant une activité importante dans la lutte contre la malnutrition (Zango et al., 2016) dans cette région fortement affectée par l'aridification et l'altération des écosystèmes (Jahiel, 1993). Cependant cette culture fait face au problème de l'arrivée précoce des pluies qui perturbe le processus de la maturation des dattes (Jahiel, 1996 ; (Zango et al., 2016). De ce fait, le développement de la culture du palmier dattier doit se baser sur une connaissance approfondie de l'espèce et de sa phénologie car il s'agit d'une espèce des régions arides, qui se distingue fortement dans son mode de croissance ainsi que dans son cycle reproducteur des palmiers équatoriaux mieux connus que sont le palmier à huile (Rival and Levang 2015) et le cocotier (Bello et al., 2015). Dans sa zone de production traditionnelle, le cycle biologique du palmier-dattier se caractérise par une campagne annuelle de production, alors qu'au Sahel, considéré comme zone marginale de la production des dattes, le palmier dattier présente une particularité de double floraison (Jahiel, 1996).

Par ailleurs, l'ignorance de certaines pratiques culturales agricoles (notamment la densité nécessaire pour une production en qualité) par les agriculteurs conduit à des plantations souvent très denses. C'est pourquoi certains agriculteurs considèrent que l'ombre des palmiers a un effet plutôt négatif sur la production des cultures maraichères sous-jacentes. Dans ce contexte, nous pensons que s'impose l'étude des formes structurales des palmiers et leurs évolutions au cours de la vie de la plante, ce que les botanistes (Barthélémy & Caraglio, 2007) ont appelé architecture de la plante. Selon ces mêmes botanistes le modèle architectural d'une plante exprime sa stratégie de croissance et de développement. Le palmier dattier est généralement représenté par le modèle de Corner (Hallé & Oldeman, 1970; Hallé et al., 1978) car c'est une plante à croissance continue (Barthélémy et al., 1989; Barthélémy & Caraglio, 2007; Edelin, 1984), généralement sans ramification, à sexualité latérale et dont le seul axe, le stipe est édifié par un seul méristème apical.

L'enjeu de la compréhension des formes structurales du palmier dattier concerne non seulement les besoins en eau des plantes (Sperling et al., 2014), un sujet d'une grande importance dans les régions dattières, mais aussi la sélection des cultivars pour améliorer en quantité et en qualité la production des dattes. Par conséquent la modélisation de ces formes structurales (Godin & Caraglio, 1998) représente un domaine de recherche doté d'une importance capitale en matière de gestion des vergers. En ce qui concerne le monde oasien, la modélisation des palmeraies concerne plus spécifiquement la gestion rationnelle de l'espace pour les plantations des cultures intensives. Cette modélisation est d'autant plus importante au

Sahel où contrairement aux zones de production traditionnelle, le climat est moins hostile (plus doux) et les cultures maraichères n'ont pas forcément besoin d'un abri pour leur développement (Zango et al 1996).

Dans cet article, il sera question dans un premier temps de l'acquisition des données morphologiques et architecturales de la partie aérienne du palmier dattier et de la calibration du modèle architectural *PRINCIPES* dédié pour à la famille des Arecaceae. Dans un second temps nous traiterons de la simulation du palmier dattier numérique grâce au modèle et enfin des applications de ce modèle architectural du palmier dattier au Sahel en termes de bilan radiatif. Compte tenue la grande quantité des paramètres mesurés, seuls quelques résultats importants sont présentés dans cet article. Le protocole de mensurations que nous avons mis en place pour cette étude et les autres résultats seront disponibles en partie annexe.

4.2 Matériel et Méthodes

4.2.1 Site d'étude

L'étude s'est conduite au Sud Niger (pays sahélien de l'Afrique de l'Ouest) dans la région du Damagaram et celle du Manga entre la ville de Zinder et celle de Diffa (Fig. 4.1).

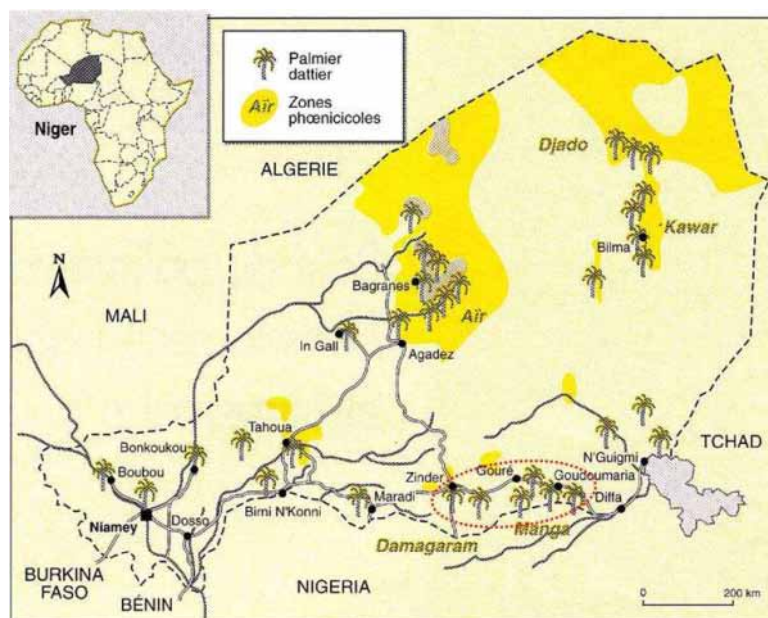


Fig. 4.1 Origine de provenance de matériel végétal au Niger. Site d'étude en cercle pointillé rouge (carte, Jahiel 1996)

4.2.2 Matériel végétal

Echantillon

Le Matériel végétal est composé de 45 palmiers dattiers issus de propagation par graine répartis dans 3 types de cuvettes oasiennes du Manga qui diffèrent par leur régime hydrologique à raison de 15 palmiers par cuvette. Le choix de chaque plante a été guidé par l'accessibilité à la couronne de celle-ci et surtout sa valeur marchande. A titre comparatif seul les résultats de 2 palmiers (un palmier jeune et un palmier âgé) d'une même cuvette oasienne sont présentés dans cet article. Par ailleurs, les palmes sont référencées par leurs rangs dans la couronne. La palme portant le numéro 1 est la palme presque totalement déployée proche du méristème apical à partir de laquelle sont notées positivement les autres palmes en direction de la base de la couronne. L'inflorescence porte également le rang de la palme qui l'axile.

Description du palmier

Le palmier dattier est une plante constituée d'un seul axe principal, le stipe surmonté d'une couronne composée de palmes et d'inflorescences (Fig. 4.2). Le stipe (1) est constitué d'entrenœuds courts (Hilgeman, 1954; Mason, 1915; Munier, 1973) sur lesquels s'insèrent les bases (b1) pétiolaires des palmes (Fig. 4.2).

La palme (2) est composée d'une nervure principale sur laquelle s'organisent des pennes (épines (b2) ou folioles (d2)) en groupes de 1 ; 2 ; 3 ou 4. La nervure principale est divisée en pétiole (I-C2) et en rachis (C2-A2) qui lui-même est divisé en partie épineuse et en partie foliolée (Fig. 4.2). Les folioles sont indupliquées en forme d'un « V », qui est la caractéristique de tous les *Phoenix* (Pintaud et al., 2010). L'orientation de cette forme par rapport à la nervure principale permet de distinguer des plans de folioles. Ainsi sont notés (+1) les folioles appartenant au plan supérieur ou antorses, (0) celles appartenant au plan moyen ou introrses et (-1) celles appartenant au plan inférieur ou rétrorses (Hilgeman, 1954; Mason, 1915 ; Lecoustre & Jaeger, 1989).

L'inflorescence (4) est enveloppée dans une grande bractée membraneuse (3) close avant l'anthèse (ouverture des fleurs, Fig. 4.2, (Mason, 1915). L'inflorescence (4) est formée par un axe principal (I-A4) composé du pédoncule (I-C4) et du rachis (C4-A4) ramifié en épillets qui sont organisés en groupes (de 1 jusqu'à une dizaine) appelés pseudo verticille (Fig. 4.2, Zango et al., 2013). Les épillets sont eux-mêmes divisés en partie stérile (b4) et en partie fertile (d4) qui portent des fleurs ou des fruits (e4, Fig. 4.2).

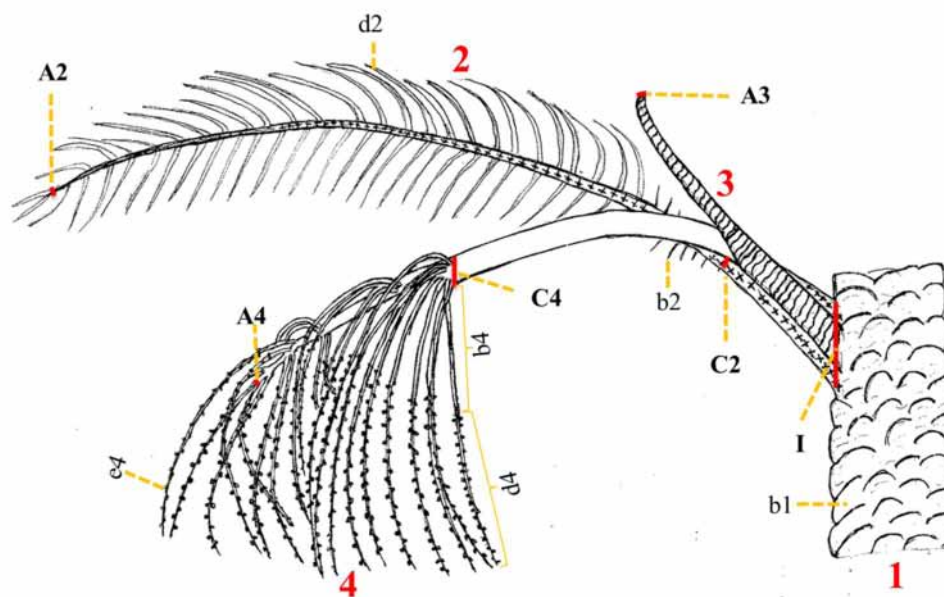


Fig. 4.2 : Détails des différents éléments constitutifs d'un palmier dattier. (1) le stipe, (b1) base pétioleuse, (I) point d'insertion visible de la palme, de la bractée et de l'inflorescence sur le stipe ; (2) la palme avec (A2) point apical et (C2) point d'insertion de la première épine sur la nervure principale, (b2) les épines et (d2) les folioles ; (3) la bractée avec (A3) point apical de la bractée ; (4) l'inflorescence avec (A4) point apical, (C4) point d'insertion du premier pseudo-verticille sur l'axe principale de l'inflorescence, (b4 et d4) les épillets avec (b4) partie stérile et (d4) partie fertile et (e4) les petits fruits.

4.2.3 Mesures morphométriques

4.2.3.1 Matériel technique

Le matériel technique (Fig. 4.3) sert à recueillir les informations, à localiser les arbres, ainsi qu'à réaliser toutes les mesures morphométriques de divers organes constitutifs de la plante (Fig. 4.2).



Fig. 4.3 : Matériels techniques nécessaires pour les mesures. (1) GPS, (2) clinomètre, (3) paire de jumelles, (4) appareil photo numérique, (5) scie d'arboriculture, (6) sécateur, (7) couteau, (8)

goniomètre, (9) mètre ruban, (10) réglé métallique, (11) pied à coulisse numérique, (12) marqueurs, (13) crayons, (14) stylos et (15) bloc note

4.2.3.2 Stipe

Les caractères architecturaux évalués au niveau du stipe sont l'angle de phyllotaxie ((Lecoustre & Jaeger, 1989; Elhoumaizi, Lecoustre, & Oihabi, 2002), la longueur et la circonférence de l'entre nœud.

La phyllotaxie (Hallé & Oldeman, 1970; Hallé et al., 1978) ou disposition des bases pétiolaires le long du stipe aboutit à des motifs spiraux des bases non directement successives appelés parastiches (Mason, 1915; Hilgeman, 1954). Nous nous servons de la parastiche d'ordre 8 pour évaluer l'angle de phyllotaxie et la longueur d'entrenœud.

L'angle de la phyllotaxie a été évalué par la nouvelle méthode développée par Rey (Rey, communication personnelle), qui consiste à la mesure de la distance horizontale entre deux palmes successives sur une même parastiche (Fig. 4.4a). L'angle est donné par la formule suivante :

$$a = 135 * \frac{360 * \frac{D}{C}}{8 * n}$$

a : angle de phyllotaxie ;

D : distance entre parastiche,

c : circonférence du stipe au lieu indiqué ;

n : nombre de parastiche.

Les mesures de la circonférence et de la distance parastiche ont été réalisées respectivement à l'aide d'un mètre ruban et d'une règle (Fig. 4.4a & b).

La longueur moyenne de l'entrenœud est évaluée par la hauteur entre deux bases pétiolaire d'un même parastiche divisée par le nombre de bases pétiolaires entre les deux bases choisis (Fig. 4.4c).

En dehors des mensurations sur le stipe, deux palmes et deux inflorescences par palmier ont servi pour estimer leurs paramètres géométriques et structuraux. On prend le soin, pour faciliter les extrapolations de choisir deux palmes qui appartiennent à la même parastiche.

4.2.3.3 Palme

Les paramètres considérés au niveau de la palme sont : sa longueur et celle des folioles, la distance inter groupe des pennes, son angle d'insertion sur le stipe ainsi que celui des pennes sur la nervure principale et sa géométrie (angle de bending).

Nervure principale

L'angle d'insertion de la palme est l'angle entre la direction initiale de palme et la direction principale du stipe au point I (point insertion visible de la palme sur le stipe, Fig. 4.4d). L'angle de bending est l'angle de courbure de la palme généralement sous l'effet de la pesanteur en fonction de sa flexibilité (Fig. 4.4d). Ces paramètres ont été évalués sur photos de profil à l'aide du logiciel Mesurim (Madre, 2006) car difficile à évaluer *in situ*.

La longueur des palmes a été mesurée à l'aide d'un mètre ruban du point I au point A (Fig. 4.4e). La distance intergroupe a été mesurée à l'aide d'un mètre ruban (Fig. 4.4e).

Penne

L'angle d'insertion de la première épine, de la dernière épine, de la première foliole, de la foliole terminale ainsi que des épines et folioles repères (solitaire ou en groupe) à l'extrémité de chaque section de 10% de la longueur totale de la nervure principale, Fig. 4.4f) a été évalué l'aide d'un goniomètre (Fig. 4.4g).

La longueur de la première épine, de la dernière épine, de la première foliole, de la foliole terminale ainsi que des épines et folioles repères (Fig. 4.4f) a été mesurée à l'aide d'un mètre ruban.

4.2.3.4 Inflorescence

Les paramètres considérés au niveau de l'inflorescence sont : son angle d'insertion, sa longueur et celle de la bractée, la longueur totale et fertile des épillets et le nombre de fruits par épillet.

Axe principal

L'angle d'insertion de l'inflorescence est l'angle entre la direction initiale de l'inflorescence et la direction principale du stipe au point I (Fig. 4.4h). Il a été évalué sur photos de profil à l'aide du logiciel Mesurim (Madre, 2006) car difficile à évaluer *in situ*.

La longueur de l'axe principale de l'inflorescence et de la bractée ont été mesurées à l'aide d'un mètre ruban du point I au point A (Fig. 4.4i, j&k)

Epillet

La longueur totale et fertile des épillets a été mesurée à l'aide d'un mètre ruban (Fig. 4.4l). Le nombre de fruits a été compté sur les épillets des pseudo-verticilles au point C (base du rachis), au premier tiers, au deuxième tiers et au point A du rachis (Fig. 4.4l).

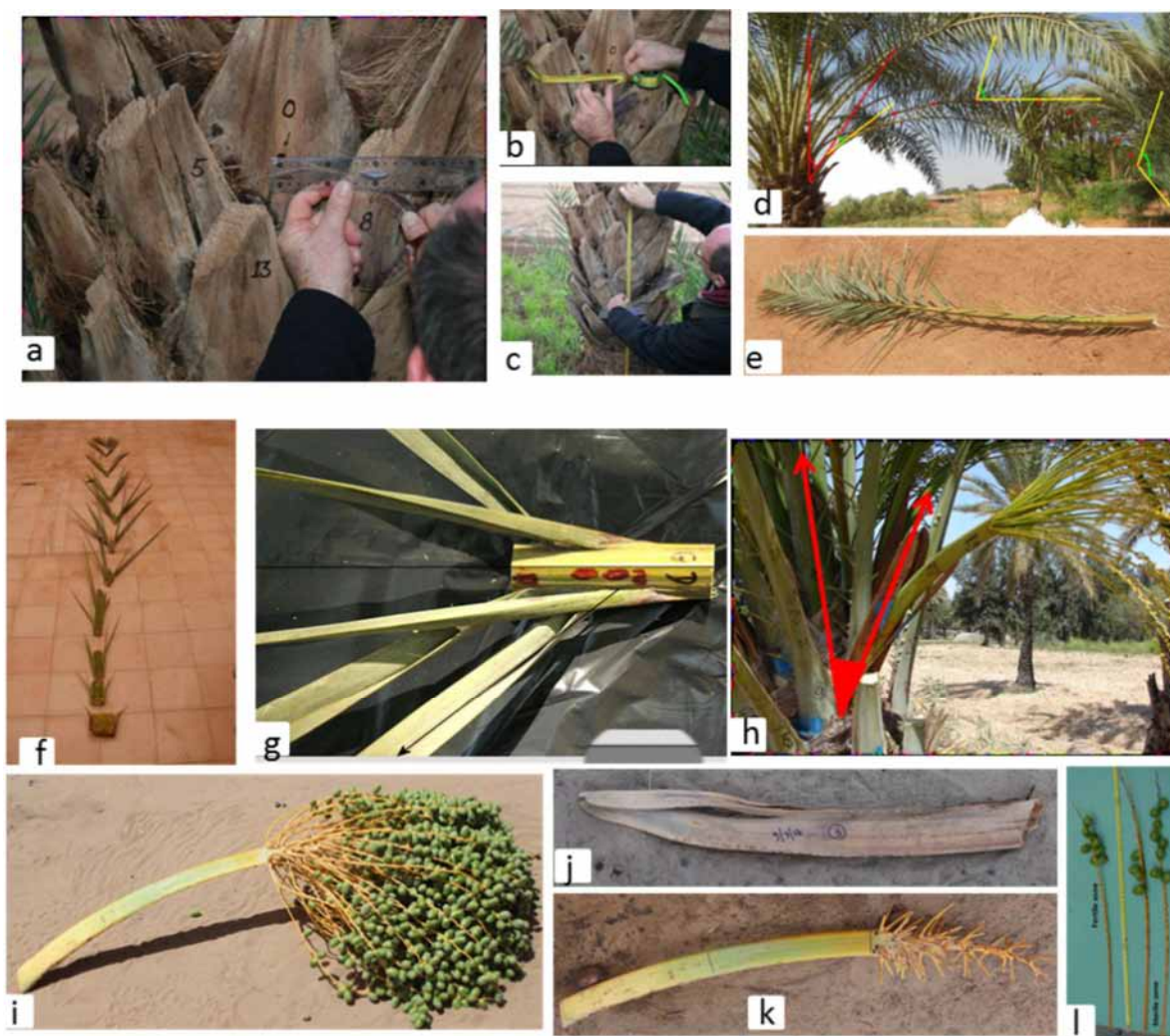


Fig. 4.4 : planche récapitulative des mesures morphométriques sur le palmier dattier. (a) évaluation de l'angle de phyllotaxie, (b) évaluation du diamètre du stipe, (c) évaluation de la longueur d'entrenœud, (d) évaluation des angles d'insertion et de bending des palmes, (e) mesure de la longueur de la nervure principale de la palme, (f) mesure des distances inter-groupes des pennes (groupe d'épines et de folioles repères de chaque extrémité d'une portion de 10% de la longueur totale de la nervure principale), (g) évaluation de l'angle d'insertion des folioles, (h) évaluation de l'angle d'insertion des inflorescences, (i) une inflorescence, (j) mesure de la longueur de la bractée, (k) mesure de la longueur de l'axe principal de l'inflorescence, (l) mesure de la longueur totale et de la longueur fertile des épillets et le nombre de fruits par épillet (photos Rey, Lecoustre et Zango).

4.2.4 Modèles PRINCIPES

PRINCIPES est un modèle conçu pour décrire l'architecture des *Arecaceae* (Hervé Rey, 2003; REY et al., 2008). Il est basé sur les notions de décomposition de la plante selon des échelles de plus en plus précises (H. Rey, Godin, & Guédon, 1997; Daniel Barthélémy & Caraglio, 2007). La typologie des organes constitutifs est réalisée afin de définir les différents niveaux d'organisation de la plante (relation de décomposition). La topologie de la plante, c'est-à-dire les relations de proximité que les organes entretiennent entre eux est décrite

(relation de parenté, relation de succession) en tenant compte des diverses échelles de description de la plante.

4.2.4.1 Analyse et traitement des données

Les données issues des mesures des paramètres morphologiques et structurales du stipe, des palmes et des inflorescences sont analysées statistiquement et ajustées par régressions linéaires, polynomiales et logarithmiques avec les logiciels Excel 2010 et R3.2.0. Dans la plupart des cas, nous utilisons la position relative $\frac{\text{position absolue sur le porteur}}{\text{Longueur totale du porteur}} * 100$ des organes à mesurer pour minimiser les erreurs lors des extrapolations. Les résultats de l'analyse servent à renseigner un fichier paramètres (Lecoustre & Jaeger, 1989 ; (Rey, 2001) ; (Zango et al., 2013) pour servir de support aux simulations de Principes (Rey et al., 2008; Rey, 2003) via le logiciel Xplo (Griffon & de Coligny, 2012).

4.2.4.2 Simulation du modèle et bilan radiatif

Le logiciel Xplo héberge un simulateur du modèle PRINCIPES. Ce simulateur (nommé également PRINCIPES) utilise en entrée les valeurs des paramètres morphologiques et structuraux du palmier dattier et fournit en sortie un fichier dont le format est un standard de description d'une plante 3D (.opf). Il est possible de calculer tout ou partie de la plante. Ce fichier peut être enfin visualisé au moyen d'outils standards fournis par Xplo et manipulé afin de produire des images de communication. Les différents paramètres morphologiques et structuraux des représentations virtuelles des plantes peuvent être extraits à l'aide d'outils générique d'exploitation des fichiers des fichiers de représentation de la plante numérique proposé par Xplo (.opf). Ces valeurs extraites peuvent être utilisées pour recalculer les variations de ces paramètres afin de se prononcer sur la fiabilité des représentations de ce modèle.

Ce fichier est ensuite importé dans le logiciel Simeo (Griffon & de Coligny, 2012) permettant de reconstituer une palmeraie. La palmeraie virtuelle reconstituée est ensuite transférée au logiciel MIR (Dauzat & Eroy, 1997; Mialet-Serra, Dauzat, & Auclair, 2001) implémenté dans Simeo pour estimer non seulement l'énergie lumineuse interceptée par la foliole de la plante, mais aussi d'estimer l'énergie qui parviendrait au sol.

4.3 RESULTATS

4.3.1 Modèle PRINCIPES

Le modèle considère en première position un arbre dans une plantation. Le complexe arbre est composé des entrenœuds (ensemble des entrenœuds forme le stipe) qui à leur tour portent des palmes, des flèches et des inflorescences. Les palmes sont composées de la gaine, de la nervure principale et des folioles. Quant aux inflorescences, elles sont composées d'une bractée, d'un axe principal et des épillets. Les épillets portent des fleurs ou des fruits (Fig. 4.5).

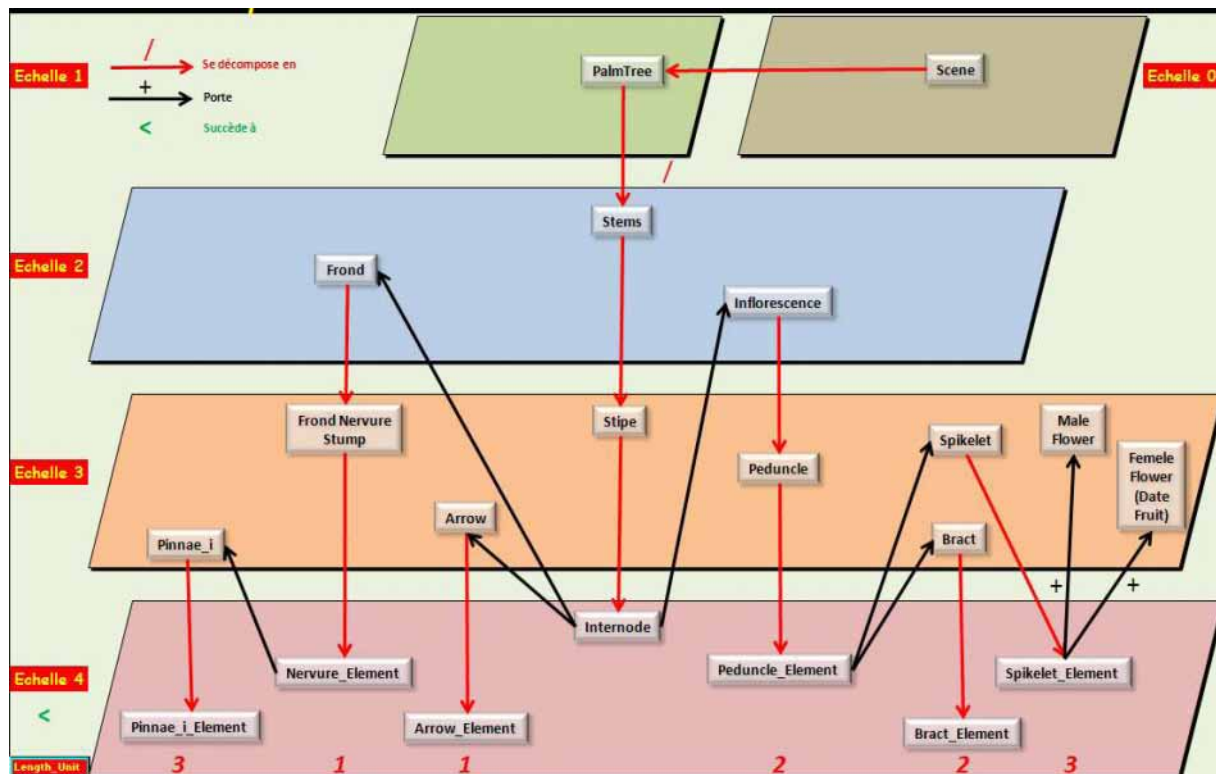


Fig. 4.5 : Modèle architectural du palmier dattier avec les liaisons entre les différents éléments.

4.3.2 Morphologie et géométrie des palmiers

4.3.2.1 Stipe

Angle de phyllotaxie des palmes

L'angle de phyllotaxie moyen est de $137,03^\circ$ pour le palmier jeune (a) alors qu'il est de $137,54^\circ$ pour le palmier âgé (b).

Longueur des entrenœuds

La longueur des entrenœuds du stipe varie entre 1 et 2cm en fonction de la position des mesures sur le stipe de la base du collet en direction du méristème apical sur les 150

premiers centimètres de la hauteur du palmier (a) alors qu'elle varie entre 1.5 et 2.5cm sur les 250 premiers centimètres du palmier (b) (Fig. 4.6). Les calculs de cette longueur ont commencé au-delà de 50cm du sol chez le palmier (b) à cause de l'absence des bases pétiolaires sur son collet (Fig. 4.6).

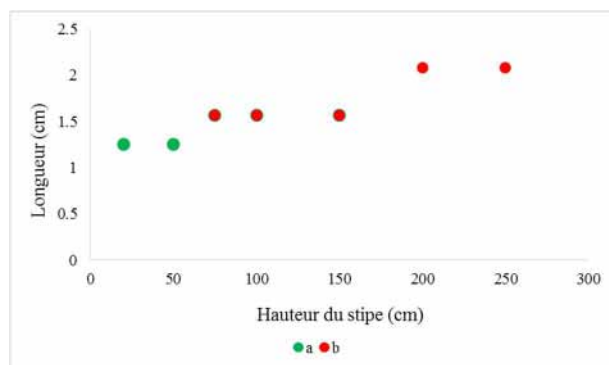


Fig. 4.6 : Longueur des entrenœuds du stipe en fonction de la position de la mesure, (a) le palmier jeune et (b) le palmier âgé.

Diamètre des entrenœuds

La circonférence du stipe varie entre 150 et 250cm en fonction de la position des mesures sur le stipe de la base du collet en direction du méristème apical sur les 150 premiers centimètres de la hauteur du palmier (a) alors qu'elle varie entre 150 et 200cm sur les 250 premiers centimètres du palmier (b) (figure7). Les calculs de cette circonférence ont commencé à 20cm du sol chez le palmier (b) à cause de la présence de rejets à collet (Fig. 4.7). Le palmier (a) a un diamètre plus gros que le palmier (b) sur les 150 premiers centimètres de la hauteur du stipe (Fig. 4.7)

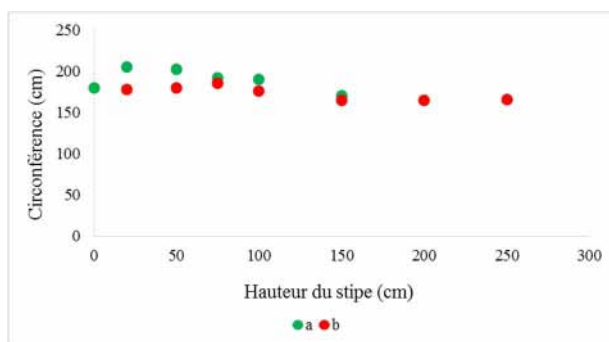


Fig. 4.7 : Circonférence du stipe en fonction de la hauteur de la position des mesures. (a) le palmier jeune et (b) le palmier âgé

4.3.2.2 Palmes

Longueur des palmes

Les palmes mesurées sont celles de rangs 17 et 33 chez le palmier (a) et celles de rangs 25 et 49 chez le palmier (b) (avec la palme de rang 1, la palme presque complétement déployée plus proche de méristème apical du stipe). La palme la plus basse au niveau de chaque palmier est légèrement plus longue que celle plus en hauteur dans la couronne (Fig. 4.8). Les palmes du palmier (a) sont légèrement plus longues que celles du palmier (b) (Fig. 4.8).

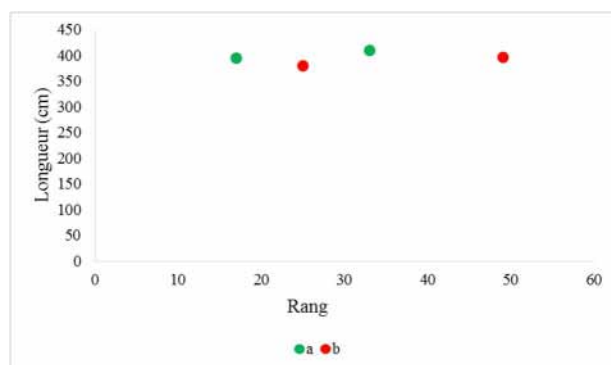


Fig. 4.8 : Longueur des palmes en fonction de leur rang du méristème apical vers la base de la couronne. (a) le palmier jeune et (b) le palmier âgé.

Angle de bending des palmes

L'angle de bending ou de ploiement des palmes par rapport à l'angle d'insertion de la palme (ici ordonnée à l'origine) augmente en direction du point A de celles-ci pour les deux palmiers (Fig. 4.9 a&b). Les palmes en position plus haute ont des angles plus petits par position relative sur celles-ci que les palmes en position plus basses dans la couronne pour les deux palmiers (Fig. 4.9 a&b). On constate que les angles de bending par position relative sont beaucoup plus différents entre les deux palmes chez le palmier (b) alors qu'elles le sont moins chez le palmier (a) (Fig. 4.9 a&b). Les valeurs d'angle à l'origine sont les angles d'insertion des palmes considérés sur le stipe (Fig. 4.9 a&b).

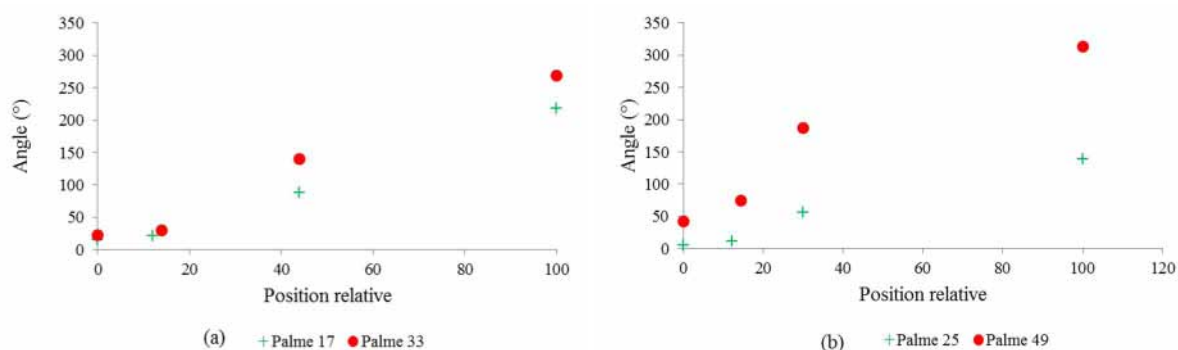


Figure 9 : Angle bending des palmes en fonction de la position relative des points de contrôles sur la palme avec (a) le palmier jeune et (b) le palmier âgé.

Distance intergroupe des folioles

La distance intergroupe des folioles d'une manière générale augmente de la première épine jusqu'au voisinage de 25% de la longueur totale de la palme où elle diminue jusqu'au voisinage de 50% de la longueur totale de la palme et reste presque constante jusqu'au voisinage du point A où elle chute un peu avant ce point pour les deux palmiers (Fig. 4.10 a&b). Par ailleurs cette distance est plus petite pour la palme en position plus haute chez le palmier (a, Fig. 4.10a) alors qu'elle semble identique pour les deux palmes chez le palmier (b, Fig. 4.10b). Les groupes des folioles sont beaucoup plus espacés chez le palmier (a, Fig. 4.10a) que chez le palmier (b, Fig. 4.10b) au moins jusqu'à 50% de la longueur totale de la palme. Cependant, on note que la proportion du pétiole est légèrement plus importante chez le palmier (b, Fig. 4.10b) que chez le palmier (a, Fig. 4.10a).

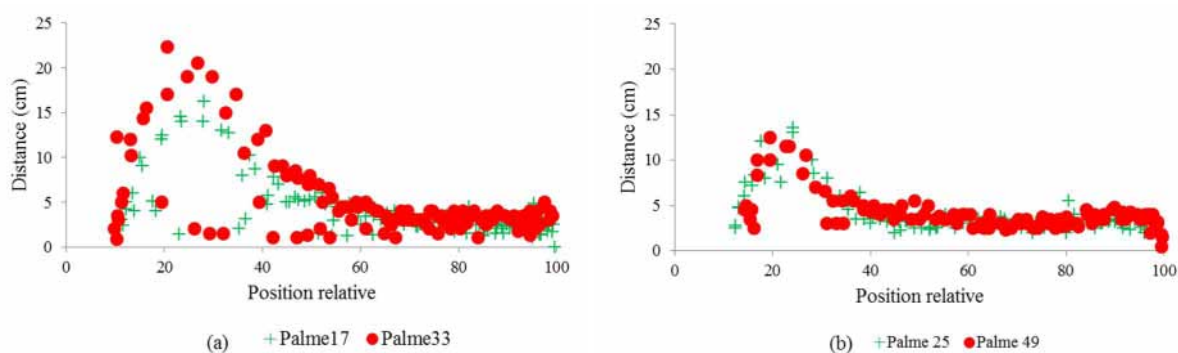


Fig. 4.10 : Distances intergroupes des folioles en fonction de leurs positions relatives sur la palme. (a) le palmier jeune et (b) le palmier âgé.

Longueur des folioles

La longueur des épines est plus petite que celle des folioles pour les 2 palmiers (figure 11 a&b). Cette longueur concerne les nuages des points proches de l'origine jusqu'au voisinage de 30% de la longueur totale de la palme (figure 11 a&b). Elle augmente du point C (début des épines) jusqu'à la dernière épine pour les 2 palmiers.

La longueur des folioles augmente légèrement de la première foliole (au voisinage 30% de la longueur totale de la palme) et atteint le maximum vers les 60% de la position relative sur la palme, puis diminue en direction du point apical de la palme pour le palmier (a). La même tendance est observée au niveau des folioles du Palmier (b) mais les variations de longueur sont plus importantes et le maximum est atteint vers les 80% de la longueur totale de la palme (b, Fig. 4.11b). La longueur des folioles de la palme en position plus haute et de la

palme en position plus basse dans la couronne sont presque les mêmes au niveau d'une position relative donnée pour les deux palmiers (Fig. 4.11 a&b).

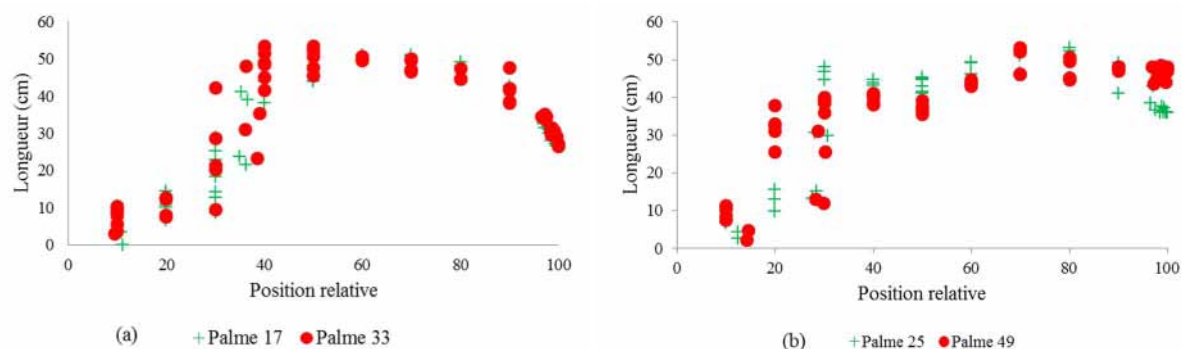


Fig. 4.11 : Longueur des épines et folioles en fonction de leur position relative sur la palme avec (a) le palmier jeune et (b) le palmier âgé.

Angle d'insertion axial des folioles

L'angle d'insertion axial des folioles est très variable en fonction de la position relative de la foliole pour les deux palmiers (Fig. 4.12 a&b). Néanmoins les variations sont moins importantes vers le point A de la palme. Pratiquement aucune différence ne peut être mise en évidence entre les palmiers en position plus hautes et les palmiers en positions plus basses dans la couronne (Fig. 4.12 a&b). On constate que les épines et folioles du palmier (a) ont une insertion plus ouverte que celles de palmier (b) (Fig. 4.12a&b).

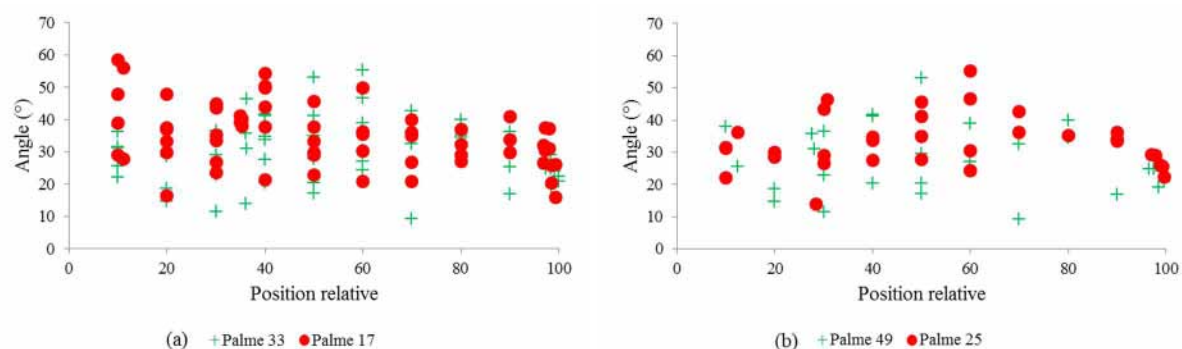


Fig. 4.12 : Angle d'insertion des folioles en fonction de la position relative sur la palme avec (a) le palmier jeune et (b) le palmier âgé.

4.3.2.3 Inflorescences

Longueur des inflorescences

Les inflorescences en position plus basse sont légèrement plus longues que celles en position haute (Fig. 4.13). On constate que les inflorescences du palmier (a) sont légèrement plus longues que celles du palmier (b) (Fig. 4.13).

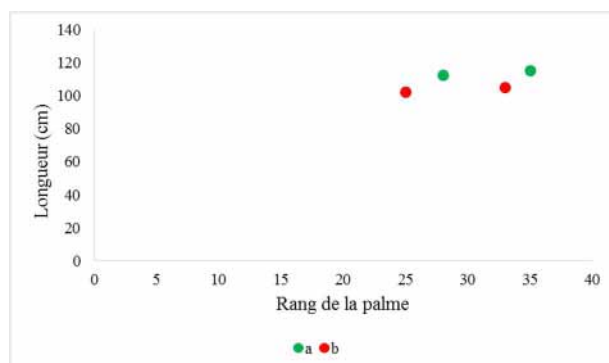


Fig. 4.13 : Longueur des inflorescences en fonction de leurs rangs du méristème apical vers la base de la couronne. (a) le palmier le plus jeune et (b) le palmier âgé.

Longueur de la bractée

Les bractées des inflorescences les plus basses sont plus longues que celles des inflorescences les plus hautes dans la couronne pour chaque palmier (Fig. 4.14). On constate que les bractées du palmier (a) sont plus courtes que celles du palmier (b) (Fig. 4.14).

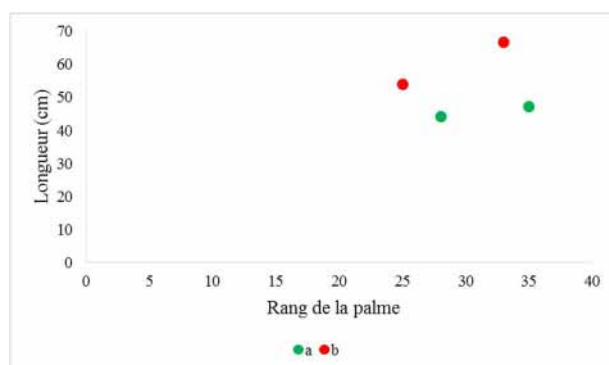


Fig. 4.14 : Longueur des bractées en fonction de leur rang du méristème apical vers la base de la couronne. (a) le palmier jeune et (b) le palmier âgé.

Angle d'insertion des inflorescences

L'angle d'insertion des inflorescences en position plus basse est plus grand que celui des inflorescences en position plus haute dans la couronne pour les deux palmiers (Fig. 4.15). Par ailleurs, les insertions des inflorescences du palmier (a) sont moins ouvertes que celles du palmier (b) (Fig. 4.15).

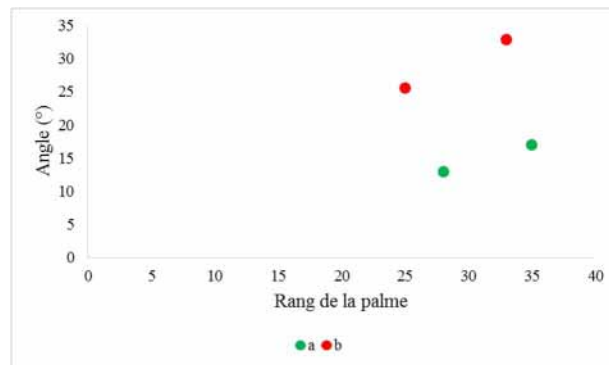


Fig. 4.15 : Angle d'insertion des inflorescences en fonction leur rang du méristème apical vers la base de la couronne. (a) le palmier jeune et (b) le palmier âgé.

Longueur des épillets

La longueur des épillets diminue en fonction de leur position relative sur l'axe principal de l'inflorescence du point C (base du rachis) vers le point A (extrémité du rachis) pour les deux palmiers (Fig. 4.16). Cependant, les épillets du palmier (a) sont plus courts que ceux du palmier (b) (Fig. 4.16). Par ailleurs la proportion du rachis par rapport à la longueur totale de l'axe inflorescentiel est nettement plus faible chez le palmier (a) que chez le palmier (b) (Fig. 4.16)

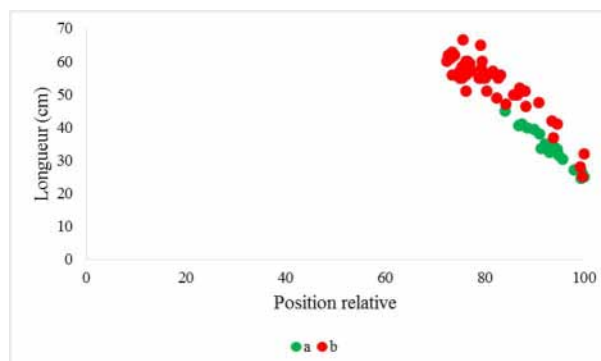


Fig. 4.16 : longueur des épillets en fonction de leur position relative sur l'axe principal de l'inflorescence de la base du rachis vers le point apical. (a) le palmier jeune et (b) le palmier âgé.

Longueur de la partie fertile des épillets.

La longueur de la partie fertile des épillets diminue du point C vers le point A de l'axe principal de l'inflorescence pour les deux palmiers (Fig. 4.17). Cependant, les épillets du palmier (a) ont une partie fertile plus courte que celle des épillets du palmier (b) (Fig. 4.17).

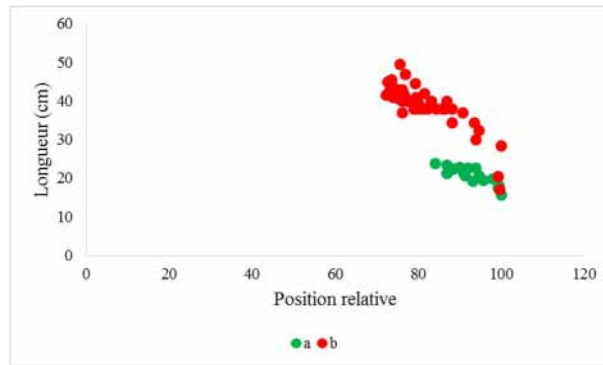


Fig. 4.17 Longueur de la partie fertile des épillets en fonction de la position relative des épillets sur l'axe principal de l'inflorescence. (a) le palmier jeune et (b) le palmier âgé.

Nombre de fleurs par épillet

Le nombre de fleurs par épillet diminue du point C vers le point A sur l'axe principale de l'inflorescence pour les deux palmiers (Fig. 4.18). Les épillets du palmier (a) portent beaucoup moins de fleurs par épillet que ceux du palmier (b) pour une position relative donnée (Fig. 4.18).

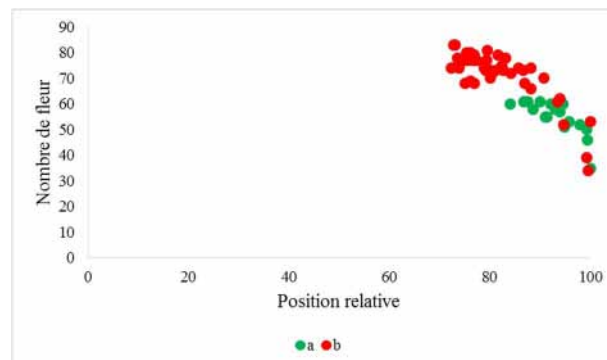


Fig. 4.18 : Nombre de fleurs par épillet en fonction de la position relative de l'épillet sur l'axe principal de l'inflorescence. (a) le palmier jeune et (b) le palmier âgé.

4.3.3 Simulation et reconstruction 3D de la plante numérique

4.3.3.1 Stipe

Deux éléments fondamentaux vont reconstituer le stipe. L'axe principal du stipe est calculé à partir de la succession d'entrenœuds en utilisant les données de longueur et du diamètre de ces entrenœuds (Fig. 4.19a). Cet axe est recouvert par un deuxième élément formé par l'agencement des gaines ou base pétiolaires des palmes chutés naturellement ou coupées lors des opérations culturales (Fig. 4.19b). Les bases pétiolaires chutent en général au niveau du collet du palmier au fur et à mesure que la plante vieillie (Fig. 4.19c).

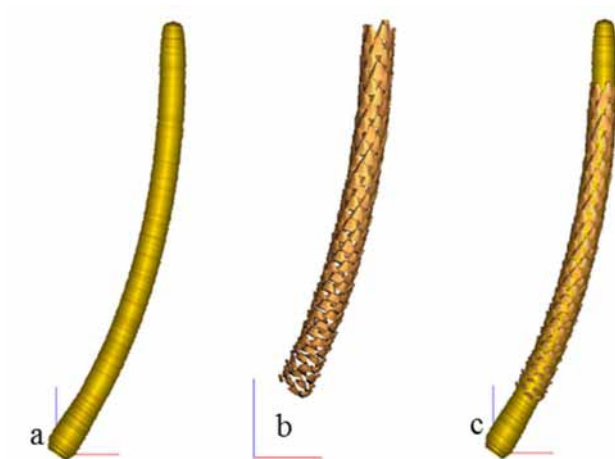


Fig. 4.19 : Reconstitution du stipe avec ses trois principaux éléments. (a) le stipe, (b) la gaine, (c) représente le stipe recouvert de la gaine

4.3.3.2 Palme

La palme est reconstruite à partir de deux éléments : la nervure principale (Fig. 4.20a) qui utilise les valeurs des paramètres de longueur, de largeur et de hauteur de sa section en fonction de la position relative des observations le long de cette nervure. La nervure est divisée en deux parties, le pétiole qui ne porte rien et le rachis qui porte des pennes. Les pennes sont disposées par groupes de 1 ; 2 ; 3 ou 4 pennes le long de la nervure. Elles utilisent les paramètres d'angle d'insertion ainsi que les valeurs des longueurs sur cette nervure. Elles utilisent aussi les paramètres de largeurs en fonction de la position relative de cette largeur le long de la foliole. Dans cette organisation les épines sont disposées en premier lieu vers la base de la nervure principale par rapport aux folioles (Fig. 4.20c).

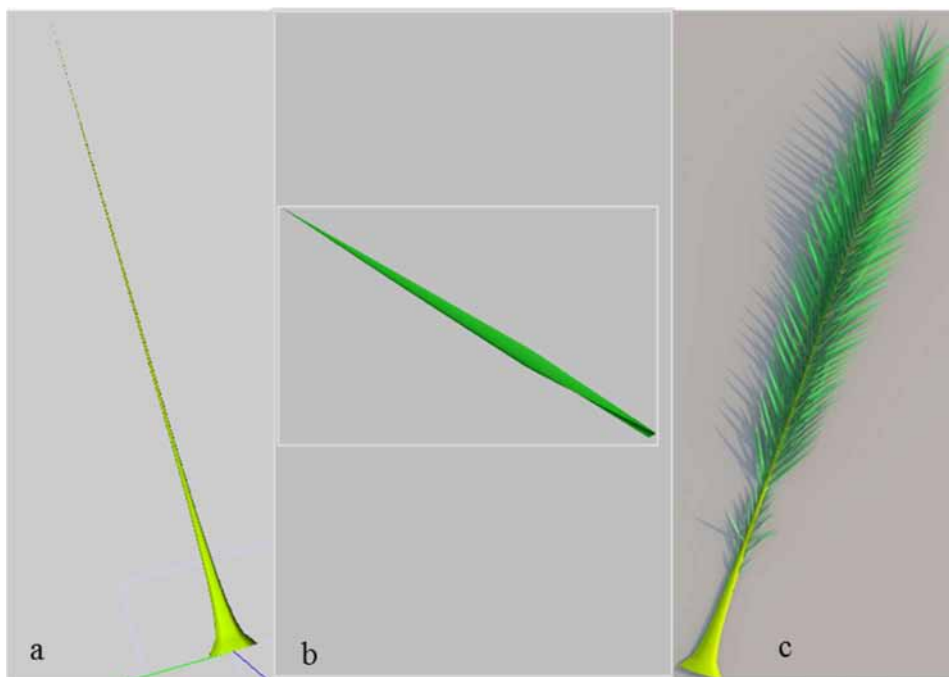


Fig. 4.20 : Reconstitution de la palme du dattier avec la nervure principale (a) et de la penne (ici foliole, b) qui donne la palme entière (c).

4.3.3.3 Inflorescence

L'inflorescence du palmier dattier est composée de deux principaux éléments : l'axe principal (Fig. 4.21a) sur lequel s'organisent les épillets (Fig. 4.21b&c). De même que pour la palme, l'axe inflorescentiel est décrit par les paramètres de longueur et de largeur qui peuvent varier le long de cet axe. L'axe inflorescentiel est divisé en deux parties, le pédoncule (partie stérile) qui ne porte rien et le rachis (partie fertile) qui porte les épillets. Les épillets sont disposés par pseudo-vercilles de 1 à 9 épillets le long de la partie rachis de l'axe inflorescentiel. Les épillets sont décrits par leur longueur et leur diamètre (mesuré au point I, C et A) en fonction de leur position relative le long du rachis. Les épillets comportent une zone stérile et une zone fertile dont la proportion varie en fonction de la position de l'épillet sur le rachis. Ils portent des fleurs qui sont disposés par groupe de 1 à 4 fleurs le long de cette zone fertile. Enfin une probabilité de nouaison est affectée à chaque fleur, ce qui donne une répartition finale des fruits sur les épillets. Lors de la simulation chaque inflorescence possède son propre état de développement et en fonction de cet état, elle peut porter des fleurs ou des fruits (Fig. 4.21d). Il faut ajouter à cette structure, la bractée qui joue le rôle d'enveloppe protectrice de l'inflorescence avant l'anthèse (Fig. 4.21d). Sa forme en est définie par sa longueur, sa largeur et sa hauteur.

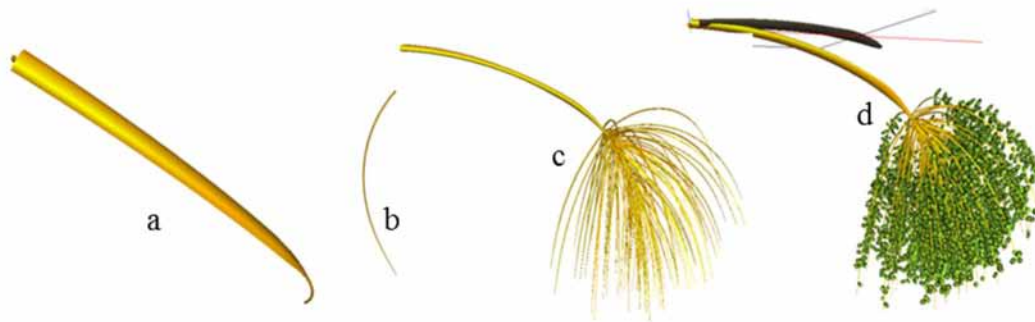


Fig. 4.21 : Reconstitution des inflorescences avec l'axe principal (a) et l'épillet (b) qui donnent l'architecture de l'inflorescence vide (c) aboutissant en inflorescence chargée des fruits (d).

4.3.3.4 Partie végétative entière de la plante

La plante entière est reconstituée à partir de trois principaux éléments visibles qui sont le stipe recouvert par les bases pétiolaires des anciennes palmes (Fig. 4.22a), la couronne constituée par les palmes actives (Fig. 4.22b) à l'intérieur de laquelle apparaissent les inflorescences (Fig. 4.22c). Ainsi les inflorescences s'insèrent dans la couronne, le tout est porté le stipe pour donner la partie aérienne du palmier dattier. (Fig. 4.22d).

Par ailleurs, le palmier entier répond aussi à la même organisation que la palme, l'inflorescence ou l'épillets, c'est-à-dire présentant une partie qui ne porte rien (IC) et une partie qui portent des palmes et des inflorescences (CA, Fig. 4.22d).

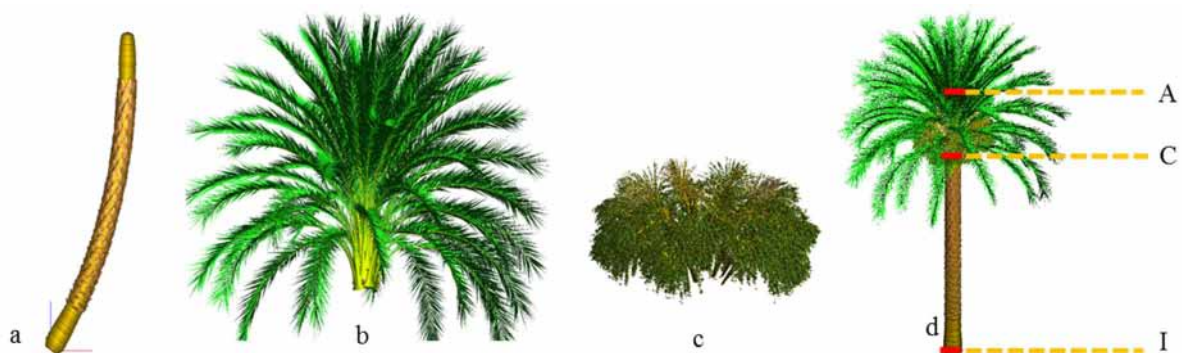


Fig. 4.22 : Reconstitution de la plante entière du palmier dattier avec le stipe (a), la couronne des palmes (b), celle des inflorescences (c) pour donner la plante entière (d).

4.3.3.4 Reconstitution et intégration d'une plante dans son environnement

Il est possible aujourd'hui avec la représentation en 3D de la plante de reconstituer l'intégralité de son aspect in situ. La Fig. 4.23a nous montre l'image observée d'un palmier

dattier avec son rejet et la Fig. 4.23b nous montre l'image numérique qui résulte de la simulation grâce au modèle PRINCIPES dans lequel les données de terrain ont été introduites.

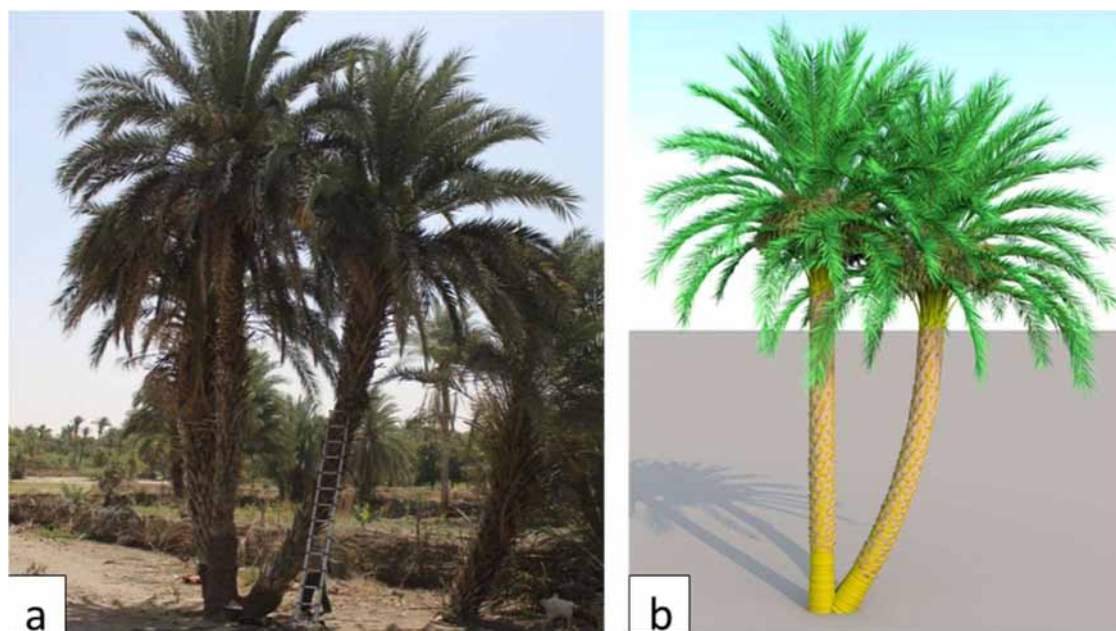


Fig. 4.23 : Reconstitution et intégration de la plante entière dans son environnement avec l'image réelle (a) et l'image virtuelle (b).

4.3.4 Exploration et validation du modèle

Nous présentons dans cette partie quelques résultats de simulations. Ces données sont extraites du modèle par exploration des données de reconstitution. Les longueurs simulées traduisent bien les données observées (Fig. 4.24 ; 25&26).

Longueurs des palmes

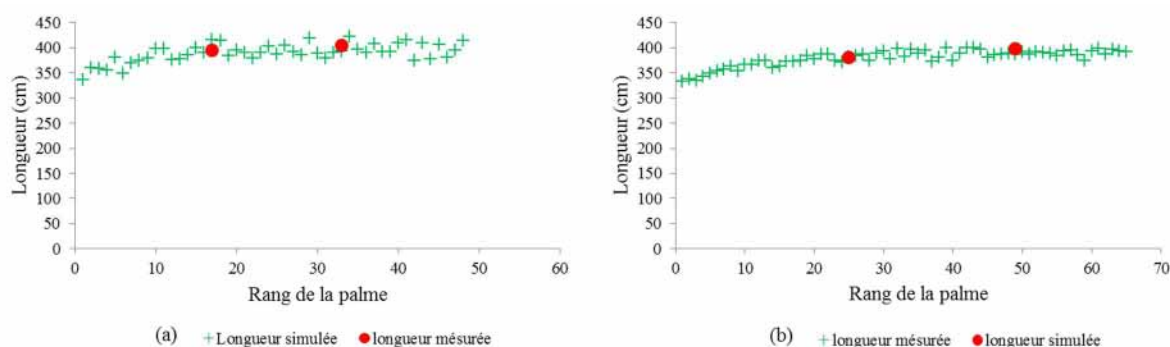


Fig. 4.24 : Longueur simulée et observée des palmes en fonction de leurs rangs du méristème apical vers la base de la couronne. (a) le palmier jeune et (b) le palmier âgé.

Longueurs des inflorescences

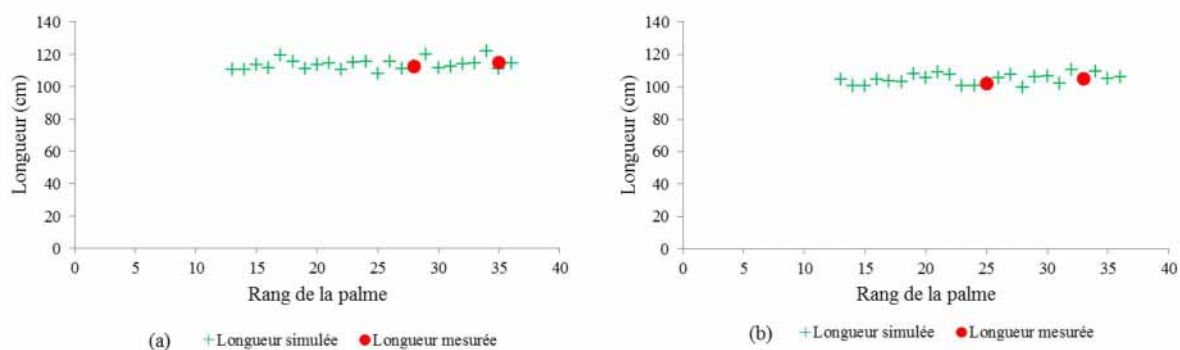


Fig. 4.25 : Longueur simulée et observée des inflorescences en fonction de leurs rangs du méristème apical vers la base de la couronne avec (a) le palmier le plus jeune et (b) le palmier le plus âgé.

Longueur des folioles

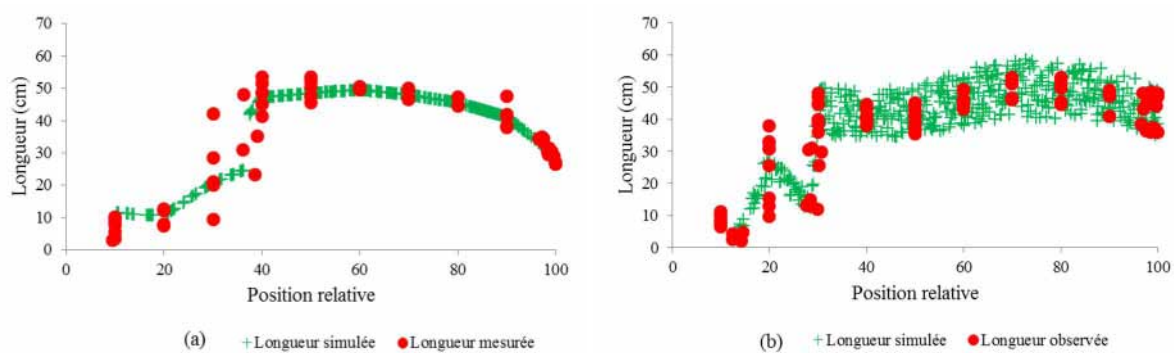


Fig. 4.26 : Longueurs simulée et observée de folioles en fonction de leurs positions relatives sur la palme avec (a) le palmier le plus jeune et (b) le palmier le plus âgé.

4.3.5 Bilan radiatif

Surface des folioles

La surface des folioles augmente des premières folioles et atteint son maximum aux voisinages de 70% où elle diminue en direction du point apical de la palme pour les deux palmiers (Fig. 4.27). Cependant, on remarque que la surface des folioles du palmier (a) semble être plus faible et présente moins de variation par position relative des folioles que celle du palmier (b) (Fig. 4.27).

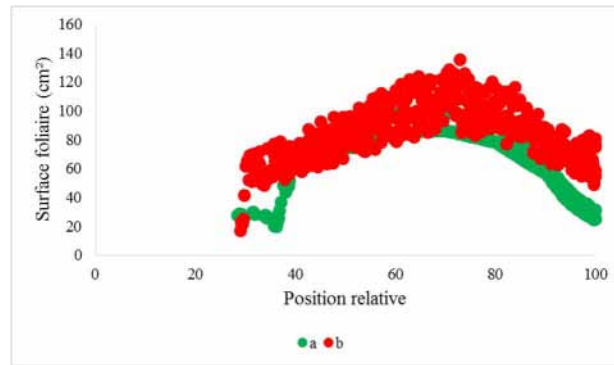


Fig. 4.27 Surface des folioles en fonction de leur position relative sur la palme. (a) le palmier jeune et (b) le palmier âgé.

Radiations interceptées

Les folioles de la palme en position plus haute semblent capter un peu plus de radiation que celles de la palme en position plus basse chez les deux palmiers (Fig. 4.28a&b). A surface égale, les folioles du palmier (a, Fig. 4.28a) captent plus d'énergie que celles du palmier (b, Fig. 4.28b). Pour les deux palmiers, il ressort que la quantité d'énergie captée n'est pas liée à la surface foliaire. Les folioles de surface intermédiaires capte plus d'énergie pour les deux palmiers (Fig. 4.28 a&b)

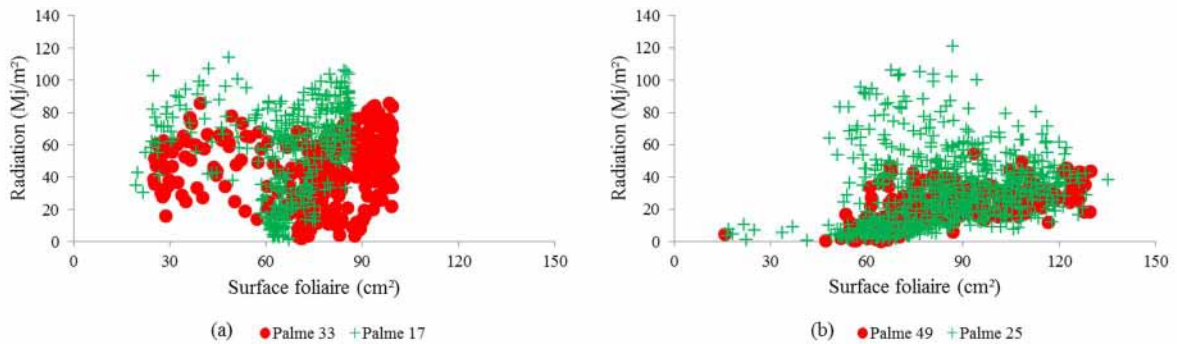


Fig. 4.28 : (a) Bilan radiatif des folioles avec le bilan en fonction de la surface foliaire et (b) en fonction position relative sur la nervure principale.

Les images de la Fig. 4.29 montrent comment les palmiers dattiers interceptent la lumière. L'intensité décroît des folioles supérieures, les plus exposées au soleil vers folioles inférieures (ou de sous couronne) moins exposées. Le tapis rouge représente la partie du sol qui reçoit les rayons sans interruption de la plante alors que la partie multicolore est plutôt sous l'ombre c'est-à-dire reçoit moins d'énergie car une partie est intercepté par la plante.

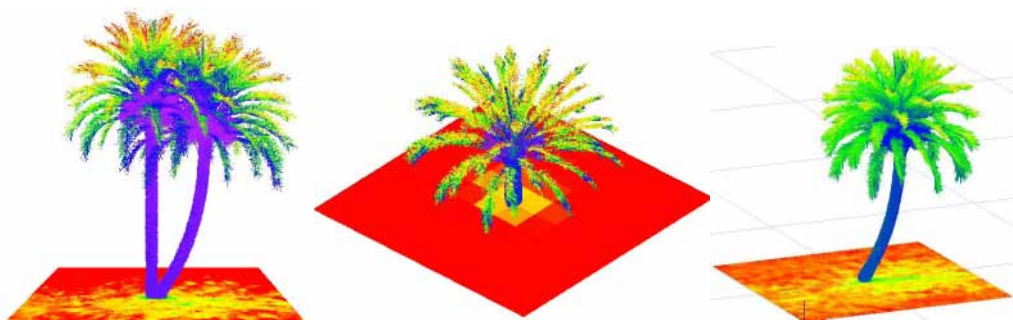


Fig. 4.29 : Bilan radiatifs des palmiers dattiers et du sol environnant au Sahel.

4.4 Discussion

Les travaux de modélisation des palmiers sont souvent entravés par les caractéristiques morphologiques répulsives de cette famille, notamment la grande taille de la plante adulte, l'insertion profonde de l'inflorescence dans la couronne au cours de son développement mais aussi sa complexité. Malgré, cette structure complexe, nos résultats montrent que le palmier dattier est composé de deux motifs répétitifs notamment la partie sans organe (I-C) et la partie avec organe (C-A), communs pour le stipe, la palme, l'inflorescence et l'épillet. Ces motifs ayant presque la même organisation architecturale au niveau de chaque organe, présentent un gradient entraînant un changement progressif le long d'un axe porteur comme au niveau de l'inflorescence de *Nannorrhops ritchiana* décrit par (Tomlinson & HE, 1968).

Comme beaucoup d'autres espèces de palmiers (*Elaeis guineensis*, (Perez et al., 2016) ; *Coco nucifera* ; (Dauzat, 1994)), le palmier dattier ne se ramifie que très rarement hormis les rejets à la base qui sont des réitérations complètes (Edelin, 1984). En plus, l'inflorescence du palmier dattier a un nombre d'ordre de ramification réduit par rapport à l'unité de base de l'inflorescence des palmiers décrite par (Tomlinson & others, 1990), reflétant les changements morphologiques de l'évolution au cours de la diversification au sein des Arecaceae (Jean-Christophe Pintaud et al., 2010). A titre comparatif, à la différence du palmier à huile (*Elaeis guineensis*, (Perez et al., 2016)) et du cocotier (*Coco nucifera*, (Perera et al., 2010)), les bractées pétiolaires, épillaires et florales sont absentes chez le palmier dattier, seule une grande bractée enveloppe l'inflorescence avant l'anthèse.

Nos résultats mettent en évidence l'étendu du modèle architectural (PRINCIPES) des Arecaceae aux palmiers dattiers du Sahel. En effet, la plupart des travaux de calibration et de validation de ce modèle ont été effectués sur les palmiers des zones de productions traditionnelles des dattes (Gammoudi et al., 2014; Atallaoui et al., 2016 ; (O. Zango et al., 2013; Oumarou Zango, 2012). Le Sahel considéré comme zone marginale (car situé en marge

des latitudes de production commerciale des dattes, avec des conditions de température et d'hygrométrie différentes des zones traditionnelles de culture du palmier, Munier, 1973) n'a connue aucun travail de compréhension des formes structurales d'une partie ou de la plante entière. Nos résultats ont permis d'identifier des caractères architecturaux des caractères de ressemblance et de dissemblance entre les palmiers dattiers. Ces résultats sont très semblable à ceux trouvé par plusieurs auteurs en zone de production traditionnelle (Atallaoui et al., 2016; Gammoudi et al., 2014; Memadji-Le-Allah et al., 2011; O. Zango et al., 2013; Oumarou Zango, 2012).

L'évolution de la circonférence et de la longueur des entrenœuds des palmiers d'âge différent, nous confirme l'hypothèse de Jahiel (1996) selon laquelle l'acclimatation des palmiers dattiers est satisfaisante au Sahel. Néanmoins, il faut préciser que l'évaluation de ces paramètres est très ambiguë à cause de l'ancrage et des dimensions des gaines, ce qui explique réellement les petites fluctuations des mesures. Les différences de valeurs entre les paramètres des organes de ces plantes sont probablement dues à l'effet variété car ces plantes évoluent toutes dans un même milieu écologique. La longueur des palmes, des inflorescences, des bractées ou celle des épillets et la proportion du rachis par rapport à la longueur totale de l'axe principal de l'inflorescence peuvent être considérées comme critères de distinction des variétés dans ces cuvettes oasiennes. Le fait que les inflorescences du palmier (a) sont plus longues que celle du palmier (b) alors que les bractées du palmier (a) sont plus courtes que celles du palmier (b), nous montrent que la longueur de la bractée n'est pas forcément lié à la longueur de l'inflorescence qu'elles couvrent et réciproquement. Par ailleurs, la valeur de l'angle de bending finale nous montre que les palmes du palmier (a) sont moins flexibles que celles du palmier (b). c'est cette caractéristique qui donne la forme de la couronne, qui est aussi régie par l'effet variétale (International Plant Genetic Ressources Institute, 2005). Ces différences de caractéristiques ont été trouvés dans les zones de production traditionnelles du dattier par (Atallaoui et al., 2016; Gammoudi et al., 2014; Memadji-Le-Allah et al., 2011; O. Zango et al., 2013; Oumarou Zango, 2012).

Les angles de phyllotaxie de 137,03 pour le palmier (a) et 137,54 pour le palmier (b) que nous avons trouvé en moyenne sont comparables à ceux trouver par (Elhoumaizi et al., 2002) au Maroc, même si Zango et al. (2016) ont montré que les palmiers du Sahel et ceux de Maroc sont génétiquement éloignés. Nos résultats confirment aussi l'hypothèse (Elhoumaizi et al., 2002) selon laquelle la valeur de l'angle de phyllotaxie est variable selon les cultivars. Par ailleurs, il a été démontré que l'angle de phyllotaxie influence l'efficacité d'interception

lumineuse (Valladares & Brites, 2004). Plus l'angle est proche du numéro d'or de Fibonacci soit 137.5, plus l'efficacité de l'interception lumineuse est meilleure. C'est ce qui explique que la quantité d'énergie interceptée pour les folioles de petites surfaces au niveau du palmier (a) est comparable à celle interceptée par les folioles de grande surface car sa couronne est beaucoup plus aérée comparativement à celle du palmier (b).

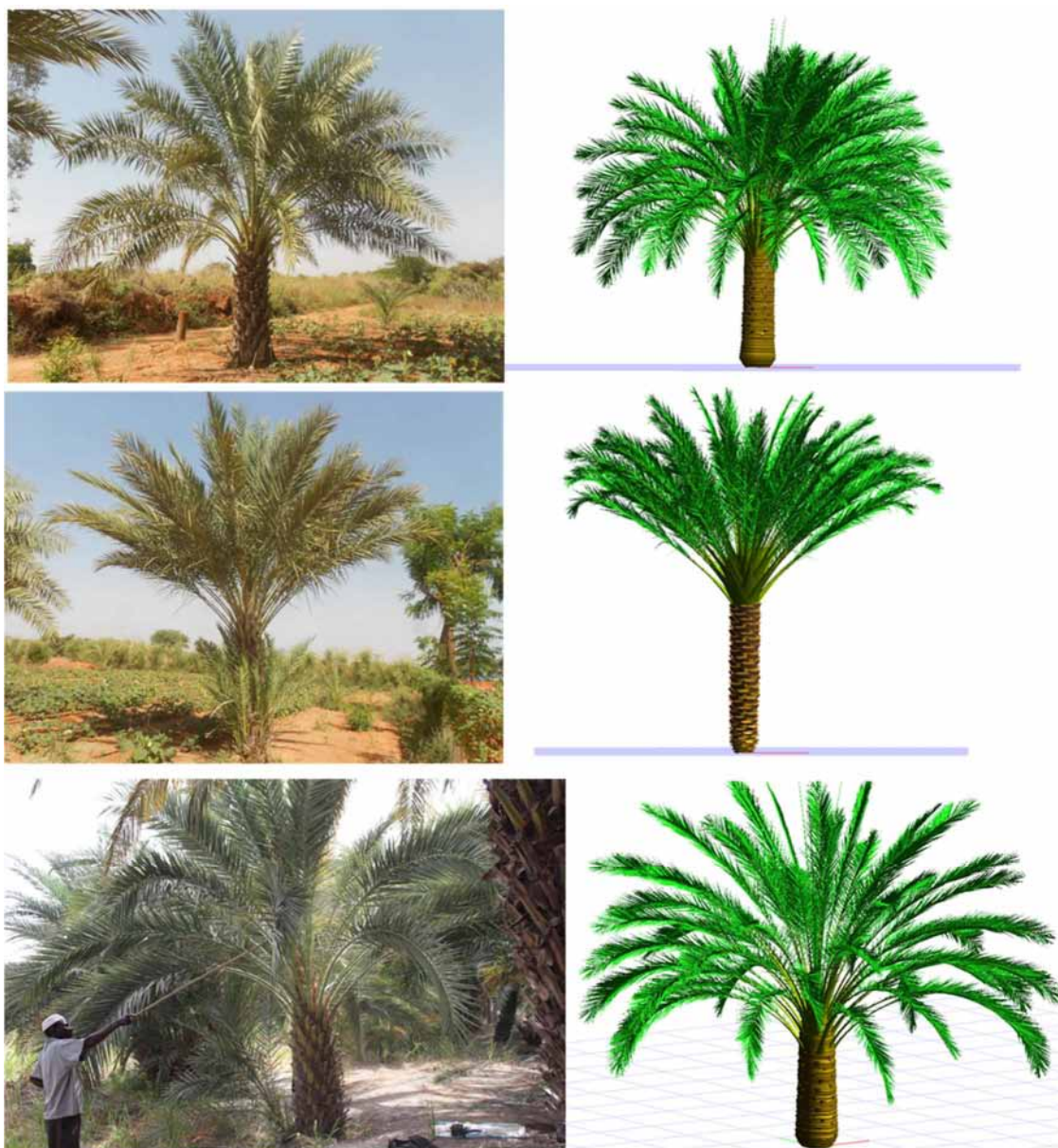
Nos résultats montrent que la quantité d'énergie captée n'est pas forcément liée à la surface foliaire car en fonction de leurs positions en (+1) ; (0) et (-1), certaines folioles se mettent au plan inférieur des folioles et seront donc cachées par d'autres folioles face à l'énergie solaire. En plus, les palmes en position haute reçoivent plus d'énergie car sont en général beaucoup plus exposées au soleil que les palmes en position basse dans la couronne. En effet, le palmier (a) qui présente des folioles de plus petite surface que celles du palmier (b) montre plus d'efficacité dans l'interception de la lumière car sa couronne est plus aérée que celle du palmier (a). Par conséquent, l'architecture joue un rôle très important car avec l'ouverture de la couronne il est clair que les palmes présenteront un meilleur bilan radiatif.

Les paramètres simulés s'ajustent bien aux paramètres observés et la reconstitution de la plante numérique, cela montre que notre modèle permet de simuler parfaitement nos plantes observées. En effet on constate une représentation très réaliste de palmeraies. Ces genres de représentations ont été déjà montrés par Rey (2003) en utilisant pratiquement les mêmes paramètres sur le tournesol, par (Lecoustre, Jaeger, Quencez, Flori, & De Reffye, 1993) sur le palmier à huile. Par ailleurs, avec les avancées de la bio-informatique, il est aujourd'hui possible de reconstituer les événements du terrain sur ordinateur et pouvoir aussi les interpréter (Lecoustre & De Reffye, 1993; Rey, Lecoustre, & Dauzat, 2010). Ainsi ces genres de modèle de représentation des plantations entières sont des véritables outils de gestion des vergers qui simplifient la complexité *in situ*. En effet, ils permettent d'évaluer l'interception du rayonnement solaire par les palmiers. En plus, en fonction des cultures sous-jacentes souhaitées, du recouvrement de la couronne et du stade de développement des palmiers, on peut prévoir l'espacement nécessaire de plantation qui laisserait parvenir suffisamment de l'énergie solaire au sol pour ces cultures (Dauzat and Eroy 1997 ; (Hervé Rey, 2003). En d'autres termes, il devient un outil intéressant en matière de gestion prévisionnelle des rendements (Hervé Rey, 2003).

4.5 Conclusion

Nous venons d'explorer un domaine peu connu par les botanistes et spécialistes des palmiers, celui de l'architecture du palmier dattier du Sahel. A titre comparatif, nous venons de montrer des caractères architecturaux intéressants (longueur des palmes, inflorescences et épillets) présentant de gradients qui facilitent la modélisation et des caractères (bending des palmes) qui permettent de distinguer des cultivars. Un de nos buts, que nous pensons atteindre, était de démontrer que l'architecture des palmiers joue un rôle essentiel pour l'aménagement des palmeraies pour favoriser une cohabitation harmonieuse entre la culture du dattier et celle des cultures sous-jacentes au Sahel. L'intérêt de la modélisation architecturale est de pouvoir recalculer la plantation à tout stade de développement à l'aide des possibilités de paramétrage des maquettes numériques pour enfin prévoir un meilleur futur à la plantation.

DISCUSSION, CONCLUSION GENERALES ET PERCEPTIVES



5.1 Discussions générales et perspectives

5.1.1 Importance de la phœniciculture et des ressources génétiques du palmier dattier au Sud-est du Niger

Les résultats de nos travaux ont mis en évidence une prise de conscience par les agriculteurs de la bande sahélienne du Niger de l'intérêt de la culture du palmier dattier dans

la lutte contre la malnutrition, l'insécurité alimentaire et l'amélioration des revenus des ménages. Ils font également apparaître l'existence d'un germplasma original présentant une grande diversité génétique. Par ailleurs, la bonne acclimatation du patrimoine génétique local au climat du Sahel et aux conditions édaphiques des cuvettes a déjà été établi (Michel Jahiel, 1996). Ainsi, (Ambouta, 2006) suggère que le développement futur de la phœniciculture au Sahel dispose de conditions favorables. En plus, le climat qui devient de plus en plus chaud (de Sherbinin, 2014) et la remontée de la nappe phréatique constatée ces dernières années (Favreau et al., 2011; Leduc et al, 2001; Nazoumou et al, 2016), nous laisse penser que la phœniciculture pourra constituer une solution d'avenir pour contribuer au développement économique à travers l'exportation de cette denrée. Par conséquent, il serait judicieux de conserver et de valoriser la diversité génétique existante. En effet, l'introduction de variétés étrangères présente le risque d'entrée de pathogènes encore inconnus dans cette région, comme le *Bayoud* (Benzohra et al., 2015). De plus, l'introduction de variétés à forte valeur commerciale risquerait d'affecter la richesse du patrimoine génétique de ces cuvettes qui constituent actuellement la ressource vivrière des habitants du Sud-Est Niger. La conservation de ces ressources génétiques sera très difficile au niveau des agriculteurs, il sera indispensable d'impliquer les institutions de recherche notamment l'INRAN (Niger) ou l'IRD pour en assurer la préservation. La conservation ex-situ des ressources génétiques est très importante dans un contexte où les palmeraies sont aussi gravement menacées par la pression démographique. Néanmoins pour un développement commercial de la production de dattes, il est pertinent de s'interroger sur l'intérêt d'introduire des variétés à forte valeur commerciale telle que la 'Medjool' du Maroc. Leur introduction nécessitera une phase d'évaluation permettant d'apprécier leur faculté d'acclimatation aux conditions locales. Ces travaux, actuellement en cours à l'ICRISAT apporteront de précieuses informations pour améliorer à terme, le patrimoine génétique du palmier dattier au Niger.

5.1.2 Origine du palmier dattier du Sahel

Les derniers inventaires du palmier dattier au Niger remontent aux années 80 (Jahiel 1996), mais ce sont des estimations basées sur une dizaine de cuvettes. On en dénombre aujourd'hui près de 10 717 (Barké, Tychon, Ousseini, & Ambouta, 2016) même si moins de la moitié d'entre elles sont agricoles, on estime que plus d'un quart hébergent du palmier dattier. Les résultats de cette thèse soulèvent la question de l'origine des palmiers dattiers qui peuplent ces cuvettes. En effet, l'originalité que présentent ces populations du Sahel vis-à-vis des palmiers dattiers d'Afrique du Nord, laissent penser qu'elles ne proviennent pas de ces

pays contrairement aux hypothèses de certains auteurs (Munier, 1963; Lenormand, 1984; Jahiel 1996) qui ont suggéré l'arrivée de ces palmiers à partir du Fezzan en Lybie. L'analyse génétique des palmeraies du Djado, Kavar et Agaram (Nord Niger), des palmeraies du Borkou Tibesti (Nord Tchad), des palmeraies du Sud de l'Algérie et de ceux de Kidal (Nord Mali) permettra de se prononcer sur cette question. Par ailleurs, les ressources génétiques de toute la bande sahéenne sont peu connues. Il serait donc particulièrement intéressant de faire un inventaire exhaustif de ce patrimoine. Les données recueillies permettraient de mieux comprendre la structuration génétique de la partie occidentale de l'aire de répartition du palmier dattier. Par conséquent, nos travaux ouvrent de nouvelles pistes pour la découverte de l'origine de ces palmiers qui demeure toujours à élucider. Des collaborations avec les universités et les institutions de recherches de chaque pays du Sahel en partenariat avec l'IRD de Montpellier pourraient permettre de combler ce manque d'information.

5.1.3 Principaux problèmes liés à la culture du palmier dattier au Sahel

Le développement de la phœniciculture dans le Sahel se heurte à plusieurs difficultés.

- La principale est engendrée par l'arrivée précoce de la saison des pluies alors que les dattes sont en plein processus de maturation. Ainsi, il est nécessaire de privilégier au Sahel des variétés qui produisent des fruits principalement pendant la première campagne de production (premier cycle de saison sèche). Il serait également intéressant de privilégier des variétés comme 'Garouda' (présente au Sud-est du Niger) ou 'Lulu' d'Arabie Saoudite dont les fruits peuvent arriver à maturité complète même en saison des pluies ou des variétés à fructification très précoce comme 'Naghal' d'Oman. La sélection de palmiers dattiers présentant le phénomène de double floraison qui concerne près de 50% de l'effectif constitue une piste intéressante pour contourner les problèmes causés par les pluies. L'identification de marqueurs moléculaires associés à ce trait permettrait la sélection de telles variétés. D'un point de vue scientifique, elle permettra aussi de confirmer ou d'infirmer l'hypothèse de Jahiel et Blay (1994) selon laquelle, la contribution génétique ne serait point à négliger dans la compréhension du phénomène de la double floraison, même si l'environnement sahéen est en grande partie responsable.

- Il y a également un grand besoin de renforcement des connaissances des producteurs sur les bonnes pratiques culturales afin d'optimiser la production de dattes de meilleure qualité. Un autre problème non moins important, est celui de la perception du palmier dattier par certains phœniciculteurs qui considèrent que l'ombre des palmiers constitue un facteur

limitant pour le développement des cultures sous-jacentes. Des études de suivi phénologique de proximité ont donc été mises en place pour identifier des variétés que les paysans considèrent comme intéressantes parce qu'elles fournissent un recouvrement moins dense. Par ailleurs, nos résultats montrent que l'architecture des palmiers joue un rôle prépondérant dans l'efficacité de l'interception de l'énergie lumineuse. En plus de la connaissance des caractéristiques architecturales d'une variété ou d'un cultivar, il est possible de calculer la quantité d'énergie que peut intercepter une plante et la part de l'énergie qui peut parvenir au sol pour les cultures sous-jacentes. Il serait intéressant de rechercher les paramètres qui permettraient à la fois une absorption efficace par les palmiers mais favoriseraient également une quantité d'énergie solaire suffisante pour les plantes sous-jacentes. Nous pensons pour cela qu'il serait préférable de favoriser des plantes de petites tailles, de recouvrement moins dense et d'envergure moyenne pour optimiser l'exploitation des cuvettes oasiennes. En effet, il est aujourd'hui possible à partir d'un modèle architectural de proposer aux agriculteurs un espacement conséquent pour une production agricole optimale dans les cuvettes.

- Les résultats de la thèse ont également permis d'évaluer la capacité des paysans à reconnaître les variétés de palmier dattier dans les cuvettes. En effet, les enquêtes que nous avons menées dans la région du Manga, ont révélé 19 variétés de palmier dattier identifiées au niveau local par les agriculteurs. Les résultats des analyses génétiques montrent qu'il n'y a aucun clone et donc aucune variété au sens clonal du terme. Du point de vue des agriculteurs, on peut donc parler de « variétés populations » alors qu'au sens génétique du terme, il s'agit de génotypes. Ceci nous permet de dire que les paysans maîtrisent la différenciation des variétés sur la base de critères morphologiques des fruits tels que la couleur ce qui ne correspond pas à la réalité génétique.

- Enfin, l'un des problèmes rencontrés par les cultivateurs concerne le sexage des plants. En effet, le palmier dattier, comme le palmier doum (M. Jahiel, 1993) est une espèce dioïque, seuls les pieds femelles produisent des fruits (Dransfield et al., 2008). Dans les plantations des régions phœnicicoles (Maghreb, Moyen-Orient), le sex-ratio est de 3 mâles pour 100 femelles (Zaid et al., 1999) alors qu'il est de 32% dans les plantations du Sahel. Ceci implique qu'on n'aurait pas besoin d'autant de mâles pour assurer la pollinisation des individus femelles et garantir une production plus rentable. Or la germination des graines fournit autant de plantules mâles que de femelles (Munier, 1973). De plus, la différenciation du genre n'est possible que vers l'âge de 5 à 8 ans (âge adulte, Peyron, 2000), ce qui est non seulement une perte de temps énorme, mais aussi un gaspillage d'éléments nutritifs et

d'énergie pour la gestion du surplus des plantes mâles qui seront improductifs. Le sexage tardif constitue donc aujourd'hui encore un handicap majeur pour la production de dattes dans le Sahel. Aujourd'hui, l'avancée des connaissances en génétique a permis le développement de marqueurs du sexe chez le palmier dattier à l'IRD de Montpellier (Cherif et al., 2013a). Cependant, cette technique très intéressante est loin d'être à la portée des agriculteurs des pays pauvres du Sahel. Néanmoins, nos travaux de thèse ont permis de mettre en évidence des savoirs locaux dans la reconnaissance précoce des graines ou plantules mâles ou femelles sur la base de leur morphologie. Avec la disponibilité des marqueurs du sexe, ces connaissances locales pourront être mises à l'épreuve en utilisant les graines ou plantules sélectionnées par cette population afin de tester la pertinence de ces savoirs. Ces recherches pourront être réalisées dans le cadre d'un partenariat avec l'IRD en France et l'Université de Niamey. S'il s'avère que les connaissances traditionnelles des cultivateurs permettent l'identification précoce du sexe, cela ouvrira des pistes pour la multiplication des palmiers dattiers par voie sexuée et par conséquent la conservation de sa diversité génétique au niveau local.

5.2 Conclusion générale

Les pertes des terres favorables à l'agriculture causées par la rareté des précipitations et le recul de l'isohyète 300 mm plus au Sud, conjugué à un accroissement démographique de 3% par an, ont conduit aujourd'hui les pays du Sahel vers une insécurité alimentaire chronique. La culture du palmier dattier constitue une solution durable à la valorisation des zones désertiques. En effet, pilier de l'agriculture oasienne, il permet la production de dattes à forte valeur nutritive, mais également le maintien d'espaces fertiles. En créant des zones de vie dans le désert, il permet de stabiliser les populations et de lutter ainsi durablement contre la pauvreté.

Les travaux de cette thèse nous ont permis de répertorier les principales pratiques agricoles au Sahel, d'appréhender la perception du palmier dattier par les agriculteurs. Ils ont également permis d'évaluer les ressources génétiques du palmier dattier et leur contribution aux revenus et à l'amélioration des conditions de vie des habitants du Sahel. Le Sahel est une zone considérée comme zone marginale pour la production de dattes alors que le potentiel phœnicol est considérable. Par ailleurs, étant donné l'évolution actuelle du climat et les caractéristiques physiologiques des palmiers, cette espèce constitue une plante d'avenir pour le Sahel. La culture du palmier dattier revêt un intérêt particulier non seulement dans la lutte contre la malnutrition et l'insécurité alimentaire dans cette zone, mais aussi pour le

développement socio-économique de la région. Les résultats de cette thèse montrent clairement que la culture du palmier dattier peut contribuer de façon très significative à l'amélioration des conditions de vie dans les zones sahéliennes où la vulnérabilité sociale et économique a plus d'acuité que dans n'importe quelle autre région du monde.

La promotion de la culture des dattes engendrera des emplois qui vont certainement retenir les jeunes et par conséquent contribuer à la lutte contre l'émigration clandestine et l'exode rural. D'ailleurs, à ce sujet l'Etat du Niger a mis en place un programme 3N (les Nigériens Nourrissent les Nigériens) qui est basé non seulement sur la production des cultures maraichères hors saison des pluies mais aussi sur la mise en valeur des fruitiers notamment le palmier dattier dans les zones arides et semi arides dont le Sahel fait partie. Cette plateforme sert surtout d'interface entre les chercheurs et les partenaires du Niger afin d'accompagner les projets de recherche. A ce titre, le renforcement des relations avec les pays phéniciens pourraient améliorer les connaissances des pratiques culturelles des agriculteurs. L'amélioration et la sélection variétale du palmier dattier pourraient être envisagées avec l'aide de l'IRD. La poursuite des collaborations avec le CIRAD afin de mettre en place des outils fonctionnels sur la base des critères architecturaux simples et accessibles aux agriculteurs sera également un atout.

En perspective, nos travaux de thèse ouvrent des voies pour des études plus approfondies tant sur le plan du questionnement scientifique que du développement de la culture du palmier dattier au Sahel. Un travail important reste à faire afin de connaître et de décrire précisément l'origine de ces palmiers et comprendre quand et comment ils sont arrivés dans cette zone. Il est également particulièrement intéressant de mieux comprendre le phénomène de la double floraison qui concerne près de 50% des palmiers sahéliens. Ces études seront des étapes capitales afin non seulement de valoriser la culture du palmier dans cette zone, mais aussi de mieux valoriser la production de dattes des pays du Sahel au niveau mondial

- Abdoussalam, S., & Pasternak, D. (2015). Date Palm Status and Perspective in Niger. In J. M. Al-Khayri, S. M. Jain, & D. V. Johnson (Eds.), *Date Palm Genetic Resources and Utilization* (pp. 387–409). Dordrecht: Springer Netherlands. Retrieved from http://link.springer.com/10.1007/978-94-017-9694-1_11
- Aberlenc-Bertossi, F. (2010). Biotechnologies du palmier dattier actes du 3e séminaire du réseau AUF-BIOVEG, Montpellier (France), 18-20 novembre 2008. Paris : IRD.
- Aberlenc-Bertossi, F., Castillo, K., Tranchant-Dubreuil, C., Chérif, E., Ballardini, M., Abdoulkader, S., ... Pintaud, J.-C. (2014). In Silico Mining of Microsatellites in Coding Sequences of the Date Palm (*Arecaceae*) Genome, Characterization, and Transferability. *Applications in Plant Sciences*, 2(1), 1300058. <https://doi.org/10.3732/apps.1300058>
- Abul-Soad, A. A., Markhand, G. S., & Mahdi, S. M. (2010). Diversity of Date Palm (*Phoenix Dactylifera* L.) in the Middle East Region. *IC Biour-Life*, 29–31.
- Ahmed, J., Al-Jasass, F. M., & Siddiq, M. (2014). Date fruit composition and nutrition. *Dates: Postharvest Science, Processing Technology and Health Benefits*, 261–283.
- Akkak, A., Scariot, V., Marinoni, D. T., Boccacci, P., Beltramo, C., & Botta, R. (2009). Development and evaluation of microsatellite markers in *Phoenix dactylifera* L. and their transferability to other *Phoenix* species. *Biologia Plantarum*, 53(1), 164–166.
- Alexandre, D.-Y., Ouedraogo, S. J., & others. (1992). Variations in root morphology of *Faidherbia albida* in relation to soil and agronomic effects. *Faidherbia Albida in the West African Semi-Arid Tropics*, 107–110.
- Al-Khalifah, N. S. (2006). Metaxenia: Influence of pollen on the maternal tissue of fruits of two cultivars of date palm (*Phoenix dactylifera* L.). *Bangladesh J. Bot*, 35(2), 151–161.
- Allaith, A. A. A. (2008). Antioxidant activity of Bahraini date palm (*Phoenix dactylifera* L.) fruit of various cultivars. *International Journal of Food Science & Technology*, 43(6), 1033–1040.
- Al-Qurainy, F., Khan, S., Al-Hemaid, F. M., Ali, M. A., Tarroum, M., & Ashraf, M. (2011). Assessing molecular signature for some potential date (*Phoenix dactylifera* L.) cultivars from Saudi Arabia, based on chloroplast DNA sequences *rpoB* and *psbA-trnH*. *International Journal of Molecular Sciences*, 12(10), 6871–6880.
- Al-Ruqaishi, I. A., Davey, M., Alderson, P., & Mayes, S. (2008). Genetic relationships and genotype tracing in date palms (*Phoenix dactylifera* L.) in Oman, based on microsatellite markers. *Plant Genetic Resources*, 6(1). <https://doi.org/10.1017/S1479262108923820>
- Ambouta, K. J. M. (2006). Rapport de caractérisation des sols des cuvettes et bas-fonds de la zone d'intervention du PLECO : possibilités d'exploitation agricole et de valorisation (Document de travail d'un projet) (p. 58). Gouré et Mainée: Projet de Lutte Contre

l'Ensablement des Cuvettes Oasiennes dans les Départements de Gouré et de Maïné-soroa (PLECO).

- Arabnezhad, H., Bahar, M., Mohammadi, H. R., & Latifian, M. (2012). Development, characterization and use of microsatellite markers for germplasm analysis in date palm (*Phoenix dactylifera* L.). *Scientia Horticulturae*, 134, 150–156.
- Asmussen, C. B., & Chase, M. W. (2001). Coding and noncoding plastid DNA in palm systematics. *American Journal of Botany*, 88(6), 1103–1117.
- Asmussen, C. B., Dransfield, J., Deickmann, V., Barfod, A. S., Pintaud, J.-C., & Baker, W. J. (2006). A new subfamily classification of the palm family (Arecaceae): evidence from plastid DNA phylogeny. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 151(1), 15–38.
- Atallaoui, K., BenMehaia, R., Simozrag, A., Lecoustre, R., & Rey, H. (2016). Modeling Vegetative and Reproductive Architecture of Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) The Case of Two Algerian Cultivars “Deglet Nour” and “Litima.” Retrieved from [http://www.idosi.org/aejaes/jaes16\(2\)16/30.pdf](http://www.idosi.org/aejaes/jaes16(2)16/30.pdf)
- Aubréville, A., & others. (1949). *Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale*. Retrieved from <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201300651842>
- Aubreville, A., Patterson, J. R., Collier, F. S., Dundas, J., Jones, B., Mathey, J., & Bachelier, R. (1973). Rapport de la Mission Forestière Anglo-Française Nigeria–Niger (décembre 1936–février 1937). *Revue Bois et Forêts Des Tropiques*, 148, 3–16.
- Baker, W. J., Savolainen, V., Asmussen-Lange, C. B., Chase, M. W., Dransfield, J., Forest, F., ... Wilkinson, M. (2009). Complete Generic-Level Phylogenetic Analyses of Palms (Arecaceae) with Comparisons of Supertree and Supermatrix Approaches. *Systematic Biology*, 58(2), 240–256. <https://doi.org/10.1093/sysbio/syp021>
- Balme, M., Lebel, T., & Amani, A. (2006). Années sèches et années humides au Sahel: quo vadimus? *Hydrological Sciences Journal*, 51(2), 254–271.
- Banque Mondiale. (2010). Développement local, institutions et changement climatique au Niger: Analyse de la situation et Recommandations opérationnelles (Document de travail) (p. 86p). Niamey, Niger.
- Barké, M. K., Tychon, B., Ousseini, I., & Ambouta, K. J. M. (2016). Analyse de l'évolution des paysages de cuvettes oasiennes et de leurs alentours dans le centre-est du Niger. Presented at the Colloque scientifique international sur la préservation et l'utilisation durable des écosystèmes oasiens, Niamey, Niger.
- Barrow, S. C. (1998). A monograph of *Phoenix* L. (Palmae: Coryphoideae). *Kew Bulletin*, 513–575.
- Barthélémy, D., & Caraglio, Y. (2007). Plant architecture: a dynamic, multilevel and comprehensive approach to plant form, structure and ontogeny. *Annals of Botany*, 99(3), 375–407.

- Barthélémy, D., Edelin, C., & Hallé, F. (1989). Architectural concepts for tropical trees. *Tropical Forests: Botanical Dynamics, Speciation and Diversity*. Academic Press, London, 89–100.
- Battesti, V. (2013). L'agrobiodiversité du dattier (*Phœnix dactylifera* L.) dans l'oasis de Siwa (Égypte). Entre ce qui se dit, s'écrit et s'oublie. *Revue D'ethnoécologie*, (4). Retrieved from <https://ethnoécologie.revues.org/1538?lang=fr>
- Beal, J. M. (1937). Cytological studies in the genus *Phœnix*. *Botanical Gazette*, 400–407.
- Belkhir, K., Borsa, P., Chiki, L., & N R, B. F. G. (2004). 4.05, logiciel sous Windows TM pour la génétique des populations. CNRS UMR 5000. Université de Montpellier II, Montpellier (France): Laboratoire Génome, Populations, Interactions.
- Bello, E. I., Adekanbi, I. T., & Akinbode, F. O. (2015). Production and characterization of coconut (*cocos nucifera*) oil and its methyl ester. *European Journal of Engineering and Technology* Vol, 3(3). Retrieved from <http://www.idpublications.org/wp-content/uploads/2015/02/Paper-to-Upload-Production-and-Characterization-of-Coconut.pdf>
- Benchelah, A. C., & Maka, M. (2006). Les dattes, de la préhistoire à nos jours. *Phytothérapie*, 4(1), 43–47.
- Bennaceur, M., Lanaud, C., Chevallier, M. H., & Bounaga, N. (1991). Genetic Diversity of the Date Palm (*Phœnix dactylifera* L.) from Algeria Revealed by Enzyme Markers. *Plant Breeding*, 107(1), 56–69. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1991.tb00528.x>
- Benzohra, I. E., Megateli, M., & Berdja, R. (2015). Bayoud disease of date palm in Algeria: History, epidemiology and integrated disease management. *African Journal of Biotechnology*, 14(7), 542–550.
- Bhansali, R. R. (2010). Date Palm Cultivation in the Changing Scenario of Indian Arid Zones: Challenges and Prospects. In K. G. Ramawat (Ed.), *Desert Plants* (pp. 423–459). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Retrieved from http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-02550-1_20
- Biasutti, M., & Giannini, A. (2006). Robust Sahel drying in response to late 20th century forcings. *Geophysical Research Letters*, 33(11). Retrieved from <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2006GL026067/full>
- Bibliothèque virtuelle L'agriculture au Sahel. (n.d.). Retrieved May 19, 2016, from <http://www.alloprof.qc.ca/BV/Pages/g1050.aspx>
- Bielders, C. L., Rajot, J.-L., & Michels, K. (2004). L 'érosion éolienne dans le Sahel nigérien: influence des pratiques culturelles actuelles et méthodes de lutte. *Science et Changements planétaires/Sécheresse*, 15(1), 19–32.
- Billotte, N., Marseillac, N., Brottier, P., Noyer, J.-L., Jacquemoud-Collet, J.-P., Moreau, C., ... Risterucci, A.-M. (2004). Nuclear microsatellite markers for the date palm (*Phœnix dactylifera* L.): characterization and utility across the genus *Phœnix* and in other palm genera. *Molecular Ecology Notes*, 4(2), 256–258.

- Bodian, A., Nachtigall, M., Frese, L., Elhoumaizi, M. A., Hasnaoui, A., Ndir, K. N., & Sané, D. (2014). Genetic diversity analysis of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cultivars from Morocco using SSR markers. *Journal of Biodiversity, Bioprospecting and Development*, 2014. Retrieved from <http://www.omicsgroup.org/journals/genetic-diversity-analysis-of-date-palm-phoenix-dactylifera-l-cultivars-from-morocco-using-ssr-markers-2376-0214.1000126.pdf>
- Bodian, A., Ndoeye Ndir, K., Diedhiou, P. M., Borgel, A., Sané, D., & Sagna, M. (2012). Analysis of genetic diversity of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cultivars from Mauritania using microsatellite markers. *International Journal of Science and Advanced Technology*, 2, 36–43.
- Bouguedoura, N. (1979). Contribution à la connaissance du palmier dattier *Phoenix dactylifera* L: étude des productions axillaires. Thèse de Doctorat Troisième Cycle, USTHB, Alger.
- Bouguedoura, N. (1991). Connaissance de la morphogénèse du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.): Etude in situ et in vitro du développement morphogénétique des appareils végétatif et reproducteur.
- Buontempo, C. (2010). Climat sahélien : rétrospective et projections (Rapport d'activité) (p. 19). Met Office Fitz Roy Road Exeter Devon EX1 3PB United Kingdom: Met Office Hadley Centre. Retrieved from <http://www.œcd.org/fr/csao/publications/47093854.pdf>
- Carte Niger | cartes géographiques Afrique | record: Niger. (2016). [http://www.ginkgomaps.com/cartes_niger.html]. Retrieved September 20, 2016, from http://www.ginkgomaps.com/cartes_niger.html
- Category:PHŒNIX - Palmpedia - Palm Grower's Guide. (n.d.). Retrieved September 26, 2016, from <http://www.palmpedia.net/wiki/Category:PHŒNIX>
- CBLT. (2008). onsidération des spécificités régionales. Plan de gestion du bassin du lac Tchad, (p. 288p).
- Chakraborty, R., & Jin, L. (1993). A unified approach to study hypervariable polymorphisms: statistical considerations of determining relatedness and population distances. In *DNA fingerprinting: state of the science* (pp. 153–175). Springer. Retrieved from http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-0348-8583-6_14
- Chaluvadi, S. R., Khanam, S., Aly, M. A., & Bennetzen, J. L. (2014). Genetic diversity and population structure of native and introduced date palm (*Phoenix dactylifera*) germplasm in the United Arab Emirates. *Tropical Plant Biology*, 7(1), 30–41.
- Chao, C. T., & Krueger, R. R. (2007). The date palm (*Phoenix dactylifera* L.): overview of biology, uses, and cultivation. *HortScience*, 42(5), 1077–1082.
- Cherif, E., Zehdi, S., Castillo, K., Chabrillange, N., Abdoukader, S., Pintaud, J.-C., ... Aberlenc-Bertossi, F. (2013a). Male-specific DNA markers provide genetic evidence of an XY chromosome system, a recombination arrest and allow the tracing of paternal lineages in date palm. *New Phytologist*, 197(2), 409–415.

- Cherif, E., Zehdi, S., Castillo, K., Chabrillange, N., Abdoukader, S., Pintaud, J.-C., ... Aberlenc-Bertossi, F. (2013b). Male-specific DNA markers provide genetic evidence of an XY chromosome system, a recombination arrest and allow the tracing of paternal lineages in date palm. *New Phytologist*, 197(2), 409–415. <https://doi.org/10.1111/nph.12069>
- Chillio, L. (1994). Une histoire des famines au Sahel. Étude des grandes crises alimentaires (XIXème - XXème siècles), Boureima Alpha Gado, L'Harmattan, 1993, 201 p. Bulletin de l'APAD, (7). Retrieved from <http://apad.revues.org/2363>
- Daher, A., Adam, H., Chabrillange, N., Collin, M., Mohamed, N., Tregear, J. W., & Aberlenc-Bertossi, F. (2010). Cell cycle arrest characterizes the transition from a bisexual floral bud to a unisexual flower in *Phoenix dactylifera*. *Annals of Botany*, 106(2), 255–266. <https://doi.org/10.1093/aob/mcq103>
- Dai, A., Trenberth, K. E., & Qian, T. (2004). A global dataset of Palmer Drought Severity Index for 1870-2002: Relationship with soil moisture and effects of surface warming. *Journal of Hydrometeorology*, 5(6), 1117–1130.
- Dauzat, J. (1994). Simulation des échanges radiatifs sur maquettes informatiques de *Elaeis guineensis*. *Oléagineux*, 49(3), 81–90.
- Dauzat, J., & Eroy, M. N. (1997). Simulating light regime and intercrop yields in coconut based farming systems. *European Journal of Agronomy*, 7(1–3), 63–74.
- de Grenade, R. (2013). Date palm as a keystone species in Baja California peninsula, Mexico oases. *Journal of Arid Environments*, 94, 59–67. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2013.02.008>
- de Sherbinin, A. (2014). Climate change hotspots mapping: what have we learned? *Climatic Change*, 123(1), 23–37. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0900-7>
- Devanand, P. S., & Chao, C. T. (2003). Genetic variation within “Medjool” and “Deglet Noor” date (*Phoenix dactylifera* L.) cultivars in California detected by fluorescent-AFLP markers. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 78(3), 405–409.
- Di Baldassarre, G., Montanari, A., Lins, H., Koutsoyiannis, D., Brandimarte, L., & Blöschl, G. (2010). Flood fatalities in Africa: From diagnosis to mitigation. *Geophysical Research Letters*, 37(22), L22402. <https://doi.org/10.1029/2010GL045467>
- Dransfield, J., Uhl, N. W., Asmussen, C. B., Baker, J. W., Harley, M. M., & Lewis, C. E. (2008). *Genera Palmarum. The Evolution and Classification of Palms*. Kew: Royal Botanic Gardens Google Scholar.
- Durand, A. (1978). Rapport de mission dans le sud-est du Niger (Document de travail) (p. 65p). Ministère de l'Agriculture.
- Edelin, C. (1977). Images de l'architecture des conifères. Retrieved from <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=FR19900124676>

- Edelin, C. (1984). L'architecture monopodiale: l'exemple de quelques arbres d'Asie tropicale. Retrieved from <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=8444829>
- Elagib, N. A. (2014). Development and application of a drought risk index for food crop yield in Eastern Sahel. *Ecological Indicators*, 43, 114–125. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.02.033>
- Elhoumaizi, M. A., Lecoustre, R., & Oihabi, A. (2002). Phyllotaxis and handedness in date palm (*Phoenix dactylifera* L.). *Fruits*, 57(5–6), 297–303.
- Elshibli, S., & Korpelainen, H. (2008). Microsatellite markers reveal high genetic diversity in date palm (*Phoenix dactylifera* L.) germplasm from Sudan. *Genetica*, 134(2), 251–260. <https://doi.org/10.1007/s10709-007-9232-8>
- Elshibli, S., & Korpelainen, H. (2009). Biodiversity of date palms (*Phoenix dactylifera* L.) in Sudan: chemical, morphological and DNA polymorphisms of selected cultivars. *Plant Genetic Resources*, 7(2), 194–203.
- El-Sohaimy, S. A., Hafez, E. E., & others. (2010). Biochemical and nutritional characterizations of date palm fruits (*Phoenix dactylifera* L.). *J Appl Sci Res*, 6, 1060–1067.
- Ericksen, P., Thornton, P., Notenbaert, A., Cramer, L., Jones, P., & Herrero, M. (2011). Mapping hotspots of climate change and food insecurity in the global tropics. CCAFS Report, 5. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.383.3017&rep=rep1&type=pdf>
- Essa, M., Braid, N., Awlad-Thani, K., Vaishnav, R., Al-Asmi, A., Guillemin, G., ... Subash, S. (2015). Diet rich in date palm fruits improves memory, learning and reduces beta amyloid in transgenic mouse model of Alzheimer's disease. *Journal of Ayurveda and Integrative Medicine*, 6(2), 111. <https://doi.org/10.4103/0975-9476.159073>
- Evanno, G., Regnaut, S., & Goudet, J. (2005). Detecting the number of clusters of individuals using the software STRUCTURE: a simulation study. *Molecular Ecology*, 14(8), 2611–2620.
- FAOSTAT. (2016). FAOSTAT. Retrieved October 11, 2016, from <http://faostat3.fao.org/download/P/PP/F>
- Favreau, G., Nazoumou, Y., Leblanc, M., Guéro, A., Goni, I. B., Treidel, H., ... Gurdak, J. J. (2011a). Groundwater resources increase in the Iullemmeden Basin, west Africa. *Climate Change Effects on Groundwater Resources: A Global Synthesis of Findings and Recommendations*. Retrieved from <http://books.google.com/books?>
- Favreau, G., Nazoumou, Y., Leblanc, M., Guéro, A., Goni, I. B., Treidel, H., ... Gurdak, J. J. (2011b). Groundwater resources increase in the Iullemmeden Basin, west Africa. *Climate Change Effects on Groundwater Resources: A Global Synthesis of Findings and Recommendations*. Retrieved from <https://books.google.fr/books?>

- Foureau, F. (1902). Mission saharienne Foureau-Lamy. D'Alger au Congo par le Tchad. Paris: Masson etc ie. Retrieved from <http://catalog.hathitrust.org/Record/001609413>
- Francis, R. M. (2016). pophelper: an r package and web app to analyse and visualize population structure. Molecular Ecology Resources. <https://doi.org/10.1111/1755-0998.12509>
- Gammoudi, S., Lecoustre, R., & Salah, M. B. (2014). Modeling of Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) Vegetative Aerial Architecture, Example of Two Tunisian Cultivars. Journal of Life Sciences, 8(5). Retrieved from <http://search.proquest.com/openview/7cc6c72fa3d336160123b93a21cb3ffd/1?pq-origsite=gscholar>
- Garde, G. (1911). Description géologique des régions situées entre le Niger et le Tchad et à l'est et au nord-est du Tchad. A. Hermann.
- Gavaud, M. (1977). Les grands traits de la pédogenèse au Niger méridional. Retrieved from <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:09010>
- Godin, C., & Caraglio, Y. (1998). A multiscale model of plant topological structures. Journal of Theoretical Biology, 191(1), 1–46.
- Griffon, S., & de Coligny, F. (2012). AMAPstudio: A software suite for plants architecture modelling. In Plant Growth Modeling, Simulation, Visualization and Applications (PMA), 2012 IEEE Fourth International Symposium on (pp. 141–147). IEEE. Retrieved from http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6524825
- Gros-Balthazard, M. (2013). Hybridization in the genus *Phoenix*: A review. Emirates Journal of Food and Agriculture, 25(11), 831.
- Gros-Balthazard, M., Newton, C., Ivorra, S., Margareta Tengberg, Pintaud, J.-C., & Terral, J.-F. (2013). Origines et domestication du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.). Revue d'ethnoécologie, (4). <https://doi.org/10.4000/ethnoecologie.1524>
- Habib, H. M., & Ibrahim, W. H. (2009). Nutritional quality evaluation of eighteen date pit varieties. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 60(sup1), 99–111.
- Hahn, W. J. (2002). A molecular phylogenetic study of the Palmae (Arecaceae) based on *atpB*, *rbcL*, and 18S nrDNA sequences. Systematic Biology, 51(1), 92–112.
- Hallé, F., & Oldeman, R. (1970). Essai sur l'architecture et la dynamique de croissance des arbres tropicaux. Retrieved from <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:04497>
- Hallé, F., Oldeman, R. A., & Tomlinson, P. B. (1978). Opportunistic Tree Architecture. In Tropical trees and forests (pp. 269–331). Springer. Retrieved from http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-81190-6_4
- Hannachi, S., Benkhalifa, A., Khitri, D., & Brac de La Pierre, R. (1998). Inventaire variétal de la palmeraie Algérienne (Selection et impression). Anep Rouiba Algérie.

- Harouna, H. (2006). Dynamique locale de l'ensablement et évaluation de l'efficacité anti érosive de quelques techniques de fixation des dunes dans le département de Maïné – Soroa (Mémoire de DEA) (p. 80). Université Abdou Moumouni de Niamey.
- Hazzouri, K. M., Flowers, J. M., Visser, H. J., Khierallah, H. S. M., Rosas, U., Pham, G. M., ... Purugganan, M. D. (2015). Whole genome re-sequencing of date palms yields insights into diversification of a fruit tree crop. *Nature Communications*, 6, 8824. <https://doi.org/10.1038/ncomms9824>
- Henderson, S. A., Billotte, N., & Pintaud, J.-C. (2006). Genetic isolation of Cape Verde Island *Phoenix atlantica* (Arecaceae) revealed by microsatellite markers. *Conservation Genetics*, 7(2), 213–223.
- Henry, P. (1955). Note préliminaire sur l'organisation foliaire chez le palmier à huile. *Rev. Gen. Bot*, 62, 127–35.
- Hervé Raymond Rey, L. G. (2001). 2001-07 - 3D numerical pea (*Pisum sativum*) plant model responding to temperature.
- HILGEMAN, R. H. (1954). The differentiation, development and anatomy of the axillary bud, inflorescence and offshoot in the date palm., 6-10.
- Hountondji, Y.-C., Ozer, P., & Nicolas, J. (2004). Mise en évidence des zones touchées par la désertification par télédétection à basse résolution au Niger. *Cybergeog: European Journal of Geography*. Retrieved from <http://cybergeog.revues.org/2761>
- INS. (2013). Le Niger en chiffre (Document de travail) (p. 76). Niamey, Niger : Institut national de la statistique. Retrieved from http://www.stat-niger.org/statistique/file/Affiches_Depliants/Nigerenchiffres2013_versi.pdf
- International Plant Genetic Ressources Institute, I. (2005). Description du palmier dattier (*phoenix dactylifera* L. (Document de travail No. ISBN-10: 92-9046-676-X) (p. 71). Rome, Italie.
- Jahiel, M. (1989). Intérêt et particularités du palmier-dattier dans les zones en cours de désertification : exemple du sud-est du Niger. S.l.
- Jahiel, M. (1993). Effet des récentes perturbations climatiques sur la phéniculture dans le sud-est du Niger. *Science et Changements planétaires/Sécheresse*, 4(1), 7–16.
- Jahiel, M. (1993). Le palmier doum *Hyphaene thebaica* (L.) (Mart.). Flamboyant. Retrieved from <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=FR19960028461>
- Jahiel, M. (1996). Phénologie d'un arbre méditerranéen acclimaté en région tropicale : le dattier au sud du Niger et son appropriation par la Société Manga. Université de Montpellier II, Montpellier.
- Jahiel, M. (1998). Role du palmier dattier dans la securisation fonciere et alimentaire au Sud-Est du Niger. *Secheresse*, 9(2), 167–174.

- Jahiel, M., & Blay, J. C. (1994a). Double-flowering in the date palm in southeast Niger. Fruits (France). Retrieved from <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=FR9601471>
- Jahiel, M., & Blay, J. C. (1994b). La double floraison du palmier dattier dans le Sud-est du Niger. Fruits, 49(2), 111–120.
- Jahiel, M., & Candelier, P. (1991). Le palmier dattier dans le Sud-Est du Niger (cas des cuvettes de Maïné-Soroa). Fruits, 46(1), 83–92.
- JAHIEL, M., & FORTIN, L. (1990). La double floraison du palmier dattier dans le Sud-Est du Niger. Fruits, 45(6), 615–621.
- Jakobsson, M., & Rosenberg, N. A. (2007). CLUMPP: a cluster matching and permutation program for dealing with label switching and multimodality in analysis of population structure. Bioinformatics, 23(14), 1801–1806.
- Jaradat, A. A., & Zaid, A. (2004). Quality traits of date palm fruits in a center of origin and center of diversity. JOURNAL OF FOOD AGRICULTURE AND ENVIRONMENT, 2, 208–217.
- Jubrael, J. M., Udupa, S. M., & Baum, M. (2005). Assessment of AFLP-based genetic relationships among date palm (*Phoenix dactylifera* L.) varieties of Iraq. Journal of the American Society for Horticultural Science, 130(3), 442–447.
- Kumar, S., Stecher, G., & Tamura, K. (2016). MEGA7: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 7.0 for bigger datasets. Molecular Biology and Evolution, msw054.
- Laborie, A. (1999). Réalisation d'une cartographie des sites d'implantation favorables à la culture du palmier dattier au Niger (Document de travail d'un projet) (p. 33). ICRISAT.
- Lê, S., Josse, J., Husson, F., & others. (2008). FactoMineR: An R package for multivariate analysis. Journal of Statistical Software, 25(1), 1–18.
- Lebel, T., Taupin, J.-D., & d'Amato, N. (1997). Rainfall monitoring during HAPEX-Sahel. 1. General rainfall conditions and climatology. Journal of Hydrology, 188, 74–96.
- Lecoustre, R., & De Reffye, P. (1993). AMAP : un modeleur de végétaux, un ensemble de logiciels de CAO/DAO à l'usage des professionnels de l'aménagement et des paysagistes. Revue Horticole Suisse, 66, 142–146.
- Lecoustre, R., & Jaeger, M. (1989). Modelisation de l'architecture et de la geometrie d'Elaeis guineensis Jacq. Document n. 1. Retrieved from <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=FR19900124620>
- Lecoustre, R., Jaeger, M., Quencez, P., Flori, A., & De Reffye, P. (1993). Modélisation de l'architecture et de la géométrie d'Elaeis guineensis. Poster= Elaeis guineensis architecture and geometry modelling. Poster.
- Leduc, C., Favreau, G., & Schröter, P. (2001a). Long-term rise in a Sahelian water-table: The Continental Terminal in south-west Niger. Journal of Hydrology, 243(1), 43–54.

- Leduc, C., Favreau, G., & Schröeter, P. (2001b). Long-term rise in a Sahelian water-table: The Continental Terminal in south-west Niger. *Journal of Hydrology*, 243(1), 43–54.
- Lenormand, C. (1984). Mission d'évaluation des potentialités phénicicoles de la région du Manga. INRAN, Niamey-Niger.
- Liu, K., & Muse, S. V. (2005). PowerMarker: an integrated analysis environment for genetic marker analysis. *Bioinformatics*, 21(9), 2128–2129.
- Ludeña, B., Chabrillange, N., Aberlenc-Bertossi, F., Adam, H., Tregear, J. W., & Pintaud, J.-C. (2011). Phylogenetic utility of the nuclear genes *AGAMOUS 1* and *PHYTOCHROME B* in palms (Arecaceae): an example within Bactridinae. *Annals of Botany*, 108(8), 1433–1444.
- M A. (2013). La production maraîchère et horticole du Niger (Document de travail) (p. 41). Ministère de l'Agriculture.
- Madre, J. F. (2006). Logiciel Mesurim. Académie d'Amiens.
- Mainguet, M., & Reimer, T. O. E. (1998). *Aridity: Droughts and Human Development*. Berlin; New York: Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co. K.
- Mason, S. C. (1915). Botanical characters of the leaves of the date palm used in distinguishing cultivated varieties /by Silas C. Mason.: Mason, Silas C.: Free Download & Streaming. Retrieved March 19, 2015, from <https://archive.org/details/mobot31753000367893>
- May, J. F., & Guengant, J.-P. (2015). Défis démographiques su sahel. 2015, (4206), 19–30.
- Memadji-Le-Allah, S., Gammoudi, S., Rey, H., Ben Salah, M., & Lecoustre, R. (2011). MOdeling of arecaceae architecture, example of phœnix dactylifera-descriptions of the characteristic autocorrelation functions of parameters and of the correlations between some of these parameters. In I International Symposium on Date Palm 994 (pp. 395–412). Retrieved from http://www.actahort.org/books/994/994_42.htm
- Mialet-Serra, I., Dauzat, J., & Auclair, D. (2001). Using plant architectural models for estimation of radiation transfer in a coconut-based agroforestry system. *Agroforestry Systems*, 53(2), 141–149.
- Michel-Dansac, F., & Caubet, A. (2013). L'iconographie et le symbolisme du palmier dattier dans l'Antiquité (Proche-Orient, Égypte, Méditerranée orientale). *Revue d'ethnoécologie*, (4). <https://doi.org/10.4000/ethnœcologie.1275>
- Mirbahar, A. A., Khan, S., Saeed, R., Kauser, N., Jahan, B., & Markhand, G. S. (2014). DNA extraction and optimization from fibrous leaves of some date palm cultivars from pakistan. *fuuast journal of biology*, 4(2), 119.
- Mohamed Ahmed, M. V. O., Bouna, Z. E. O., Mohamed Lemine, F. M., Djeh, T. K. O., Mokhtar, T., & Mohamed Salem, A. O. (2011). Use of multivariate analysis to assess phenotypic diversity of date palm (*Phœnix dactylifera* L.) cultivars. *Scientia Horticulturae*, 127(3), 367–371. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.11.011>

- Munier, P. (1973). Le palmier-dattier. Maisonneuve & Larose.
- Munier, P. (1981). Origine de la culture du palmier-dattier et sa propagation en Afrique. Notes historiques sur les principales palmeraies africaines. IV. Fruits. Retrieved from <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201302180804>
- Munier, P. M. (1963). Prospection phenicicole du territoire de la Republique du Niger. Institut français de recherches fruitières outre-mer.
- Natron. (2016, June 1). In Wikipédia. Retrieved from <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Natron&oldid=126678678>
- Nazoumou, Y., Favreau, G., Adamou, M. M., & Maïnassara, I. (2016a). La petite irrigation par les eaux souterraines, une solution durable contre la pauvreté et les crises alimentaires au Niger ? *Cahiers Agricultures*, 25(1), 15003. <https://doi.org/10.1051/cagri/2016005>
- Nazoumou, Y., Favreau, G., Adamou, M. M., & Maïnassara, I. (2016b). La petite irrigation par les eaux souterraines, une solution durable contre la pauvreté et les crises alimentaires au Niger ? *Cahiers Agricultures*, 25(1), 15003. <https://doi.org/10.1051/cagri/2016005>
- NEWTON, C., GROS-BALTHAZARD, M., IVORRA, S., PARADIS, L., PINTAUD, J.-C., & TERRAL, J.-F. (2013). *Phoenix dactylifera* and *P. sylvestris* in Northwestern India: A Glimpse of their Complex Relationships. *Palms*, 57(1). Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx>
- Odyssé, J. (2015, April 21). Le palmier dattier [Page web]. Retrieved April 21, 2015, from http://www.relais-sciences.org/odj/index.php?page=palmier_dattier
- Osman, A. M. A. (1984). The performance of date palms in the sudan. *Acta Horticulturae*, (143), 231–238. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1984.143.25>
- Ozer, P. (1993). Contribution à l'Etude de la Désertification en Région Sahélienne. Le cas du Niger. Problèmes Posés par les Précipitations et les Lithométéores. Retrieved from <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=BE2014100493>
- Ozer, P., & Erpicum, M. (1995). Méthodologie pour une meilleure représentation spatio-temporelle des fluctuations pluviométriques observées au Niger depuis 1905. *Science et Changements planétaires/Sécheresse*, 6(1), 103–108.
- Ozer, P., Hountondji, Y., Niang, A. J., Karimoune, S., Laminou Manzo, O., & Salmon, M. (2010a). Désertification au Sahel : Historique et perspectives. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 54. Retrieved from <http://orbi.ulg.ac.be/handle/2268/10347>
- Ozer, P., Hountondji, Y., Niang, A. J., Karimoune, S., Laminou Manzo, O., & Salmon, M. (2010b). Désertification au Sahel : historique et perspectives. *Bulletin de La Société Géographique de Liège*, 54, 69–84.
- Panthou, G., Vischel, T., & Lebel, T. (2014). Recent trends in the regime of extreme rainfall in the Central Sahel. *International Journal of Climatology*, 34(15), 3998–4006. <https://doi.org/10.1002/joc.3984>

- Panthou, G., Vischel, T., Lebel, T., Blanchet, J., Quantin, G., & Ali, A. (2012). Extreme rainfall in West Africa: A regional modeling. *Water Resources Research*, 48(8), W08501. <https://doi.org/10.1029/2012WR012052>
- Panthou, G., Vischel, T., Lebel, T., Quantin, G., & Molinié, G. (2014). Characterising the space–time structure of rainfall in the Sahel with a view to estimating IDAF curves. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(12), 5093–5107. <https://doi.org/10.5194/hess-18-5093-2014>
- PASAM. (2007). Les techniques de fixation des dunes (Document de travail). Gouré: ONG Karkara, 20p.
- Peakall, R., & Smouse, P. E. (2012). GenAlEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research—an update. *Bioinformatics*, 28(19), 2537–2539. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bts460>
- PELCO. (2006). Répertoire des cuvettes et bas-fonds de Goure (Document de travail). Gouré.
- Perera, P. I., Hoher, V., Weerakoon, L. K., Yakandawala, D. M. D., Fernando, S. C., & Verdeil, J.-L. (2010). Early inflorescence and floral development in *Cocos nucifera* L.(Arecaceae: Arecoideae). *South African Journal of Botany*, 76(3), 482–492.
- Perez, R. P., Pallas, B., Le Moguédec, G., Rey, H., Griffon, S., Caliman, J.-P., ... Dauzat, J. (2016). Integrating mixed-effect models into an architectural plant model to simulate inter-and intra-progeny variability: a case study on oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Journal of Experimental Botany*, erw203.
- Perrier, X., & Jacquemoud-Collet, J. P. (2006). DARwin software.
- Peyron, G. (2000). Cultiver le palmier-dattier. Editions Quae. Retrieved from <https://books.google.fr/books?>
- Pintaud, J. C., Ludeña, B., Aberlenc-Bertossi, F., Zehdi, S., Gros-Balthazard, M., Ivorra, S., ... Santoni, S. (2013). Biogeography of the date palm (*Phoenix dactylifera* L., Arecaceae): insights on the origin and on the structure of modern diversity. *Acta Horticulturae*. Retrieved from <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201400131514>
- Pintaud, J.-C., Ludeña, B., Aberlenc-Bertossi, F., Zehdi, S., Gros-Balthazard, M., Ivorra, S., ... Bouguedoura, N. (2013). Biogeography of the date palm (*phoenix dactylifera* l., arecaceae): insights on the origin and on the structure of modern diversity. *Acta Hort.* 994, ISHS 2013, 994(994), 19–38.
- Pintaud, J.-C., Zehdi, S., Couvreur, T., Barrow, S., Henderson, S., Aberlenc-Bertossi, F., ... Billotte, N. (2010). Species delimitation in the genus *Phoenix* (Arecaceae) based on SSR markers, with emphasis on the identity of the date palm (*Phoenix dactylifera* L.). *Diversity, Phylogeny, and Evolution in the Monocotyledons*. Aarhus University Press, Denmark, 267–286.
- Pritchard, J. K., Stephens, M., & Donnelly, P. (2000). Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics*, 155(2), 945–959.

- Racchi, M. L., Bove, A., Turchi, A., Bashir, G., Battaglia, M., & Camussi, A. (2014). Genetic characterization of Libyan date palm resources by microsatellite markers. *3 Biotech*, 4(1), 21–32.
- Raj, A., Stephens, M., & Pritchard, J. K. (2013). Variational Inference of Population Structure in Large SNP Datasets. *bioRxiv*, 1073.
- Raymond, M., & Rousset, F. (1995). GENEPOP (version 1.2): population genetics software for exact tests and ecumenicism. *Journal of Heredity*, 86(3), 248–249.
- Rey, H. (2003). Utilisation de la modélisation 3D pour l'analyse et la simulation du développement et de la croissance végétative d'une plante de tournesol en conditions environnementales fluctuantes (température et rayonnement). Montpellier, ENSA. Retrieved from <http://www.theses.fr/2003NSAM0023>
- Rey, H., Dauzat, J., Chenu, K., Barczy, J.-F., Dosio, G. A. A., & Lecœur, J. (2008). Using a 3-D Virtual Sunflower to Simulate Light Capture at Organ, Plant and Plot Levels: Contribution of Organ Interception, Impact of Heliotropism and Analysis of Genotypic Differences. *Annals of Botany*, 101(8), 1139–1151.
- Rey, H., Godin, C., & Guédon, Y. (1997). Vers une représentation formelle des plantes. *Modélisation et Simulation de L'architecture Des Végétaux*, INRA Éditions. INRA Éditions, Paris, 139–174.
- Rey, H., Lecoustre, R., & Dauzat, J. (2010). 35 ans de l'aventure de la modélisation des processus biologiques : de la fécondité du *Coffea robusta* à l'étude des peuplements forestiers naturels et plantés. Retrieved from http://agritrop.cirad.fr/558014/1/document_558014.pdf
- Rhouma, A. (2005). Le palmier dattier en Tunisie I. Le patrimoine génétique, (IPGRI, Vol. 2). Rome, Italie.
- Rhouma, S., Dakhlaoui-Dkhil, S., Salem, A. O. M., Zehdi-Azouzi, S., Rhouma, A., Marrakchi, M., & Trifi, M. (2008). Genetic diversity and phylogenetic relationships in date-palms (*Phoenix dactylifera* L.) as assessed by random amplified microsatellite polymorphism markers (RAMPOs). *Scientia Horticulturae*, 117(1), 53–57.
- Rhouma, S., Zehdi-Azouzi, S., Ould Mohamed Salem, A., Rhouma, A., Marrakchi, M., & Trifi, M. (2007). Genetic diversity in ecotypes of Tunisian date-palm (*Phoenix dactylifera* L.) assessed by AFLP markers. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 82(6), 929–933.
- Rival, A., & Levang, P. (2015). The Oil Palm (*Elaeis guineensis*): Research Challenges Beyond Controversies. *Palms*, 59(1). Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?>
- Roupsard, O. (1997). Ecophysiologie et diversité génétique de *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev.(syn. *Acacia albida* Del.), un arbre à usages multiples d'Afrique semi-aride. Fonctionnement hydrique et efficience d'utilisation de l'eau d'arbres adultes en parc agroforestier et de juvéniles en conditions semi-contrôlées. Tome 1: Partie synthèse.

Université Henri Poincaré-Nancy I. Retrieved from <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00426396/>

- Rousset, F. (2008). genepop'007: a complete re-implementation of the genepop software for Windows and Linux. *Molecular Ecology Resources*, 8(1), 103–106.
- Sahel. (2015, February 22). In Wikipédia. Retrieved from <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Sahel&oldid=112082903>
- Saker, M. M., Adawy, S. S., Mohamed, A. A., & El-Itriby, H. A. (2006). Monitoring of cultivar identity in tissue culture-derived date palms using RAPD and AFLP analysis. *Biologia Plantarum*, 50(2), 198–204.
- Sawaya, W. N., Khalil, J. K., & Safi, W. J. (1984). Chemical composition and nutritional quality of date seeds. *Journal of Food Science*, 49(2), 617–619.
- Sedra, M. (2011). Présentation des principales variétés du palmier dattier au Maroc. INRA, Atlas Du Palmier Dattier Au Maroc. Rabat, 34–100.
- Sedra, M. H. (2011c). La palmeraie Marocaine : un site unique au monde, des potentialités à mieux valoriser pour un défi du futur. *Pack Agro*, (101), 36–40.
- Sedra, M. H., Lashermes, P., Trouslot, P., & Combes, M.-C. (1998). Identification and genetic diversity analysis of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) varieties from Morocco using RAPD markers. *Euphytica*, 103(1), 75–82.
- Shabana, H., Al-Ani, B., & Zaid, A. (2010). On the status of chromosomes of the date palm (*Phoenix dactylifera* L.). In IV International Date Palm Conference 882 (pp. 253–268). Retrieved from http://www.actahort.org/books/882/882_28.htm
- SIGNER sur InterNet. (n.d.). Retrieved May 29, 2016, from <http://www.intnet.ne/projet1.html>
- Sperling, O., Shapira, O., Tripler, E., Schwartz, A., & Lazarovitch, N. (2014). A model for computing date palm water requirements as affected by salinity. *Irrigation Science*, 32(5), 341–350.
- Swingle, W. T. (1928). Metaxenia in the date palm possibly a hormone action by the embryo or endosperm. *Journal of Heredity*, 19(6), 257–268.
- Team, R. C. (2014). A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. Austria 2014.
- Tengberg, M. (2012). Beginnings and early history of date palm garden cultivation in the Middle East. *Journal of Arid Environments*, 86, 139–147.
- Terral, J.-F., Newton, C., Ivorra, S., Gros-Balthazard, M., de Morais, C. T., Picq, S., ... Pintaud, J.-C. (2012). Insights into the historical biogeography of the date palm (*Phoenix dactylifera* L.) using geometric morphometry of modern and ancient seeds. *Journal of Biogeography*, 39(5), 929–941. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2011.02649.x>

- Thébaud, B., & Batterbury, S. (2001). Sahel pastoralists: opportunism, struggle, conflict and negotiation. A case study from eastern Niger. *Global Environmental Change*, 11(1), 69–78.
- Thomas, R. L., Chan, K. W., & Easau, P. T. (1969). Phyllotaxis in the oil palm: arrangement of fronds on the trunk of mature palms. *Annals of Botany*, 33(5), 1001–1008.
- Tidjani, A. D. (2008). Erosion éolienne dans le Damagaram Est (Sud-Est du Niger): Paramétrisation, quantification et moyens de lutte. These de Doctorat. Univ. Catholique de Louvain, 171.
- Tomlinson, P. B., & HE, M. (1968). Inflorescence in *Nannorrhops ritchiana* (Palmae). *J. Arnold Arbor*, 49, 16–34.
- Tomlinson, P. B., & others. (1990). The structural biology of palms. Oxford University Press.
- Toutain, G., Dollé, V., & Ferry, M. (1989). Situation des systèmes oasiens en régions chaudes. *Cahiers de La Recherche Développement*, (22). Retrieved from http://cahiers-recherche-developpement.cirad.fr/revue/notice_fr.php?dk=428016
- Uhl, N. W., Dransfield, J., Davis, J. I., Luckow, M. A., Hansen, K. S., & Doyle, J. J. (1995). *Phylogenetic relationships among palms: cladistic analyses of morphological and chloroplast DNA restriction site variation*. Retrieved from <http://www.citeulike.org/group/10893/article/8435325>
- Valladares, F., & Brites, D. (2004). Leaf phyllotaxis: Does it really affects light capture? *Plant Ecology*, 174(1), 11–17.
- Vashishtha, B. B. (2003). Date palm culture in India. In *The Date Palm: From Traditional Resource to Green Wealth*. (Abu Dhabi, pp. 227–240). The Emirates Center for Strategic Studies and Research.
- Weir, B. S., & Cockerham, C. C. (1984). Estimating F-statistics for the analysis of population structure. *Evolution*, 1358–1370.
- Yin, Y., Zhang, X., Fang, Y., Pan, L., Sun, G., Xin, C., ... others. (2012). High-throughput sequencing-based gene profiling on multi-staged fruit development of date palm (*Phoenix dactylifera*, L.). *Plant Molecular Biology*, 78(6), 617–626.
- Yusuf, A. O., Culham, A., Aljuhani, W., Ataga, C. D., Hamza, A. M., Odewale, J. O., & Enaberue, L. O. (2015). Genetic diversity of Nigerian date palm (*Phoenix dactylifera*) germplasm based on microsatellite markers. *J BioSci Biotechnol*, 7, 121–32.
- Zaid, A., Arias Jiménez, E. J., & others. (1999). Date palm cultivation.
- Zaid, A., & De Wet, P. F. (1999). Chapter I botanical and systematic description of date palm. *FAO Plant Production and Protection Papers*, 1–28.
- Zakari, M. (1985). Contribution à l’histoire des populations du Sud-Est nigérien. Le cas du Mangari(XVI-XIX s.). Retrieved from <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=12169020>

- Zango, O. (2012). Modélisation de l'inflorescence femelle du palmier dattier : relation avec la phénologie et la production (Mémoire de Master 2) (p. 20). Université Montpellier 2.
- Zango, O., Littardi, C., Pintaud, J. C., & Rey, H. (2013). Comparative study of architecture and geometry of the date palm male and female's inflorescences. *Acta Horticulturae*. Retrieved from <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201400131530>
- Zango, O., Rey, H., Bakasso, Y., Lecoustre, R., Aberlenc, F., & Pintaud, J.-C. (2016). Local Practices and Knowledge Associated with Date Palm Cultivation in Southeastern Niger. *Agricultural Sciences*, 7(9), 586–603. <https://doi.org/10.4236/as.2016.79056>
- Zehdi-Azouzi, S., Cherif, E., Rhouma, S., Santoni, S., Hannachi, A. S., & Pintaud, J. C. (2012). Molecular polymorphism and genetic relationships in date palm (*Phoenix dactylifera* L.): The utility of nuclear microsatellite markers. *Scientia Horticulturae*, 148, 255–263.
- Zehdi-Azouzi, S., Sakka, H., Rhouma, A., Salem, A. O. M., Marrakchi, M., & Trifi, M. (2004). -Analysis of Tunisian date palm germplasm using simple sequence repeat primers. *African Journal of Biotechnology*, 3(4), 215–219.
- Zehdi-Azouzi, S., Cherif, E., Guenni, K., Abdelkrim, A. B., Bermil, A., Rhouma, S., ... Hannachi, A. S. (2016). Endemic insular and coastal Tunisian date palm genetic diversity. *Genetica*, 144(2), 181–190. <https://doi.org/10.1007/s10709-016-9888-z>
- Zehdi-Azouzi, S., Cherif, E., Moussouni, S., Gros-Balthazard, M., Abbas Naqvi, S., Ludeña, B., ... Aberlenc-Bertossi, F. (2015). Genetic structure of the date palm (*Phoenix dactylifera*) in the Old World reveals a strong differentiation between eastern and western populations. *Annals of Botany*, 116(1), 101–112. <https://doi.org/10.1093/aob/mcv068>
- Zhang, G., & Cook, K. H. (2014). West African monsoon demise: Climatology, interannual variations, and relationship to seasonal rainfall. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 119(17). <https://doi.org/10.1002/2014JD022043>

ANNEXES

Annexes

Pour Annal of Botany Journal**Titre : Double floraison ou changement de comportement chez le dattier au Sahel.****Auteurs : Zango O^{1&4}., Savadogo P²., Abdousalam S.², Rey H¹., Lecoustre R¹., Aberlenc-Bertossi F³ and Bakasso Y⁴**

1 CIRAD, AMAP, F-34038, Montpellier, Cedex 5 France

2 UAM, FST, BP: 10662, Niamey, Niger

3 IRD, DIADE, F-34394 Montpellier, France Cedex 5

4 ICRISAT, BP : 12404, Niamey-Niger

Résumé

Le sahel est considéré comme une zone marginale de production des dattes. Néanmoins, le dattier connaît deux campagnes de production au Sahel. Pour approfondir nos connaissances sur le comportement du dattier au sahel, nous avons entrepris une observation minutieuse des inflorescences des palmeraies au Sud-est du Niger et de la plantation de l'ICRISAT au Sud-Ouest du pays. Nos résultats montrent une influence du climat sahélien sur le cycle reproducteur du dattier. Toutefois, cette influence serait bénéfique pour la production des dattes. En effet, les bourgeons sensés avortés entre deux séquences de production successives, peuvent se développer pendant la première ou la deuxième campagne pour donner des régimes. Cette efficience d'utilisation des bourgeons chez le dattier augmenterait la quantité des dattes produites par plante et par an et par conséquent le revenu tiré de la culture des dattes.

Introduction

Le sahel est la bande de territoires qui marquent la transition, à la fois floristique et climatique, entre le domaine saharien au Nord et le domaine soudanien au Sud. Le climat sahélien est caractérisé par une saison unique de pluies de juin à septembre (200 à 500mm ; "Sahel", 2015) et une température annuelle moyenne de 28°C. Le Sahel est considéré comme un point névralgique du changement climatique avec une grande vulnérabilité sociale et environnementale (de Sherbinin, 2014). Cependant les espèces du Sahara, de grande plasticité phénologique comme le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L., Munier, 1973; Pintaud *et al.*, 2013), peuvent tirer profit de ce changement.

Le palmier dattier est une plante à usages multiples (Routson, 2012 ; De Grenade, 2013) ; principalement cultivé pour ses fruits, cette espèce a une grande importance socioéconomique sur la Péninsule Arabique, en Afrique du Nord, et au Moyen-Orient (Chao and Krueger 2007; Dransfield *et al.*, 2008). Elle a été introduite dans de nombreuses régions du monde, dont l'Asie, l'Australie, les Etats-Unis, l'Espagne, et est présente dans le Sahel, notamment au Niger, Mali, Tchad, Mauritanie, Djibouti (Munier, 1973; Daher, 2010).

Le palmier dattier est une plante monocotylédone à croissance continue (Hallé et Oldeman, 1970). La structure entière de la plante est édifiée par un seul méristème apical primaire (Edelin, 1984). Elle est composée d'un stipe surmonté d'une couronne constituée de longues palmes (3 à 6m) et d'inflorescences (Munier, 1973 ; Bouguedoura, 1980 ; Zango *et al.*, 2013). Les inflorescences du palmier dattier naissent du développement de bourgeons

axillaires indéterminés (Bouguedoura, 1991 ; Barthélémy et Caraglio, 2007) situés à l'aisselle des palmes dans la région coronaire du stipe (Tomlinson, 1990 ; Uhl et Dransfield, 1987). L'inflorescence est enveloppée dans une seule bractée membranaire ou spathe. Aucune bractée pédonculaire ou florale n'est connue chez le dattier (Mason, 1915, Hilgenman 1951, Uhl et Dransfield, 1987). Hilgenman (1951) Bouguedoura (1991), Jahiel et Blay (1994) et Zango *et al.*, (2013) démontrent la présence d'un seul bourgeon à l'aisselle de chaque palme, mais aussi l'existence de 2 à 5 bourgeons avortés entre deux séquences de production successives.

Le palmier dattier est une espèce thermophile, ses activités végétatives et reproductives se manifestent respectivement à partir de +10° et +18°C (Peyron, 2000). Selon Munier (1973) et Peyron (2000) l'intensité maximale de végétation du palmier dattier est atteinte au voisinage de 30°C et décroît entre 38 à 40°C, alors qu'il peut supporter des températures très élevées jusqu'à 56°C pourvu que ses besoins en eau soient satisfaits. Dans sa zone traditionnelle, le palmier dattier produit des fruits une seule fois par l'année (A. Zaid & De Wet, 1999). Cependant, les dattiers du sahel produisent de plus en plus 2 fois l'année (Munier, 1963 ; Hauray, 1984 ; Jahiel et Fortin 1990 ; Chao & Krueger, 2007 ; Daher, 2010). Les deux campagnes bien distinctes dans la partie sahélienne du Niger, sont qualifiées par Jahiel (1996) de première campagne ou campagne atypique, la campagne qui se déroule en saison sèche (de septembre à mars), et de seconde campagne ou campagne typique, la campagne qui se déroule jusqu'en saison des pluies (Janvier-juin).

Munier (1963) pensait que la double floraison observée chez le palmier dattier au sahel était surtout liée aux conditions climatiques notamment la température, Lenormand (1984), la liait plutôt à la variété du dattier alors que Jahiel et Fortin (1990) liaient ce phénomène plutôt à la température, mais aussi à l'âge des palmiers. Dans ce papier, seront traités ce phénomène de double floraison et les modifications du développement inflorescentiel qui l'accompagne.

Matériels et Méthodes

Sites de l'étude

L'étude s'est déroulée dans deux sites différents : le Manga au Sud-est du Niger et la station de recherche ICRISAT au Sud-ouest du pays.

Le Manga (13°20' et 13°55'N et 9°50' et 11°50'E) est un vaste territoire au sud-est du Niger (Figure 1) dont le relief est constitué d'un vaste plateau sableux de 300 à 400 m d'altitude (Ambouta, 2006). Ce territoire est caractérisé par un climat sahélien avec une saison unique de pluie de Juin à Septembre et une pluviométrie annuelle moyenne de 329 mm (moyenne sur 65 ans, 1950 à 2015, station de Gouré). La température annuelle moyenne est de 28°C. Ce plateau est constellé de cuvettes et de bas-fonds qui auraient pour origine le réseau d'écoulement de cours d'eaux temporaires autrefois affluents du lac Tchad. Les cuvettes, petites dépressions oasiennes d'une profondeur de l'ordre de 10 m hébergeant le dattier, sont les seules terres fertiles de la région (Ambouta, 2006).

La station de recherche de l'ICRISAT est située à Sadoré (13°13'N et 2°17'E), à 45 km au Sud-ouest de la ville de Niamey, capitale du Niger (Figure 1). Les sols sont sablonneux, friables, rougeâtres, naturellement pauvres en matières organiques et peu fertiles (Nicou, 1993). Le climat de région est également caractérisé par une saison unique des pluies qui dure de juin à septembre. La pluviométrie annuelle est en moyenne de 556 mm de 1998 à 2014 (ICRISAT Mét). Comme au Sud-est du pays, les autres mois de l'année sont secs.



Figure 1 : Sites visités pour ces travaux (carte de Jahiel, 1993).

Matériel végétal

Le matériel végétal est composé des palmiers dattiers de 14 cuvettes dans le Manga, et d'une plantation des palmiers dattiers en conditions expérimentales sur la station ICRISAT. Relevons à ce niveau que les palmiers du Manga sont issus des graines dont on ignore encore la diversité génétique et l'origine de provenance, alors que les palmiers de la station sont composés de deux cultivars (Barhee originaire d'Iraq et Medjool originaire du Maroc, tous 2 provenant de vitro-plants). En plus les dattiers du Manga sont majoritairement vieux (environ 30 ans), alors que la plantation de l'ICRISAT date de 2003.

Méthodologie

La méthodologie privilégiée pour ce travail est l'observation minutieuse de la palmeraie, du palmier et de ses différents organes. Au cours de cette étape, nous comptons le nombre de palmiers en floraison, le nombre d'inflorescences émises par plante et le nombre d'épillets par inflorescence ; nous observons la position des inflorescences de la campagne en cours par rapport à celle des régimes déjà récoltées et nous mesurons la longueur des inflorescences et d'épillets. A chaque passage des photos permettant de mémoriser le stade en cours du développement du palmier et de la palmeraie sont prises. Les autres matériels utilisés sont : une échelle rétractable de 4.1m de long pour accéder accessibles et une paire de jumelles pour observer des couronnes plus en hauteur.

Résultats

Double floraison

Un peu plus de 45% des palmiers productifs ont effectuée deux cycles de production en 2014 et 2015 dans la région du Manga au Sud-est du Niger. 5 pieds du cultivar 'Barhee' soit 2,52% de l'effectif total ont effectué la double floraison en 2014 et en 2015. De ces 5 pieds, 3 l'ont fait pour l'année 2014 et l'ont repris pour l'année 2015, alors que les deux autres qui l'ont fait 2014 sont restés au repos en 2015. 2 autres pieds restés au repos en 2014, ont montré cette capacité de double floraison en 2015. Ce qui maintient le nombre de pieds ayant effectué la double floraison en 2014 et 2015 à 2,5% des pieds de la Barhee. Par ailleurs en 2014 un pied de Medjool soit 1% de population de Medjool avait lui aussi doublement fleuri même s'il est resté au repos pendant la première campagne de l'année 2015.

Le nombre d'inflorescences et d'épillets produits durant la première campagne est nettement inférieur à celui produit pendant la seconde campagne dans la station ICRISAT (tableau 1, figure 2). De même, les inflorescences et des épillets produits pendant la première campagne sur la station ICRISAT sont 2 à 3 fois plus petits et nettement moins vigoureux que ceux produits pendant la seconde campagne (tableau 1, figure 2). Cependant au sud-est du Niger dans le Manga, il n'y a pratiquement aucune différence en taille ou vigueur d'inflorescences et d'épillets (tableau 1, figure 3). De même le nombre d'épillets est sensiblement le même entre les deux campagnes (figure 3). Cependant, le nombre d'inflorescences par plante qui est de 2 fois plus important au cours de la seconde campagne par rapport à la première (tableau 1, figure 3) au Manga et cela est d'ailleurs valable pour la station ICRISAT.

Tableau 1 : Longueur et nombres d'inflorescences et d'épillets par campagne

Site	Campagne	Nombre d'inflorescence par pied	Longueur du pédoncule	Longueur du rachis	Nombre d'épillets
ICRISAT	1ère campagne	4	41	21	28
	2ème campagne	8	123	26	74
Manga	1ère campagne	6	94	36	92
	2ème campagne	12	96	30	71

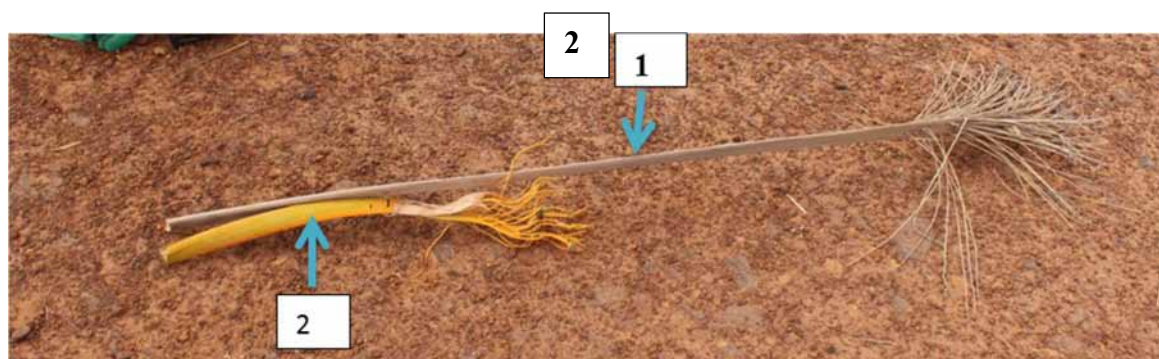


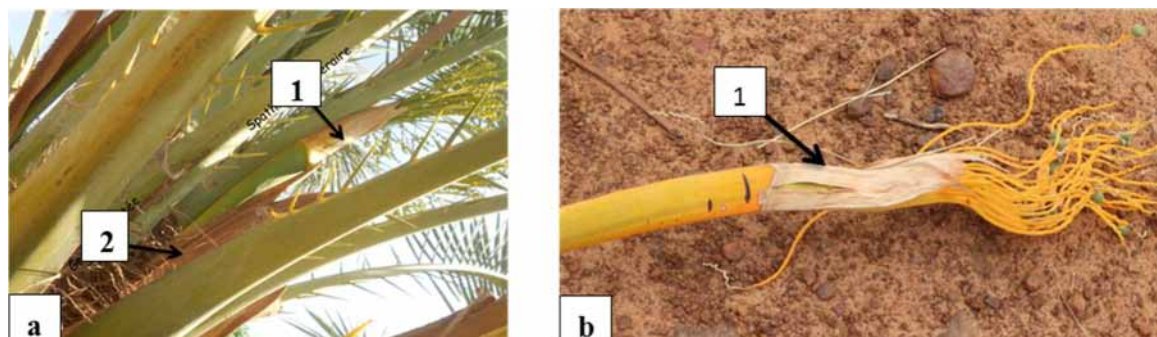
Figure 2: Ancien régime (a) récolté de la seconde campagne en haut (plus long) et inflorescence de la première campagne (b) en bas plus court sur la station ICRISAT.



Figure 3 : Deux inflorescences de stade différent sur le même pied au 12 mars 2016. (a) Inflorescence produite pendant la première campagne portant des fruits verts et (b) Inflorescence produite au cours de la seconde campagne en nouaison au Sud-est du Niger.

Production de la double bractée

Une bractée pédonculaire est observée chez un pied de 'Barhee' au niveau du début de ramification de l'axe principale de l'inflorescence en 2014 (figure 4a1). De même en 2015 cette même bractée pédonculaire est aussi observée chez un autre pied de 'Barhee' (figure 4b1). Cependant cette bractée n'est pas observée sur les régimes produits pendant la seconde campagne de production sur les mêmes individus. Cette bractée est très différente en taille et



en vigueur de la grande bractée (figure 4a2) basale qui enveloppe l'inflorescence dans sa globalité. La bractée pédonculaire semble envelopper uniquement les épillets (figure 4a1&b1).

Figure 4 : Production surnuméraire d'une spathe dans la palmeraie de la station expérimentale ICRASAT de Sadoré. (1) Bractée pédonculaire et (2) bractée couvrant l'inflorescence.

Développement du bourgeon en dessous des régimes matures

Des bourgeons situés en dessous des régimes déjà récoltés ont donné des inflorescences dans les deux sites visités (figure 5 a1&b1). D'ailleurs la majeure partie des inflorescences produites pendant la première campagne sur la station d'ICRISAT sont issus de ces genres de bourgeons (figure 5a1). La figure 5b1 nous montre aussi développement des bourgeons en bas des régimes récoltés au Manga, cependant c'est les inflorescences de la seconde campagne qui sont issues du développement de ces types de bourgeons sur cette figure. Ainsi, ce phénomène aussi intéressant à décrire concerne les inflorescences de la première et la seconde campagne.

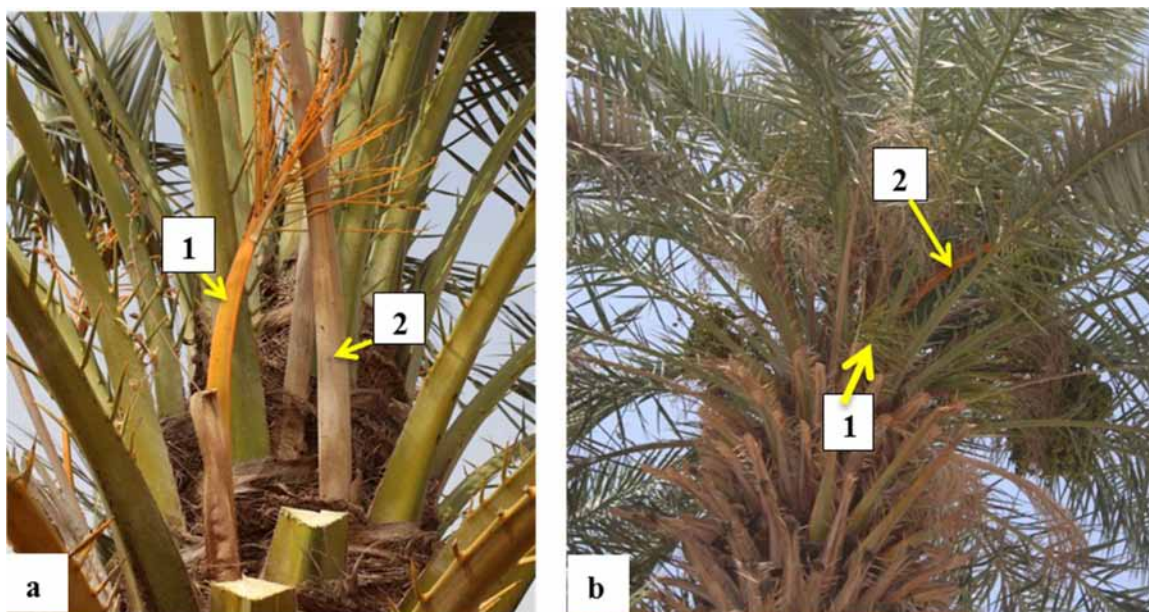


Figure 5 : Développement des bourgeon en dessous des régimes déjà récolte pour le cas de l'ICRISAT (a) et des inflorescences agé de la première campagne (b). (a1) & (b2) sont des inflorescences de la première 2015/2016, (a2) régime récolté de la seconde campagne 2014/2015 et (b2) inflorescence en pleine développement de la seconde campagne 2015/2016.

Discussion

Le climat sahélien influence le cycle reproducteur du palmier dattier au sahel. En effet au cours de nos observations, deux cultivars 'Medjool' et 'Barhee' en conditions expérimentales sahéliennes ont produit 2 fois l'année. Ce phénomène n'a jamais été notifié pour ces cultivars dans leur zone traditionnelle (A. Zaid & De Wet, 1999). Nos résultats, confirment les conclusions de travaux de Jahiel (1996), qui affirme que la double floraison des palmiers est liée à la température c'est-à-dire à l'environnement sahélien. Par ailleurs, nos résultats sont en contradiction avec les conclusions des travaux de Lenormand (1984) dans la station de recherche de Bankoukou au Sud-Ouest du Niger (Sahel), où il lie le phénomène de la double floraison au caractère génétique du dattier. Ainsi, le phénomène double floraison n'est pas forcément lié au caractère génétique d'un cultivar (Munier, 1963), même s'il serait possible que les conditions climatiques sahéliennes ont déclenché un système de mutation génétique chez le palmier dattier.

En soutenant l'hypothèse de Jahiel (1996), selon laquelle les palmiers âgés présentent plus le phénomène de double floraison, on peut croire que les plants de 'Barhee' et de 'Medjool' introduits au Sahel il y a moins d'une quinzaine d'années n'auraient pas encore acquis la capacité de produire des inflorescences vigoureuses au cours de la première campagne comme leurs homologues du Manga, qui étaient installés il y a près de 100ans. Par ailleurs, la production de la bractée pédonculaire constatée uniquement sur les inflorescences de la première campagne peut s'expliquer comme étant une réaction de ces plantes face aux nouvelles conditions environnementales. En effet, au lieu de produire un nombre important d'épillets, la plante transforme certains épillets en bractée. On peut aussi émettre l'hypothèse d'un caractère primitif disparu au cours de la domestication du dattier, car une bractée pédonculaire similaire est connue chez *Sommieria leucophylla* (Heatubun, 2002), un palmier non cultivé de la nouvelle Calédonie, même si cette espèce est phylogénétiquement éloignée du dattier.

Par ailleurs, une certaine efficacité du développement des inflorescences est mise en évidence chez le dattier au Sahel par rapport à son homologue du Sahara. En effet, les bourgeons émergés en dessous des régimes déjà récoltés (toute campagne confondue) proviennent probablement des bourgeons intercalant deux séquences de production que Hilgenman (1951), Bouguedoura (1991), Jahiel (1996) et Zango (2013) croyaient avortés. Par conséquent, les conditions climatiques du sahel permettent au dattier de maintenir actifs tous ses bourgeons, qui émergent dès que les conditions deviennent favorables.

Conclusion

En conclusion, nous venons de voir que les conditions climatiques influencent le développement du dattier au Sahel. Néanmoins, sa plasticité phénologique lui permet de s'adapter à ces conditions. Cette influence est d'un apport positif dans la production des dattes d'autant plus qu'elle augmente l'efficacité de développement des bourgeons inflorescentiels, ce qui augmenterait en conséquence la production des dattes par unité de plante et par an. En perspective, il serait intéressant de disséquer ces genres de palmiers pour bien caractériser ce phénomène.

Références bibliographiques

- Ambouta K. J. M. 2006. “ Caractérisation Des Sols Des Cuvettes et Bas-Fonds de La Zone D'intervention Du Projet PLECO : Possibilités D'exploitation Agricole et de Valorisation.” Document de travail d'un projet (PLECO), Gouré, 35p
- Barthélémy D. & Caraglio Y., 2007. “Plant Architecture”: A dynamic, multilevel and comprehensive approach to plant form, structure and ontogeny”, *Annals of Botany*, **99**: 375-407.
- Bouguedoura N., 1980. Morphologie et ontogenèse des productions axillaires du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.), *Compte Rendu de l'Académie des Sciences*, **291**: 857-860.
- Bouguedoura N., 1991. Connaissance de la morphogénèse du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.). Etude *in situ* et *in vitro* du développement morphogénétique des appareils végétatif et reproducteur, Thèse d'état, spécialisation en sciences biologiques, U.S.T.H.B. Alger, U.R.Z.A. d'Alger et CIRAD Montpellier, 201p.
- Chao, C. T., & Krueger, R. R., 2007. The date palm (*Phoenix dactylifera* L.): overview of biology, uses, and cultivation. *HortScience*, 42(5), 1077–1082.
- Daher A., 2010. Détermination du sexe chez le palmier dattier : Approches histo-cytologiques et moléculaires, Thèse de doctorat, sciences biologiques, UM2, IRD Montpellier et CERD Djibouti, 146p.
- Daher, A., Adam, H., Chabrillange, N., Collin, M., Mohamed, N., Tregear, J. W., & Aberlenc-Bertossi, F., 2010. Cell cycle arrest characterizes the transition from a bisexual floral bud to a unisexual flower in *Phoenix dactylifera*. *Annals of Botany*, 106(2), 255–266.
- De Grenade R., 2013. Date palm as a keystone species in Baja California peninsula, Mexico oases, *Journal of Arid Environments* 94: 59-67
- De Sherbinin, A., 2014. Climate change hotspots mapping: what have we learned? *Climatic Change*, 123(1), 23–37.
- Dransfield J., Uhl N. W., Asmussen C. B., Baker W. J., Harley M. M. & Lewis C. E., 2008. *Genera palmarum: the evolution and classification of palms*, Royal botanic gardens, London, 732p.
- Edelin C., 1984. L'architecture monopodiale: exemple de quelques arbres d'Asie tropicale, Thèse d'Etat, sciences biologiques, UM2, laboratoire de botanique du professeur

- Hallé F. & Oldeman R.A.A., 1970. *Essai sur l'architecture et la dynamique de croissance des arbres tropicaux*, Masson, Paris, 178p.
- Haury A., 1982. "Etude du comportement du palmier dattier au Niger : Bonkougou, Dallol-Bosso", *fruits*, 37 (10).627-633.
- Heatubun Ch.D., 2002. A Monograph of *Sommieria* (Arecaceae). *Kew Bulletin*, Vol. 57, No. 3, 599-611.
- Hilgeman R. H., 1951. The différenciation, growth and anatomy of the axis, leaf, axillary bud, inflorescence and offshoot in *Phœnix dactylifera* L., Thèse doctorat en science biologiques, Université de Californie, USA, 135p.
- Jahiel M., 1996. Phénologie d'un arbre Méditerranéen acclimaté en région tropicale : le dattier du sud de Niger et son appropriation par la société Manga, Thèse de doctorat, science biologie et écologie, UM2, INRAN Niger et CIRAD-Flhor, 268p.
- Jahiel M., & Fortin, L., 1990. "La double floraison du palmier dattier dans le Sud-Est du Niger". *Fruits*, 45(6), 615-621.
- Jahiel M. & Blay J. C., 1994. Double flowering in the date palm in southeast Niger, *fruits*, **49**: 110-120.
- Mason S. C., 1915. Botanical characters of the leaves of the date palm used in distinguishing cultivated varieties, bulletin N°223 of the U.S. department of agriculture, Washington, 28p.
- Lenormand C., 1984. "Mission d'évaluation des potentialités phénicicoles de la région du Manga, INRAN, Niamey-Niger, 74p.
- Munier P., 1963. "Prospection phœnicicol du territoire de la republique du Niger", Paris (France): CIRAD/IRFA, 38p.
- Munier P., 1973. *Le palmier dattier*, Maisonneuve & Larose, Paris, 221p.
- Nicou, R., Charreau, C., & Chopart, J.-L., 1993. Tillage and soil physical properties in semi-arid West Africa. *Soil and Tillage Research*, 27(1-4), 125-147.
- Peyron G., 2000, *Cultiver le palmier dattier : Guide illustré de formation*, quae GRIDAO, CIRAD, Djibouti, 110p.
- Pintaud J. C., Ludeña B., Aberlenc-Bertossi F., Zehdi S., Gros-Balthazard M., Ivorra S., Terral J. F., et al. 2013. "Biogeography of the Date Palm (*Phœnix Dactylifera* L., Arecaceae): Insights on the Origin and on the Structure of Modern Diversity." *Acta Horticulturae*.
- Routson, R. J. (2012). Conservation of agro-biodiversity in Baja California Oases. Sahel. (2015, February 22). In Wikipédia. Retrieved from <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Sahel&oldid=112082903>, consulté 2015-03-02 14:19:02
- Tomlinson, P.B., 1990. *The Structural Biology of Palms*, Oxford Science Publications, London.
- Uhl N. W. & Dransfield J., 1987. *Genera palmarum*, Allen Press, Lawrence, Kanas, 610p.
- Zaid, A., & De Wet, P. F. (1999). Chapter I botanical and systematic description of date palm. *FAO Plant Production and Protection Papers*, 1-28.
- Zango O., Littardi C., Pintaud J. C. and Rey H. 2013. "Comparative Study of Architecture and Geometry of the Date Palm Male and Females Inflorescences." *Acta Horticulturae*. 994, 175-192.

Fiche d'enquête

Date / __ / __ / 20__ / __ __ __ **Nom de l'enquêteur** __ __ __ __ __ __ __ __ __ __

Identité du site

1. Village __ __ __ __ __ commune __ __ __ __ __ département __ __ __ __ __ région __ __ __ __ __

2. Latitude __ __ __ __ __ longitude __ __ __ __ __ altitude __ __ __ __ __

Identité d'exploitant

3. Nom de l'exploitant __ __ __ __ __ Sexe __ Age __ Ethnie __ __ __ __ __

Situation des palmeraies

4. Phœniciculteur __ __ __ __ __ oui ☐ non ☐

Si oui, depuis combien d'années ? __ __ __ __ __

5. Nombre de palmeraies __ __ __ __ __ Nombre de pieds total __ __ __ __ __

6. Nombre de pieds femelle en production __ __ __ __ __ Nombre de pieds males en production __ __ __ __ __

7. Age adulte moyen d'un palmier __ __ __ __ __

Variétés ou cultivars

8. Combien de variétés avez-vous ? __ __ __ __ __

9. Noms locaux de vos variétés __ __ __ __ __

__ __ __ __ __

__ __ __ __ __

__ __ __ __ __

10. Quels critères utiliserez-vous pour identifier les variétés __ __ __ __ __

__ __ __ __ __

__ __ __ __ __

__ __ __ __ __

11. Variété la plus précoce __ __ __ __ __

12. Variété la plus tardive __ __ __ __ __

13. Variété la plus productive __ __ __ __ __

14. Variété la plus prisée __ __ __ __ __ raisons __ __ __ __ __

__ __ __ __ __

15. De toutes ces variétés, laquelle préférez-vous _____
raisons _____

Architecture des plantes

16. Faites-vous de différence de formes de couronne ? _____ oui ☐ non ☐

Si oui, les noms : _____

17. Faites-vous de différence de formes de palmes ? _____ oui ☐ non ☐

Si oui, les noms _____

18. Faites-vous de différence de formes d'inflorescences ? _____ oui ☐ non ☐

Si oui, les noms _____

19. Forme qui produit plus en quantité ou en qualité _____

forme couronne _____ quantité : _____ qualité : _____

forme palme _____ quantité : _____ qualité : _____

forme inflorescence _____ quantité : _____ qualité : _____

20. Entre un palmier touffu et aéré, lequel produit plus _____ touffu ☐ aéré ☐

Traitements

21. Multiplication des palmiers _____ semis ☐ rejet ☐ naturelle ☐

22. A quel moment élaguer les plantes ? _____ au repos ☐ en production ☐

23. Faites-vous de la pollinisation artificielle _____ oui ☐ non ☐

Si oui, comment ? _____ introduction d'épillet ♂ dans l'inflorescence ♀ ☐

introduction des inflorescences ♂ dans la couronne ♀ ☐

poudrage du pollen sur l'inflorescence ♀ ☐

24. Réduisez-vous les inflorescences ou les épillets sur la plante _____ oui ☐ non ☐

Si oui, pourquoi ? _____

25. Nombre d'inflorescences ou d'épillets à laisser sur la plante _____

26. Que devient les inflorescences ou les épillets enlevés _ fourrage ☐ combustible ☐
autres ☐ (préciser) _____

Production

27. Nombre de récoltes par an _____ 1 ☐ _____ 2 ☐ _____

28. Mois de début _____ moi de fin _____ de 1ère campagne de production

29. Mois de début _____ mois de fin _____ de 2ème campagne de production

30. Durée de la floraison ____ 1^{ère} C ☐ _____ 2^{ème} C ☐ _____ (mois)

31. Quelle est la période la plus productive _____

32. Nombre de palmiers/10 qui font la double floraison _____

33. A quelle stade les dattes sont consommer ou vendu _____ bien mûr et sec ☐
bien mûr mole ☐ fruit jaune ☐ fruit vert ☐

34. Quantité moyenne produite/plante/campagne _____

Usages du palmier dattier (avec non producteur sauf N° 36 et 40)

35. Quelles sont les usages des dattes ____ consommation ☐ commerce ☐
fourrage ☐ culturel ☐

36. Proportion de dattes vendues (/10kg) _____

37. Transformez-vous les dattes avant la consommation ____ Oui ☐ Non ☐

Si oui, type de transformations _____ sirop ☐ bouillie ☐
patte ☐ autres (précisez) ☐

38. Prix d'un sac de 100kg de date au cours de la 1^{ère} campagne _____

39. Prix d'un sac de 100kg de date au cours de la 2^{ème} campagne _____

40. Usages du revenu phénicicole _____

41. Quelle sont les autres usages du palmier dattier à part la production des dattes _____

Menace sur les palmiers (avec non producteur)

42. Connaissez-vous des maladies sur les palmiers ? ☐ oui ☐ non

Si oui, noms des maladies _____

44. Noms des ennemis naturels du palmier et type d'attaque _____

45. Solutions en cas de maladie ou d'attaque ? _____

Environnement palmeraies

46. Type de sol ☐ sableux ☐ argileux ☐ limoneux ☐
sablo-argileux ☐ limono-argileux ☐ latéritique ☐
autres (préciser) ☐

47. Profondeur du sol ☐ très profond ☐ profond ☐ peu profond ☐

48. Existe-il un problème de salinité ☐ oui ☐ non

Si oui, Teneur du sel ☐ fort ☐ moyen ☐ peu ☐

49. Profondeur de la nappe _____

50. Irrigation ☐ oui ☐ non ☐

Si oui, le système d'irrigation utilisé _____

51. Fertilisation ☐ oui ☐ non

Si oui, ☐ fumure organique ☐ fertilisant chimique

50. Où trouve-t-on le fertilisant ☐ payé ☐ ramassé

52. Faites-vous des cultures sous-jacentes des palmeraies ☐ oui ☐ non

Si oui, ☐ fruitières ☐ légumes ☐ céréalières

noms des fruitiers _____

Noms des légumineuses _____

Noms des céréales _____

53. Les animaux parcourent-ils les palmeraies _____ oui ☐ non ☐
si oui, quels avantages _____

Et/ou quels inconvénients _____

Autres activités (avec non producteur)

54. Mois de début de la campagne agricole _____ mois de fin _____

55. La production agricole couvre-t-elle vos besoins alimentaires annuels ? _oui ☐ non ☐

Si non, la rupture intervient à quel mois _____

Quelle est la solution après épuisement des récoltes _____ phœniciculture ☐
maraichage ☐ main d'œuvre ☐ exode ☐ autre (préciser) ☐

56. Classer ces activités agricoles par ordre d'importance dans votre village _maraichage ☐

Phœniciculture ☐ agriculture ☐ élevage ☐ commerce ☐

Intérêts sociaux et perspectives d'avenir (avec non producteur)

57. Impact de la phœniculture sur la vie sociale _____ renforcement des liens sociaux ☐
sources de conflit ☐ autres (précisez) ☐

58. Selon vous que faut-il faire pour sauvegarder et promouvoir la filière phœnicol ? _____

59. Existe-il des organisations qui vous appuient _____ oui ☐ non ☐
si oui, noms des organisations _____

Si oui, types d'appuis _____ appuis techniques ☐ appuis conseilles ☐
appuis financiers ☐ autre (préciser) _____

60. Questions ou commentaires _____

Merci pour votre collaboration

Mesures végétatives (mise en place par René Lecoustre AMAP/CIRAD)**1 Avant d'aller sur le terrain :**

Vérification du matériel :

- 1.1 Tiges métalliques destinées à mesurer les angles pour la phyllotaxie et l'angle tangent
- 1.2 Rapporteur muni d'un fil à plomb léger (4 à 5 mètres de fil)
- 1.3 Triple au quintuple mètre en ruban métallique
- 1.4 Fil à plomb lourd avec au moins 2 mètres de fil ou, mieux, de drisse jaune fluo
- 1.5 Scie d'arboriculteur, sécateur, tige métallique fine graduée ou non (estimation de la longueur de la partie restant sur le stipe)
- 1.6 Marqueurs indélébiles (en prévoir au moins 2 !), stylo
- 1.7 Perche télescopique ou manche de sécateur/scie d'élagueur
- 1.8 Eventuellement une bombe de peinture.

Vérification des fournitures de saisie :

- 1.9 Appareil photo numérique de bonne qualité (surtout pas un téléphone portable, ni un appareil compact bas de gamme), produisant des images d'au moins 8 millions de pixels dont l'objectif doit être d'une longueur focale entre 50 et 135 mm afin de minimiser les déformations (un zoom dont les caractéristiques permettent d'atteindre des focales situées dans cette fourchette est tout à fait compatible). Les photos doivent être prises à la meilleure définition possible et sans compression.
- 1.10 Stylo et crayon
- 1.11 Fiche de mesures Phyllotaxie et Croissance
- 1.12 Fiche de mesures Nervure (pétiole et rachis)
- 1.13 Fiche de mesures feuilles (description générale) – NB : cette fiche sera peut-être supprimée dans sa version papier (saisie auto à partir des données Fiche de mesures folioles -disposition et groupes-)
- 1.14 Fiche de mesures feuilles de rejets (description générale)

2 Sur le terrain :

- 2.1 Identification du palmier et des rejets à observer
- 2.2 Repérage de la parastiche d'ordre 8 sur le palmier principal
- 2.3 Comptage des bases pétiolaires en dessous de la palme la plus basse sur la parastiche à laquelle cette palme appartient sur le palmier principal
- 2.4 Comptage des bases pétiolaires à 3 hauteurs par rapport au sol sur le palmier principal
- 2.5 Comptage du nombre de flèches
- 2.6 Estimation du nombre de palmes
- 2.7 Mesure de la circonférence du stipe à 3 hauteurs par rapport au sol sur le palmier principal
- 2.8 Repérage des 2 palmes qui serviront à mesurer l'angle phyllotaxique (ces palmes peuvent être différentes de celles qu'on échantillonnera pour les caractéristiques de la nervure et des folioles)
- 2.9 Mesure de l'angle de divergence entre ces 2 palmes
- 2.10 Repérage des 2 palmes qui seront échantillonnées pour les caractéristiques de la nervure et des folioles

Sur chacune des palmes retenues :

- 2.11 Mesure de l'angle d'insertion et de l'angle au point "C" à l'aide du rapporteur + fil à plomb
- 2.12 Mesure de la projection au sol de la tige de 1 mètre attachée après le point "C"
- 2.13 Photographie de l'angle de flexion à l'extrémité de la palme avec le repère vertical fourni par le fil à plomb lourd au bout d'une perche
- 2.14 Photographie de l'angle de rotation du plan des folioles à l'extrémité, repère vertical fourni par le fil à plomb lourd au bout d'une perche
- 2.15 Repérage du sens de déviation horizontale et photographie de cette déviation (position couché sur le dos, tête contre le stipe)
- 2.16 Repérage du début de la rotation appréciable du plan des folioles, de la déviation visible également
- 2.17 Repérage du point le plus haut de la palme (peinture, photo, etc...)
- 2.18 Section des 2 palmes au plus près possible de l'insertion (scie d'arboriculteur)
- 2.19 Mesure de la partie restante sur le stipe

Sur chacun des rejets retenus

- 2.20 Repérage de la parastiche d'ordre 8
- 2.21 Comptage des bases pétiolaires en dessous de la palme la plus basse sur la parastiche à laquelle cette palme appartient
- 2.22 Repérage de 2 palmes (une basse et une moyenne)

Sur chaque palme de chacun des rejets

- 2.23 Mesure de la longueur de nervure sans penne (pétiole) de l'insertion à la première épine
- 2.24 Mesure de la longueur épineuse de la nervure
- 2.25 Mesure de la longueur foliolée de la nervure
- 2.26 Longueur de la plus grande foliole
- 2.27 Plus grande largeur de la plus grande foliole

Sur chaque demi-palme de chacune des palmes

- 2.28 Comptage du nombre d'épines
- 2.29 Comptage du nombre de penes intermédiaires
- 2.30 Comptage du nombre de folioles y compris la foliole terminale

3 En local technique ou laboratoire :

Sur chaque palme retenue :

- 3.1 Mesure des folioles disposition et groupes, en notant sur la nervure la position de la première épine retenue et en notant, sur les folioles, leur rang toutes les 10 folioles
- 3.2 Noter les positions LR/10, 2*LR/10, ..., 9*LR/10... sur la nervure selon le protocole
- 3.3 Choix des tronçons autour de ces positions en vue des mesures métriques et angulaires
- 3.4 Coupe des tronçons en évitant de modifier les angles caractéristiques et d'abimer les folioles

Sur chaque tronçon de chaque palme retenue

- 3.5 Mesures des largeurs et hauteurs de la nervure à ces positions
- 3.6 Sur tous les tronçons, mesure des longueurs des penes et marquage des positions 1/3 et 2/3 (réglet de 50 cm puis mètres si plus longues)
- 3.7 Mesure des ouvertures des folioles à 1/3 et 2/3 avec pied à coulisse
- 3.8 Mesure des 1/2 largeurs des folioles à 1/3 et 2/3 avec le réglet (au 1/2 mm si possible)
- 3.9 Photographies (*) de dessus pour les mesures ultérieures des angles d'insertion horizontaux

3.10 Photographies (*) de face pour mesures ultérieures des angles d'insertion verticale – NB : si la relation angle vertical et angle de rotation est avérée et constante pour une espèce, ces photographies ne sont pas indispensables.

3.11 Section des folioles, propre et proche de la nervure, repérage sur les côtés et photographies (*) pour les mesures ultérieures des angles de rotation des folioles à leur insertion

(*) Les photographies doivent être réalisées avec un Appareil Photo Numérique de bonne qualité (surtout pas avec un téléphone portable, ni avec un appareil compact bas de gamme), produisant des images d'au moins 8 millions de pixels dont l'objectif doit être d'une longueur focale entre 50 et 135 mm afin de minimiser les déformations (un zoom dont les caractéristiques permettent d'atteindre des focales situées dans cette fourchette est tout à fait compatible). Les photos doivent être prises à la meilleure définition possible et sans compression.

4 Au bureau :

A partir des photographies prises en local technique ou laboratoire (logiciel Mesurim) :

4.1 Mesures des angles horizontaux des folioles sur la nervure

4.2 Mesures des angles verticaux des folioles sur la nervure

4.3 Mesures des angles de rotation des folioles sur la nervure

A partir des fiches "papier" vérifiées Saisie des données dans le classeur Excel Interface :

4.4 Fiche de mesures stipe (phyllotaxie et croissance)

4.5 Fiche de mesures nervure (pétiole et rachis)

4.6 Fiche de mesures feuilles de rejets (description générale)

4.7 Fiche de mesures folioles (disposition et groupes)

4.8 Fiche de mesures sections rachis, longueurs des pennes

4.9 Fiche de mesures sections rachis, ouvertures des pennes

4.10 Fiche de mesures sections rachis, 1/2 largeurs des pennes

4.11 Fiche de mesures angles des pennes – NB : si la relation angle vertical et angle de rotation est avérée et constante pour une espèce, seule la saisie des angles horizontaux et de rotation s'avérera nécessaire

5 Simulation :

Après vérification de la fiche "données pour Principes" :

5.1 Copie de la fiche dans un nouveau classeur (collage spécial : copier largeurs des colonnes, collage spécial : copier valeurs, collage spécial : copier format)

5.2 Enregistrer ce classeur avec identité palmier_année_mois_jour

5.3 Vérifier que le symbole décimal soit bien un point et non une virgule

5.4 Copier en format texte avec séparateur tabulation ce fichier (attention Excel n'ajoute pas toujours l'extension ".txt" tout seul)

Simulation elle-même :

5.5 Lancer Xplo et configurer les caractéristiques de simulation

5.6 Appeler le fichier enregistré et "enjoy your palm tree simulations"

Protocole descriptif 3D

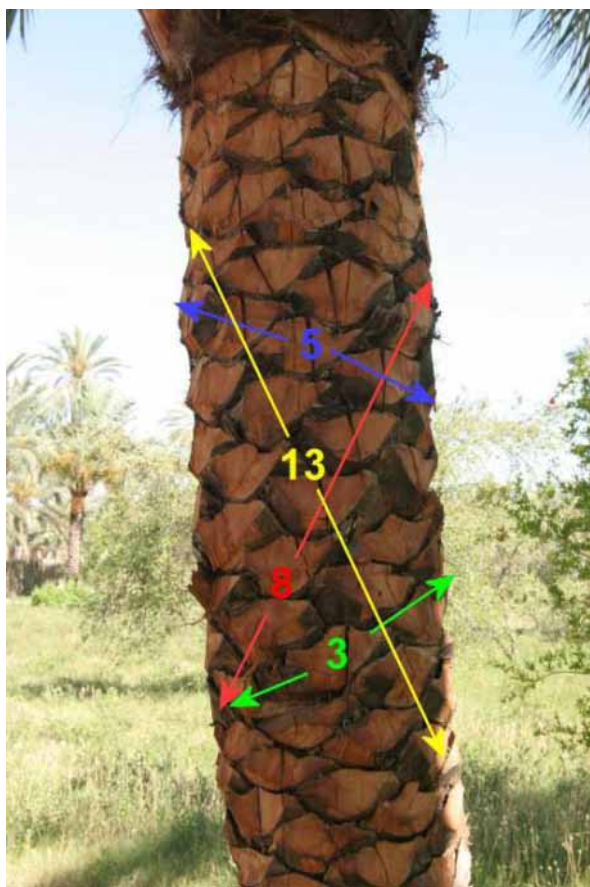
1 Identification du spécimen

Date	
Numéro d'identification	
Morphotype ou cultivar	

2 Description de l'arbre (in-situ)

2.1 Repérage de la spire d'ordre 8 et numérotation des palmes

2.1.1 Détermination du sens phyllotaxique (droite ou gauche) et de la parastiche d'ordre 8 (en rouge dans les 2 cas).



2.1.2 Numérotation des palmes à partir de la palme 1 (palme émergente en cours de déploiement)

Elagage éventuel (le plus modéré possible) des palmes pour accéder à la partie centrale.



2.2 Comptage des palmes

2.2.1 Nombre de palmes en pace (comptage exact ou estimation)

2.2.2 Nombre de flèches

2.2.3 Nombre de palmes à déviation latérale différente

2.3 Comptage des bases pétiolaires sur parastiche d'ordre 8

2.3.1 Comptage des bases pétiolaires en dessous de la palme la plus basse sur la parastiche d'ordre 8 à laquelle cette palme appartient.

Sens des parastiches (1=sens trigo, -1 sens hor,)		Nombre de bases pétiolaires sur parastiche d'ordre 8 à 20cm Nombre de bases pétiolaires sur parastiche d'ordre 8 à 50cm Nombre de bases pétiolaires sur parastiche d'ordre 8 à 100cm Circonférence du stipe à 20cm Circonférence du stipe à 50cm Circonférence du stipe à 100cm	
Nombre de flèches visibles			
Nombre de palmes estimé			
Nombre de palmes à déviation inverse / généralité			
Hauteur de la dernière base pétiolaire sous palmes (cm)			
Nombre de bases pétiolaires sur parastiche d'ordre 8			
Circonférence du stipe			

2.3.2 Comptage des bases pétiolaires à 3 hauteurs par rapport au sol sur le palmier principal (20cm, 50cm et 100cm)

2.3.3 Mesure de la circonférence du stipe à 3 hauteurs par rapport au sol sur le palmier principal (20cm, 50cm et 100cm)

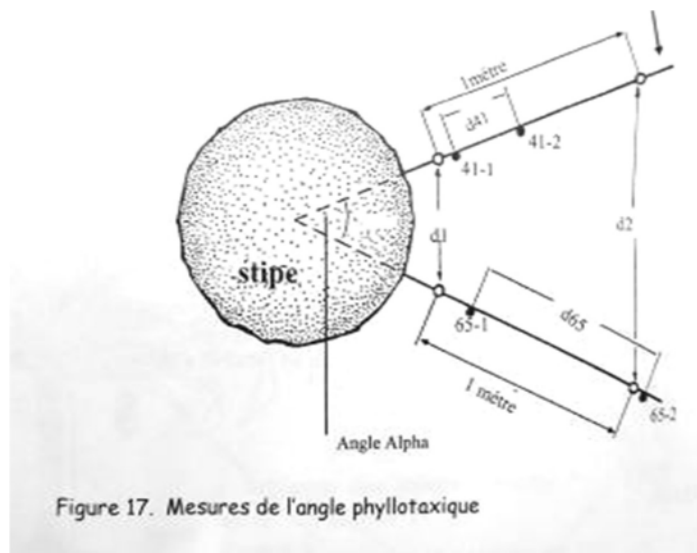
2.3.4 Hauteur en cm de la dernière base pétiolaire sous palmes.

2.3.5 Circonférence du stipe au niveau de cette dernière base pétiolaire sous palmes.

Angle d'implantation à la base du stipe (id. rejet)	
Début zone de redressement du stipe (nb palmes)	
Fin de zone de redressement du stipe (nb palmes)	

2.4 Mesure de l'angle phyllotaxique

2.4.1 Mise en place des jauges sur deux palmes choisies sur l'ordre 8, avec au moins 3x8 rangs d'écart.



Le premier repère de la jauge se situe au plus près possible de la première épine (point "C") mais toujours après celle-ci. La jauge doit être fixée assez solidement mais de telle façon qu'elle soit tangente en un point situé à 50cm (milieu de la jauge) du point "C"

2.4.2 Pour chacune des palmes retenues, repérer à l'aide de petits piquets, les aplombs du fil à plombs sur le sol pour les 2 croisillons de la jauge (on mesurera toujours du même côté de la palme et on laisse descendre le fil à plomb en ayant le croisillon entre le stipe et le fil

- 2.4.3 Appuyer les jauges à œil contre les piquets de repérage, toutes 2 du même côté que les piquets. Enfoncer dans chacun des yeux, un piquet de fixation
- 2.4.4 On vérifiera au niveau à bulle que les jauges à œil soient bien dans un plan horizontal, sinon corriger par l'installation de cales sous la jauge à œil
- 2.4.5 Si les palmes retenues sont celles destinées à être coupées pour la suite des observations, noter les distances au sol entre les piquets de repérage des aplombs des jauges à croisillons. Dans ce cas, repérer également la position du premier point de la jauge
- 2.4.6 Noter les distances D1 et D2 entre les piquets de fixation des jauges à œil (axe à axe)

Rang de la palme	Distances au sol entre les projections au sol des repères de la jauge	D1	D2

2.5 Mesure des angles caractéristiques de la nervure

(sur les deux palmes retenues pour la suite des observations sur la nervure et les folioles)

- 2.5.1 Mesure au rapporteur plombé de l'angle du rachis par rapport à la verticale au plus près de son insertion
- 2.5.2 Mesure au rapporteur plombé de l'angle du rachis au point "C"



- 2.5.3 Mesure à l'aide de la jauge à croisillons de la projection au sol des aplombs comme dans le cas des mesures pour l'angle de phyllotaxie, reporter la position métrique du premier point de la jauge

Rang de la palme		
Angle du pétiole/verticale à la base		
Angle du pétiole/verticale au point "C"		
Position métrique du premier point de la jauge		

- 2.5.4 Repérage du point le plus haut de la (nervure de la) palme soit en y effectuant une marque, soit en prenant une photographie suffisamment nette qui permettra de compter les folioles entre l'extrémité et ce point
– NB : si ce point n'est pas l'extrémité, l'angle de la nervure avec la verticale y vaut 90°
- 2.5.5 Photographie de l'angle avec la verticale de l'extrémité de la nervure avec repérage de la verticale par un fil à plomb lourd sur drisse blanche ou jaune fluo (angle de flexion à l'extrémité) – NB : ce point peut être confondu avec le point le plus haut

- 2.5.6 Repérage du sens de déviation de la palme, dos au stipe
 -1 la palme est déviée sur la gauche de l'observateur
 +1 la palme est déviée sur la droite de l'observateur
- 2.5.7 Repérage du point à partir duquel la rotation de la palme devient sensible (distance au stipe du début de rotation sensible de la nervure)
- 2.5.8 Repérage du point à partir duquel la déviation de la palme devient sensible (distance au stipe du début de déviation sensible de la nervure)
- 2.5.9 Photographie de la rotation de la nervure à l'extrémité de la palme avec repérage de la verticale par un fil à plomb lourd sur drisse blanche ou jaune fluo (angle de rotation à l'extrémité)
- 2.5.10 Photographie, en contre plongée, de toute la nervure, de l'insertion à l'extrémité, pour rendre compte de la déviation (angle de déviation à l'extrémité)

Rang de la palme		
Sens de déviation (dos au stipe)		
Distance au stipe du début de déviation sensible du rachis		
Angle final de déviation à l'extrémité de la palme		
Distance au stipe du début de rotation sensible du rachis		
Angle orthogonal au plan foliaire à l'extrémité de la palme		

3 DESCRIPTION DE LA FEUILLE (en local technique ou laboratoire)

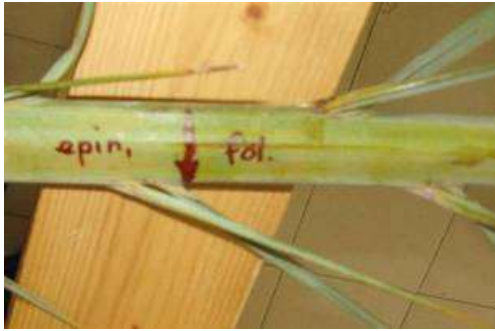
3.1 Description générale

- 3.1.1 L'orientation gauche droite se fait en référence à la face ventrale de la palme (face "supérieure"), les pieds vers l'insertion de la palme
- 3.1.2 Repérage de la première épine de chaque côté
- 3.1.3 Repérage de la dernière épine de chaque côté
- 3.1.4 Repérage de la première foliole de chaque côté
- 3.1.5 Repérage des 5 dernières folioles de chaque côté + foliole terminale
- 3.1.6 Positionnement du mètre ruban le long de la nervure en positionnant la graduation qui correspond à la valeur de la partie restée sur le stipe au niveau de la coupe, mesure de la longueur du rachis : LR
- 3.1.7 Repérage des positions LR/10, 2*LR/10, 3*LR/10,, 8*LR/10, 9*LR/10.



Orientation G D de la palme sur la face ventrale

Mise en place du mètre



Repérage de la transition épine/foliole



Repérage des positions tous les LR/10 cm

3.2 Description des plans foliaires

Pour chaque côté de la palme (on indiquera “demi-palme gauche” et “demi-palme droite”)



3.2.1 Repérage de la position métrique de chacune des pennes sur la nervure



3.2.2 Détermination de la position des pennes formant des groupes :

+ ou sup : la penne est orientée vers le haut

o ou med : la penne est dans le plan foliaire

- ou inf : la penne est orientée vers le bas

NB : Il est important (voire indispensable) de noter le numéro d'ordre de la foliole toutes les 10 folioles, ceci aide à se repérer pour les vérifications éventuelles.

Rang de la penne	Position + 0 - (sup med inf)	Distance insertion	Position 1ère Foliole (F)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			

: : : :
: : : :
: : : :

40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			

: : : :
: : : :
: : : :

109			
110			
111			
112			
113			

: : : :
: : : :

Rang de la penne	Position + 0 - (sup med inf)	Distance insertion	Position 1ère Foliole (F)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			

: : : :
: : : :
: : : :

40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			

: : : :
: : : :
: : : :

109			
110			
111			
112			
113			

: : : :
: : : :

3.3 Description par section

- 3.3.1 Découpe des groupes voisins de chaque section de manière à avoir un maximum de folioles avec des positions différentes (+, 0, -), il convient d'avoir au moins un groupe complet de chaque côté, un groupe est constitué de 1 à 4 folioles, rarement 5.



- 3.3.2 Constituer une section “1^{ère} épine”
3.3.3 Constituer une section “dernière épine → 1^{ère} foliole” incluant parfois une penne intermédiaire.
3.3.4 Il convient de constituer une section “Groupe Terminal” constituée des 5 dernières folioles de chaque côté et de la foliole terminale

3.4 Dimensions des sections de la nervure

3.4.1 Mesure de la largeur de la nervure, au pied à coulisse, au niveau de chacun des repères ($LR/10$, $2*LR/10$, $3*LR/10$, ..., LR)



3.4.2 Mesure de l'épaisseur de la nervure, au pied à coulisse, au niveau de chacun des repères ($LR/10$, $2*LR/10$, $3*LR/10$, ..., LR)

Longueur de la partie
restée sur le stipe

Position métrique	Largeur	Epaisseur
X		
$LR/10$		
$2*LR/10$		
$3*LR/10$		
$4*LR/10$		
$5*LR/10$		
$6*LR/10$		
$7*LR/10$		
$8*LR/10$		
$9*LR/10$		
LR		

3.5 Dimensions des pennes : longueurs et repérage des positions 1/3 et 2/3

Pour chaque côté de chaque section, y compris les éventuelles sections spéciales (1^{ère} épine, transition épine → foliole, groupe terminal)

3.5.1 Mesure de la longueur de chaque foliole, de l'insertion à l'extrémité, à l'aide d'un réglet gradué de 50 à 60cm de long ou d'un mètre ruban

3.5.2 Repérage des positions 1/3 de la longueur et 2/3 de la longueur de chacune des folioles

	Position métrique	1/2 palme gauche			
		+ ou sup	0 ou med	0 ou med	- ou inf
1 ^{ère} épine	X épine 1				
dern épine	X d. épine				
1 ^{ère} foliole	X foliole 1				
	X sur stipe				
	LR/10				
	2*LR/10				
	3*LR/10				
	4*LR/10				
	5*LR/10				
	6*LR/10				
	7*LR/10				
	8*LR/10				
	9*LR/10				
GT1	X GT1				
GT2	X GT2				
GT3	X GT2				
GT4	X GT2				
GT5	X GT2				
FT	LR				

3.6 Dimensions des pennes : ouverture

Pour chaque côté de chaque section

3.6.1 Mesure de l'ouverture, à la position 1/3 de la longueur, à l'aide d'un pied à coulisse

3.6.2 Mesure de l'ouverture, à la position 2/3 de la longueur, à l'aide d'un pied à coulisse



	Position métrique	1/2 palme gauche							
		1er tiers				2ème tiers			
		+ ou sup	0 ou med	0 ou med	- ou inf	+ ou sup	0 ou med	0 ou med	- ou inf
1ère épine dern épine 1ère foliole	X épine 1								
	X d. épine								
	X foliole 1								
	X sur stipe								
	LR/10								
	2*LR/10								
	3*LR/10								
	4*LR/10								
	5*LR/10								
	6*LR/10								
	7*LR/10								
	8*LR/10								
	9*LR/10								
GT1	X GT1								
GT2	X GT2								
GT3	X GT2								
GT4	X GT2								
GT5	X GT2								
FT	LR								

3.7 Dimensions Pennes : demi-largeur

Pour chaque côté de chaque section

3.7.1 Mesure de la demi-largeur à l'insertion à l'aide d'un pied à coulisse ou d'un réglet gradué, si possible, en demi-millimètres



3.7.2 Mesure de la demi-largeur, à la position 1/3 de la longueur, à l'aide d'un réglet gradué ou d'un mètre en ruban

3.7.3 Mesure de la demi-largeur, à la position 2/3 de la longueur, à l'aide d'un réglet gradué ou d'un mètre en ruban

	Position métrique	1/2 palme gauche								
		base				:	2 ^{ème} tiers			
		+ ou sup	0 ou med	0 ou med	- ou inf	:	+ ou sup	0 ou med	0 ou med	- ou inf
1 ^{ère} épine dern épine 1 ^{ère} foliole	X épine 1					:				
	X d. épine					:				
	X foliole 1					:				
	X sur stipe					:				
	LR/10					:				
	2*LR/10					:				
	3*LR/10					:				
	4*LR/10	:	:	:	:	:	:	:	:	:
	5*LR/10	:	:	:	:	:	:	:	:	:
	6*LR/10					:				
	7*LR/10	:	:	:	:	:	:	:	:	:
	8*LR/10	:	:	:	:	:	:	:	:	:
	9*LR/10					:				
GT1	X GT1					:				
GT2	X GT2					:				
GT3	X GT2					:				
GT4	X GT2					:				
GT5	X GT2					:				
FT	LR					:				

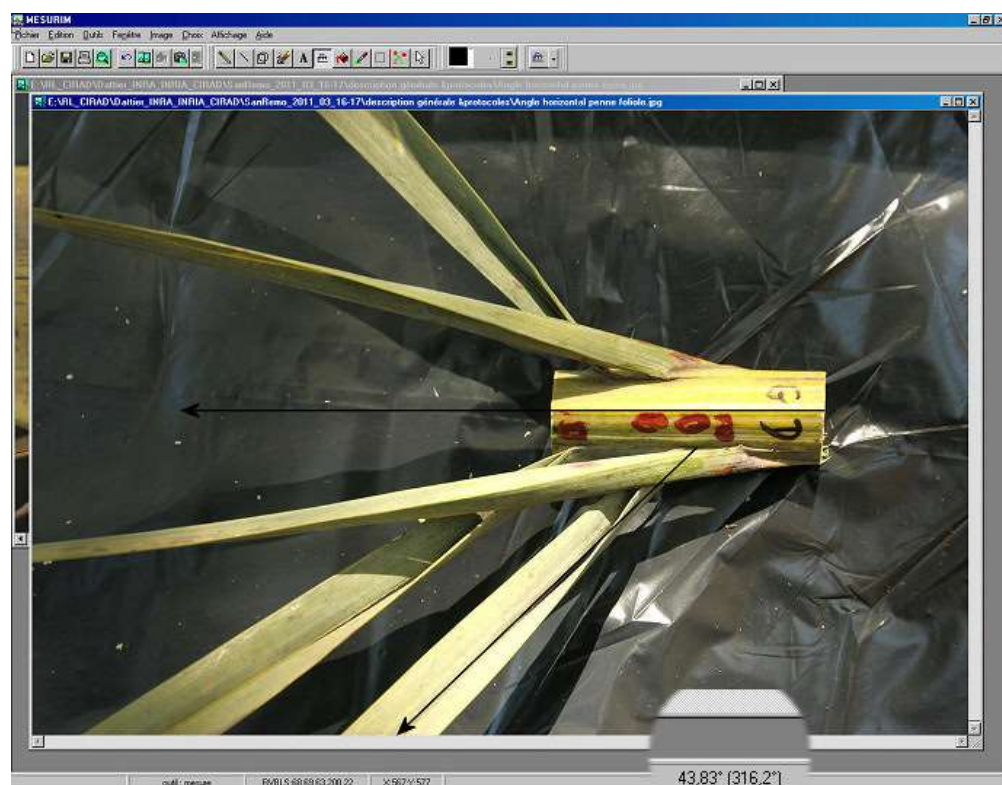
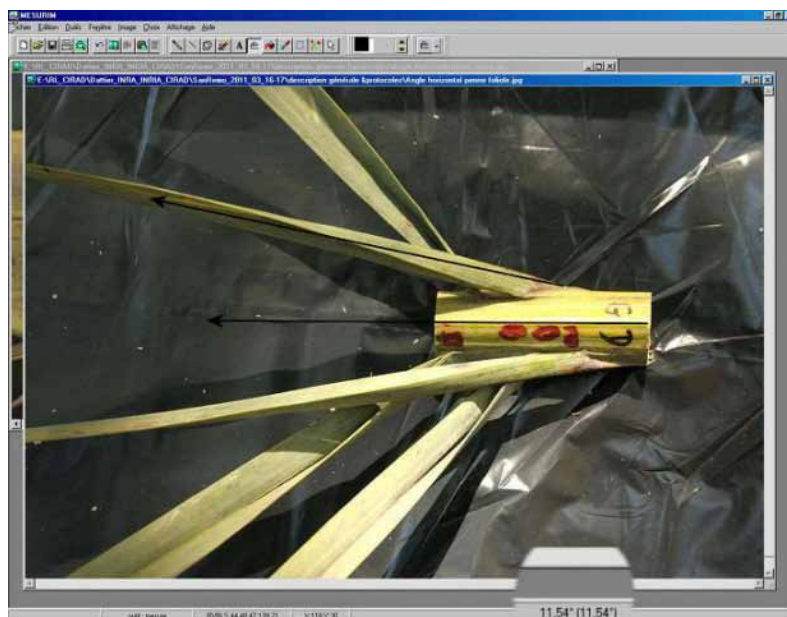
4 ANGLES CARACTERISTIQUES DES PENNES

Pour réaliser cette série de mesures, des photographies sont prises après les mesures métriques précédentes (longueur, ouvertures, demi-largeurs).

Ces photographies sont ensuite traitées à l'aide d'un logiciel d'image pour les mettre au format "écran" (1200X800), on y ajoute également le tracé de l'axe qui servira de référence pour la mesure de l'angle considéré.

4.1 Angle d'insertion horizontal

La mesure de l'angle horizontal de la foliole supérieure gauche vaut 11,54°, compte tenu de la précision la valeur 11,5° sera enregistrée

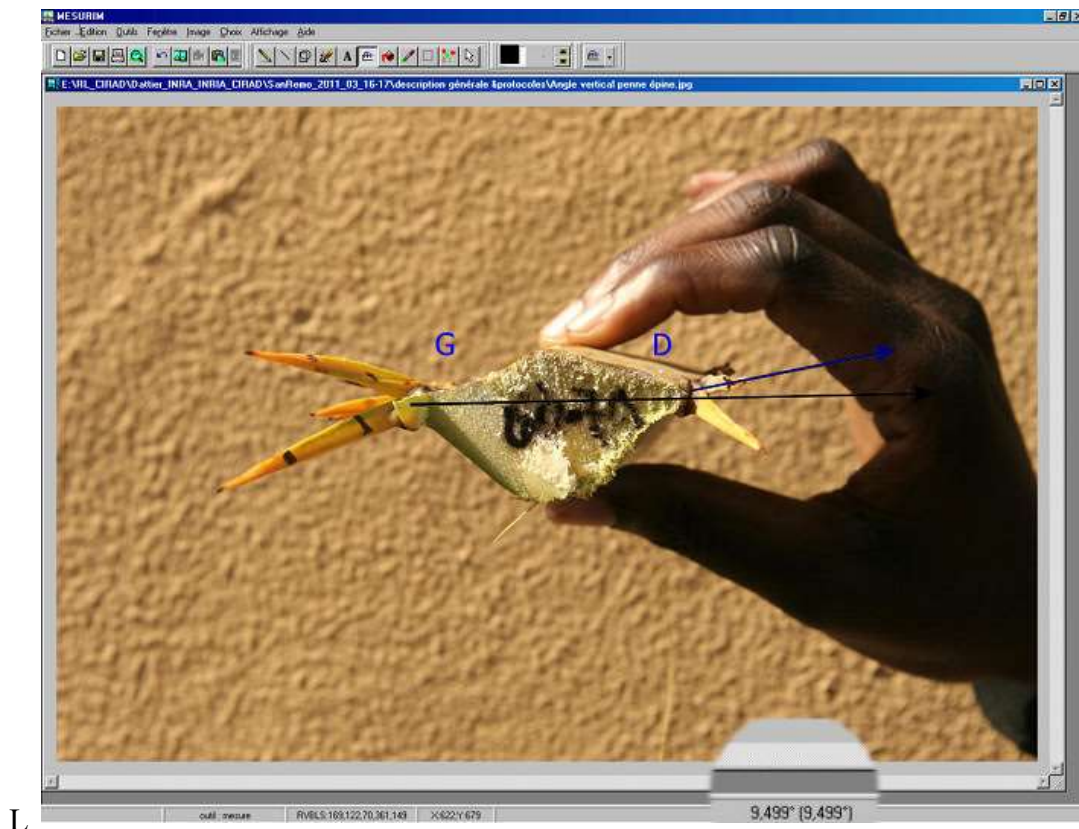
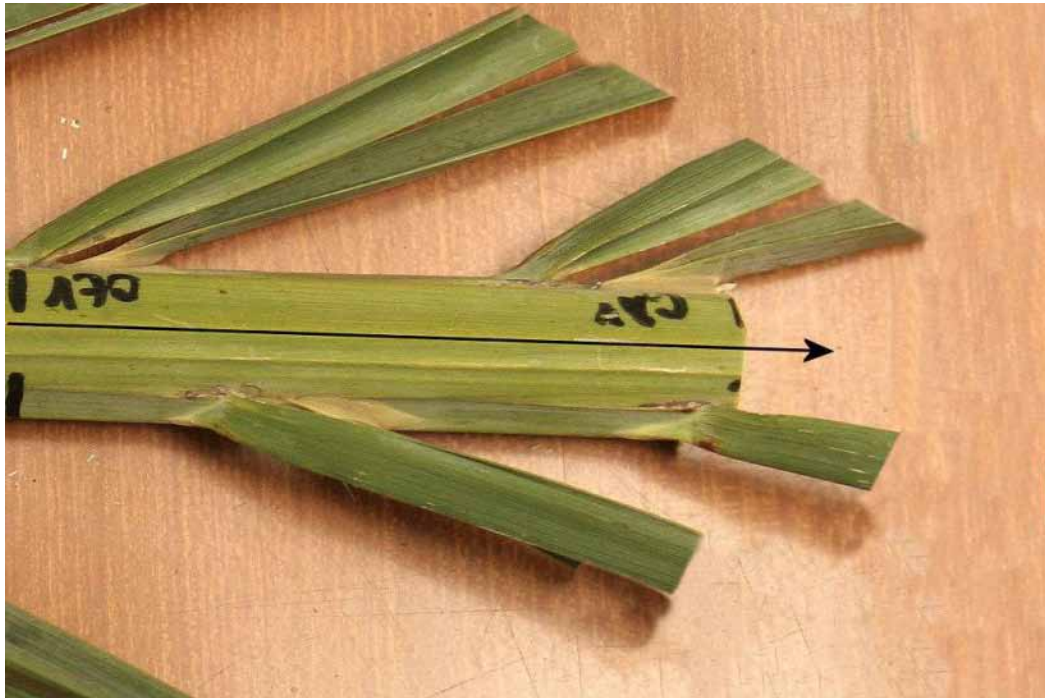


La mesure de l'angle horizontal de la foliole médiane droite vaut 43,83°, compte tenu de la précision la valeur 43,8° sera enregistrée

	Position métrique	1/2 palme gauche			
		+ ou sup	0 ou med	0 ou med	- ou inf
1ère épine	X épine 1				
dern épine	X d. épine				
1ère foliole	X foliole 1				
	X sur stipe				
	LR/10				
	2*LR/10				
	3*LR/10				
	4*LR/10				
	5*LR/10				
	6*LR/10				
	7*LR/10				
	8*LR/10				
	9*LR/10				
GT1	X GT1				
GT2	X GT2				
GT3	X GT2				
GT4	X GT2				
GT5	X GT2				
FT	LR				

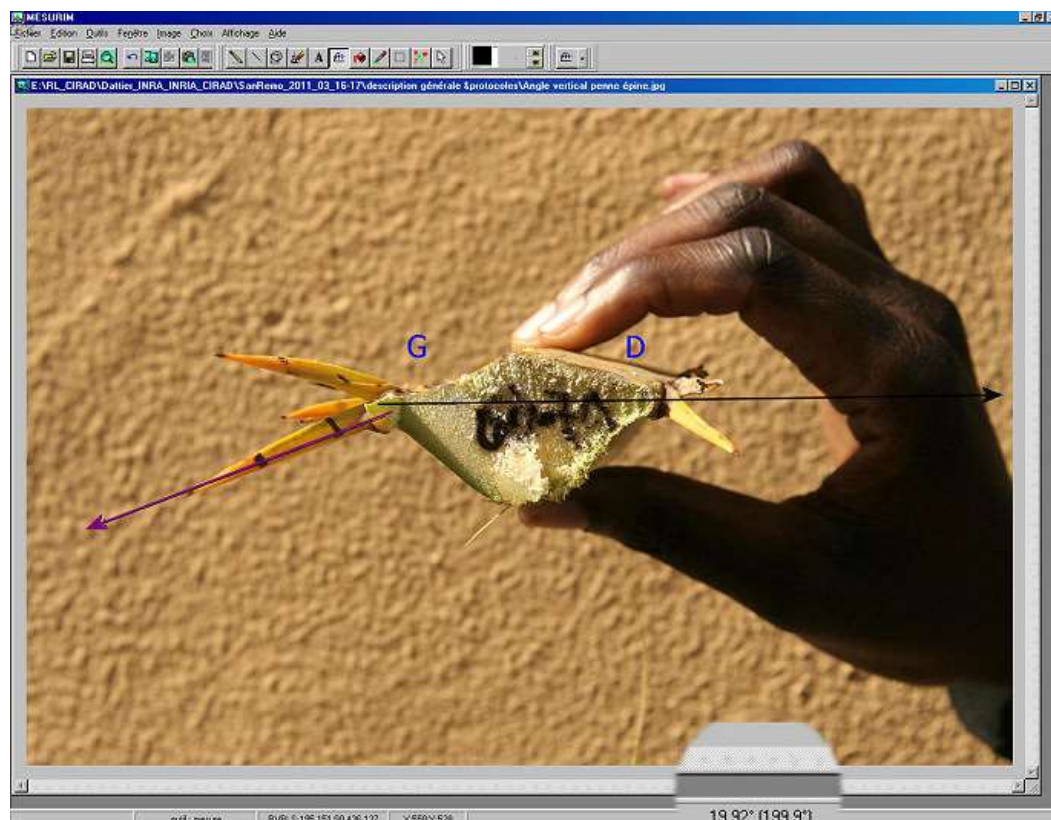
4.2 Angle d'insertion vertical

Afin d'éviter que les plumes situées vers l'appareil photo ne cachent celles situées plus loin, il convient de procéder à une taille en longueur progressivement décroissante des plumes qui seront photographiées (les plus proches étant les plus courtes), comme sur l'exemple ci-dessous.

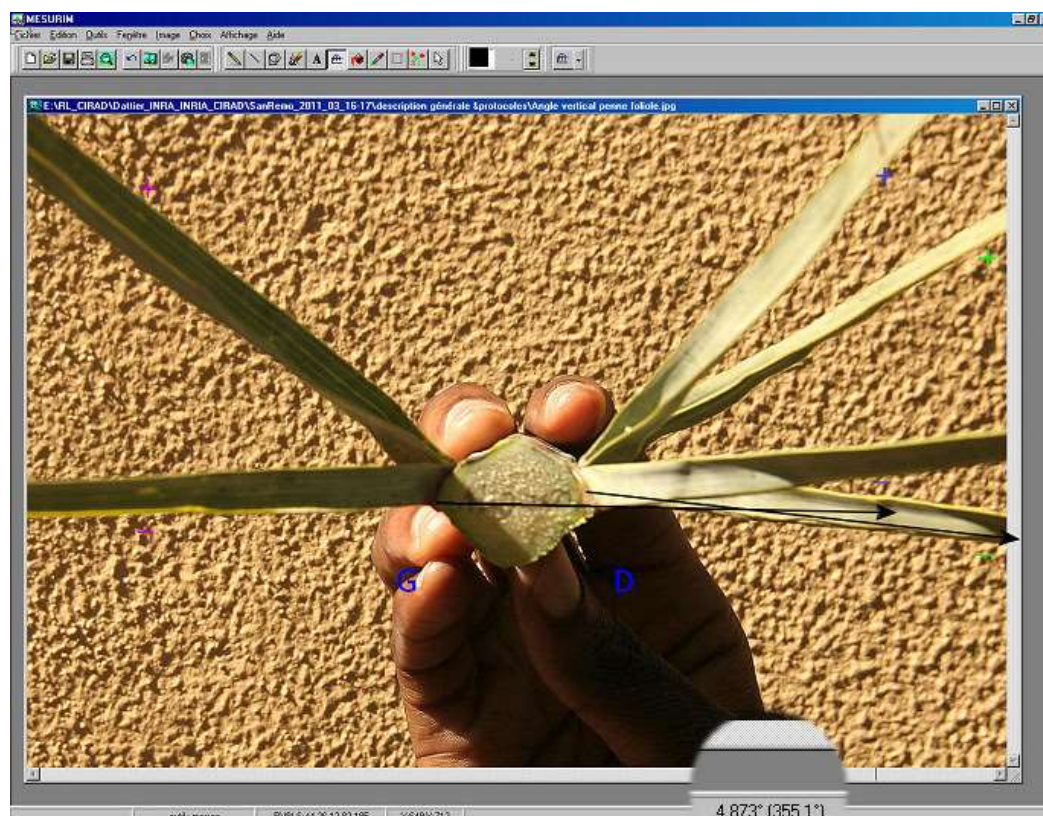


L

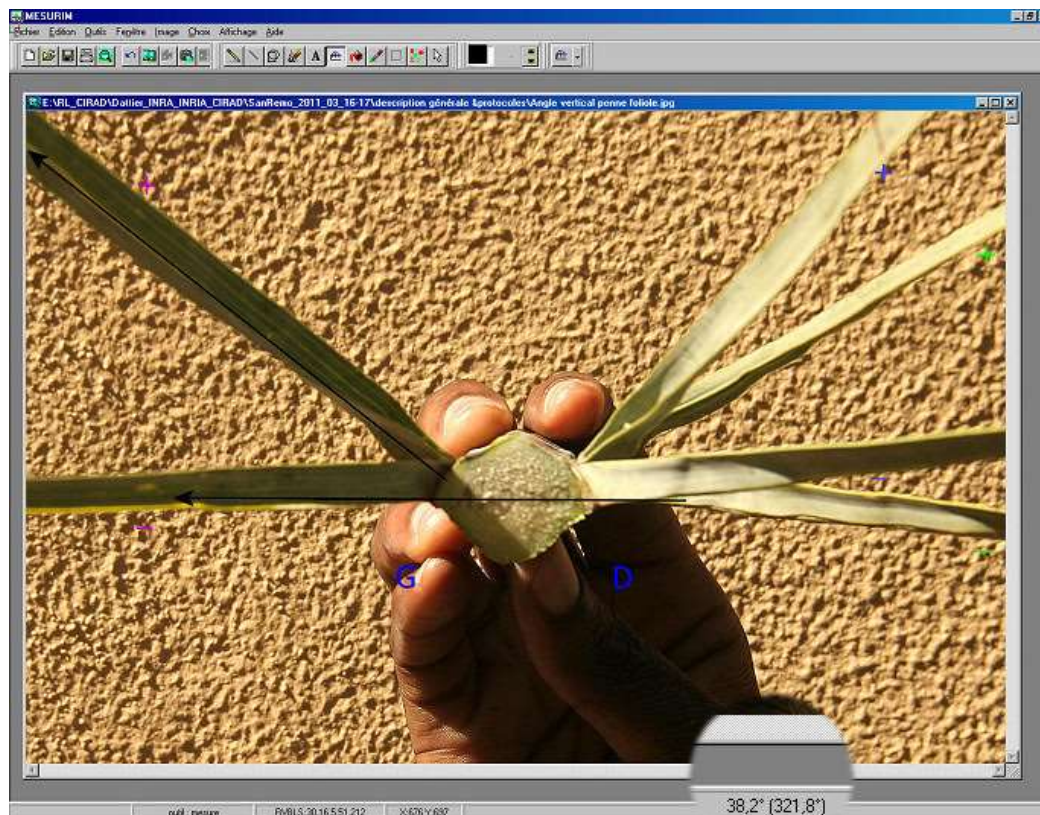
a mesure de l'angle vertical de l'épine supérieure droite vaut $9,499^\circ$, compte tenu de la précision et de la position, la valeur $9,5^\circ$ sera enregistrée



L a mesure de l'angle vertical de l'épine inférieure gauche vaut $19,92^\circ$, compte tenu de la précision et de la position la valeur $-19,9^\circ$ sera enregistrée



La mesure de l'angle vertical de la foliole inférieure droite vaut $4,873^\circ$, compte tenu de la précision et de la position la valeur $-4,9^\circ$ sera enregistrée



La mesure de l'angle vertical de la foliole supérieure gauche vaut $38,2^\circ$, compte tenu de la précision et de la position la valeur $38,2^\circ$ sera enregistrée

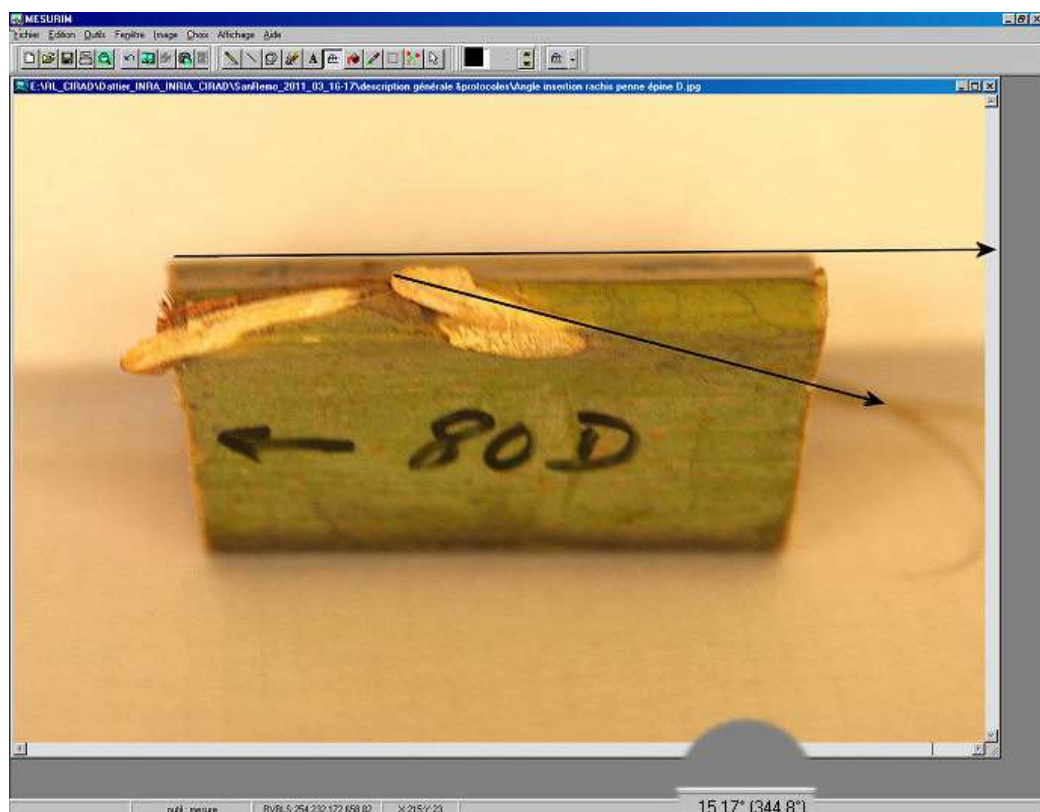
4.3 Angle de rotation à l'insertion



La mesure de l'angle de rotation à l'insertion de la foliole supérieure gauche vaut $20,11^\circ$, compte tenu de la précision et de la position la valeur $20,1^\circ$ sera enregistrée



La mesure de l'angle de rotation de la foliole inférieure gauche vaut $15,17^\circ$, compte tenu de la précision et de la position la valeur $164,8^\circ$ sera enregistrée ($180-15,2$)



La mesure de l'angle de rotation à l'insertion de la foliole supérieure gauche vaut $15,17^\circ$, compte tenu de la précision et de la position la valeur $15,2^\circ$ sera enregistrée

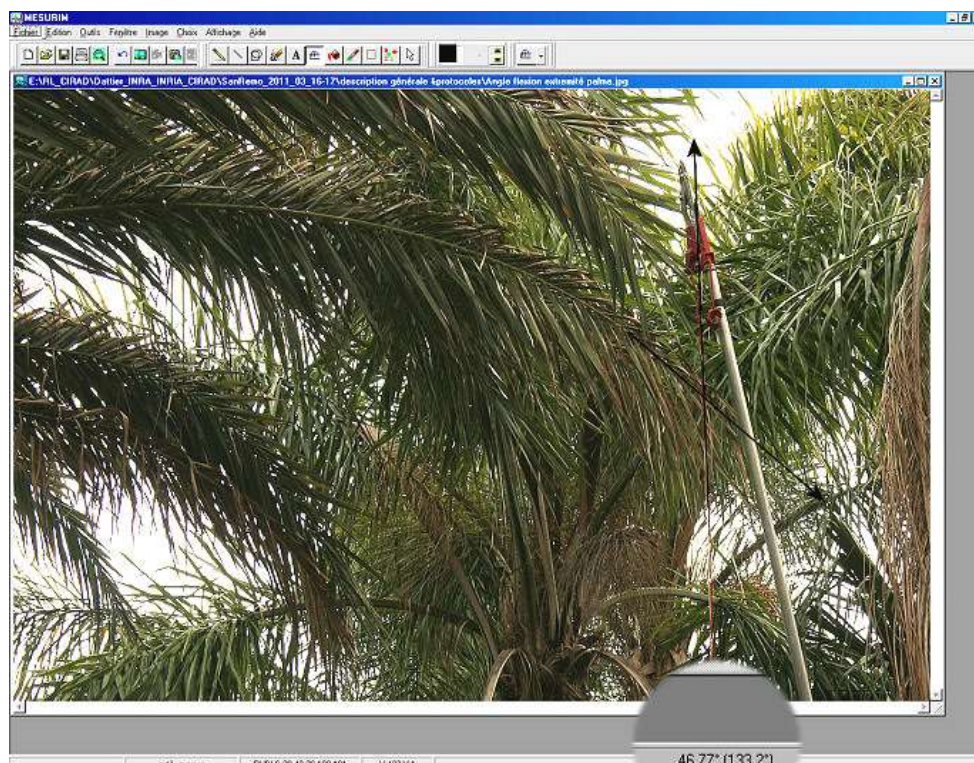


La mesure de l'angle de rotation de la foliole inférieure gauche vaut $15,04^\circ$, compte tenu de la précision et de la position la valeur $165,0^\circ$ sera enregistrée ($180-15$)

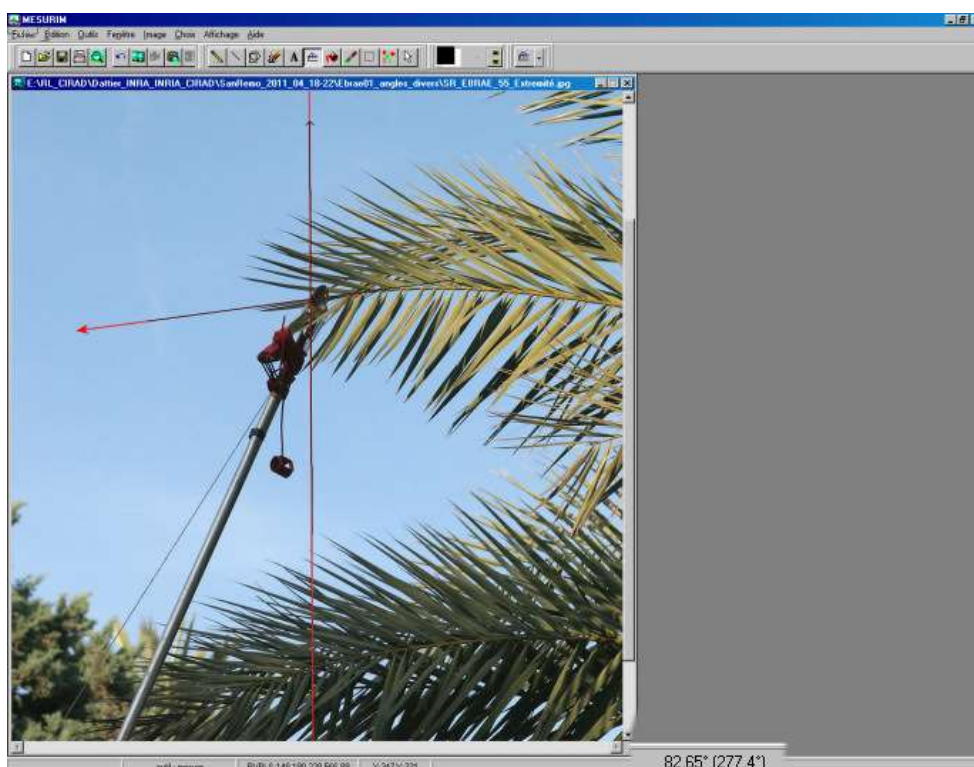
5 ANGLES CARACTERISTIQUES DES PALMES

Mesures sur photographies de l'angle de flexion à l'extrémité de la palme, de l'angle de déviation à l'extrémité de la palme et de la torsion du plan moyen des folioles à l'extrémité de la palme

5.1 Angle de flexion



La mesure donnée par le logiciel vaut $46,77^\circ$, compte tenu de la précision la valeur $133,2^\circ$ sera enregistrée ($180-46,8$)

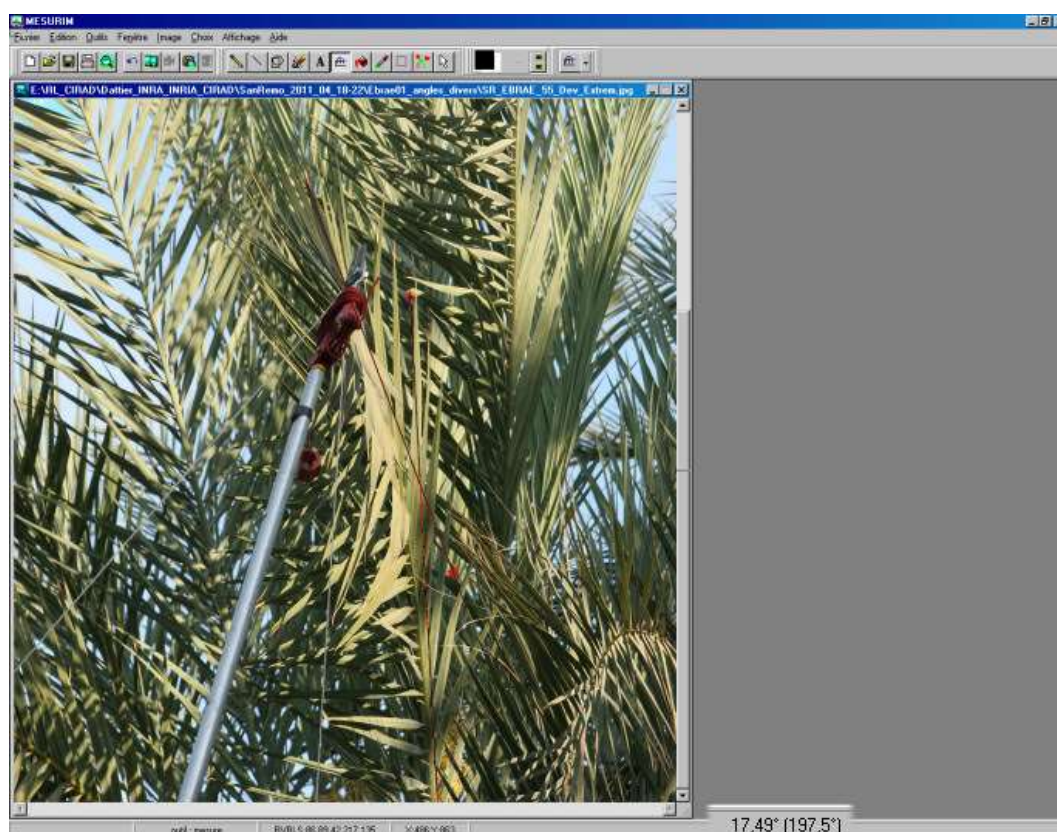


La mesure donnée par le logiciel vaut $82,65^\circ$, compte tenu de la précision la valeur $97,2^\circ$ sera enregistrée ($180-82,7$)

	Rang de la palme		
--	------------------	--	--

Angle du rachis/verticale à l'extrémité		
---	--	--

5.2 Angle de déviation

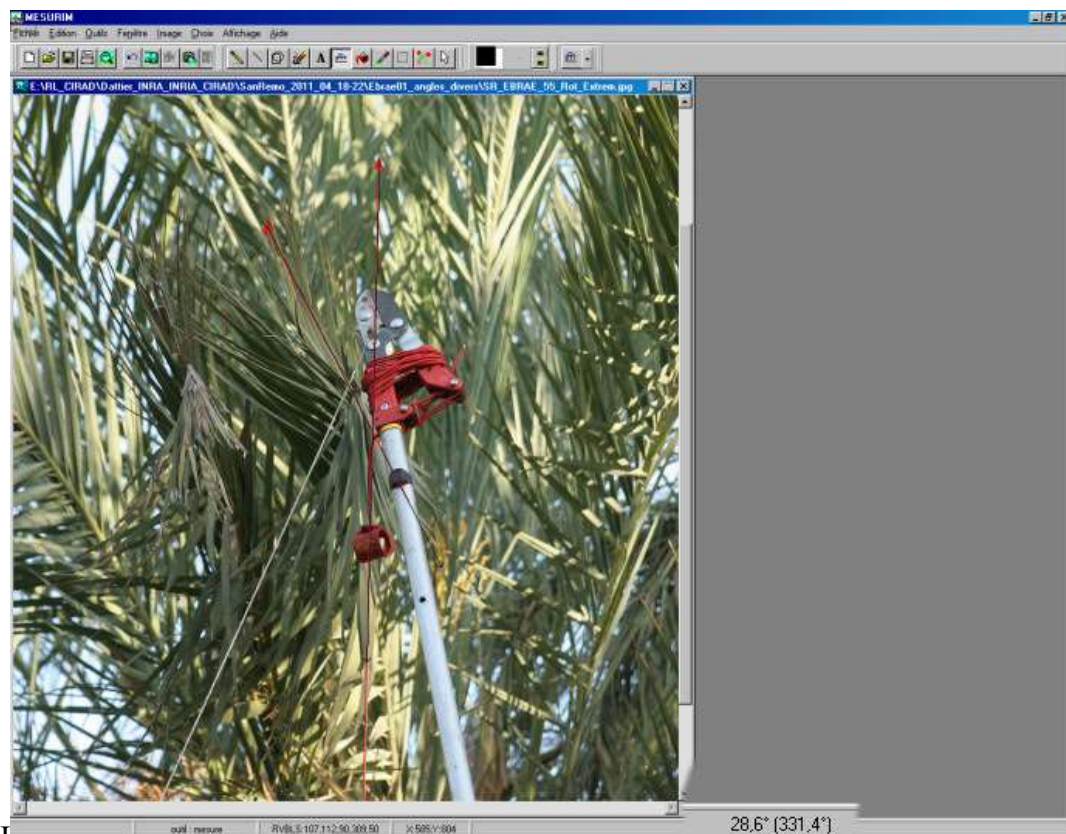


L

a mesure donnée par le logiciel vaut 17,49°, compte tenu de la précision la valeur 17,5° sera enregistrée

Rang de la palme		
Sens de déviation (dos au stipe)		
Distance au stipe du début de déviation sensible du rachis		
Angle final de déviation à l'extrémité de la palme		
Distance au stipe du début de rotation sensible du rachis		
Angle orthogonal au plan foliaire à l'extrémité de la palme		

5.3 Angle de rotation du plan médian des folioles



L
a mesure donnée par le logiciel vaut $28,6^\circ$, compte tenu de la précision la valeur $118,6^\circ$ sera enregistrée ($28,6+90$)

Protocole de l'itinéraire technique de mesure des inflorescences (mise en place par zango)

Matériels de terrain

1. Réglet ou tige métallique destinée à mesurer le reste de l'inflorescence
2. Appareil photo
3. Scie et sécateur
4. Pieds à coulisse
5. Marqueurs,
6. Rapporteur et cercle trigonométrique
7. Feuille de saisie crayon, gomme et schott

Sur le terrain

1. Appareil photo
2. marqueurs
3. réglet
4. scie et sécateur

Au labo

1. Mettre ruban
2. sécateur
3. Marqueurs et schott
4. Pieds à coulisse
5. Rapporteur et cercle trigonométrique
6. Appareil photo

Conduite des mesures (ordre de mesures) au labo

1. Bracté
2. Pédoncule
3. Epillets
4. Rachis
5. Fleurs ou fruits

Mesure par organe

Bracté

1. Longueur
2. Largeur et hauteur à plusieurs points de contrôle (généralement 10cm)
3. Bending
4. Torsion (s'elle existe)

Pédoncule

1. Longueur
2. Largeur et hauteur les deux extrémités et le milieu
3. Torsion s'elle existe

Epillets

1. Longueur totale
2. Longueur fertile ou stérile
3. Diamètre tous les 10cm
4. Position absolue du premier épillet du pseudo-verticille sur le rachis
5. Position absolue des autres épillets par rapport au premier du pseudo verticille considérer
6. Angle d'insertion d'épillet le plus proche du rachis du pseudo verticille considérer
7. Angle de divergence axial entre les épillets le plus proche et le plus écarter du rachis
8. Angle de divergence radiale entre les deux épillets extrêmes du pseudo-verticille dans un plan radial

9. Angle radiale des pseudos verticille.

5. Préparation des fiches de saisie pour le terrain ;
6. Repérer les plantes et éventuellement leur phyllotaxie à travers les parastiches d'ordre 8 et 5.
7. Repérer la flèche (la première palme incomplètement déployée) et la considérer comme palme N°1, puis numéroter positivement les palmes vers la base de la couronne. Attribuer à l'inflorescence le rang de la palme qui l'axile (porter ces numéros avec un marqueur sur le pédoncule et la nervure des organes considéré) ;
8. Observer l'architecture et la structure des inflorescences en considérant : le mode d'apparition des inflorescences sur le stipe, leur position par rapport à la palme axillante dans la couronne, la direction et le mode de leur croissance au sein de la couronne, leur mode de ramification, la couleur du stalk en fonction de sa position dans la couronne.
9. Prendre des photographies de dessous et de côté des inflorescences ;
10. Couper soigneusement les inflorescences (déjà marquées et photographiées) retenues pour l'échantillonnage à l'aide d'une scie d'arboriculteur à partir de la première partie visible sur le stipe. La partie du pédoncule restante sous les gaines sur le stipe est évaluée en enfonçant (jusqu'à l'insertion) un réglet métallique gradué en millimètres entre le reste de pédoncule et le stipe ;
11. On mesure la longueur du pédoncule (figure 1) qui est la longueur depuis son point d'attache sur le stipe jusqu'à l'insertion du premier épillet. La largeur et la hauteur, du pédoncule se mesurent à trois points de contrôle différents : la base qui est la première partie visible du pédoncule, le milieu du pédoncule et l'extrémité du pédoncule (juste avant l'insertion du premier épillet). Les pédoncules sont ensuite coupés à partir de l'insertion du premier épillet ;
12. le numéro (1 ; 2 ; ...) de chaque pseudo-verticille est noté sur le rachis en commençant par le pseudo-verticille le plus basale (N°1). Au sein d'un même pseudo-verticille, les épillets sont numérotés (1 ; 2 ; 3 ;) à la base en commençant par l'épillet le plus basale du pseudo-verticille. Les positions des deux épillets extrêmes (le plus basale et le plus en haut) sont repérées par rapport à la longueur totale du stalk ;
13. La longueur des épillets (figure 1) est décrite en trois types de longueurs. La longueur dite totale qui est la longueur depuis le point d'attache de l'épillet sur le rachis jusqu'à son apex, puis la longueur dite stérile qui est la longueur depuis le point d'attache de l'épillet sur le rachis jusqu'à l'insertion de la première fleur sur l'épillet et enfin la longueur fertile, la partie qui porte les fruits, obtenue par différence entre la longueur totale et la longueur stérile. Le diamètre des épillets se mesure à la base des épillets juste après le *pulvinus* (renflement situé à la base de l'épillet correspondant à la zone différenciée qui constitue l'articulation de l'épillet avec le rachis) et tous les 10 cm jusqu'à l'apex ;
14. Chaque épillet est coupé à hauteur de 3cm maxi pour permettre la mesure prochaine des angles concernant le pseudo-verticille, il porte le numéro du pseudo-verticille auquel il appartient suivi du numéro laissé sur sa base ;
15. Les positions des fleurs et ou des fruits sur l'épillet sont également repérées sur un échantillon de 5 épillets par inflorescence choisis le long du stalk (avec un mètre ruban) ;
16. ; Pour mesurer l'angle de rotation du pédoncule, on peut procéder de la sorte : projeter horizontalement sur un papier A3, les deux plans verticaux en les maintenant fixe avec deux pieds à coulisse. L'angle formé par les deux plans (figure 1 ci-dessus) est là est celui de la rotation de l'organe considéré ; L'angle de torsion est l'angle (figure 3.A)

entre le plan contenant une face à la base de l'organe (pédoncule, rachis ou épillet) et le plan contenant la même face à son extrémité. L'angle de torsion a été évalué à l'aide d'un dispositif qui a permis de projeter les deux plans sur papier A3 et d'un rapporteur (annexe 1) ;



Figure 1: Evaluation de la torsion du pédoncule

17. Une fois le rachis dégagé des épillets, on projette les directions principales des deux épillets extrêmes d'un pseudo-verticille dans plan radial, afin de mesurer l'angle de divergence radial des épillets d'un pseudo-verticille. L'angle de divergence radial des épillets d'un pseudo-verticille (figure 3.D) est l'angle entre les directions principales des deux épillets externes d'un pseudo-verticille dans un plan radial. Il a été mesuré à l'aide d'un rapporteur après avoir projeté les directions principales des deux épillets extrêmes du pseudo-verticille sur un papier A3 ;
18. L'angle axial ou angle d'insertion du pédoncule (figure 3.A & B), est l'angle entre l'axe du stipe et l'axe du pédoncule se mesure sur une photographie des inflorescences en prise de vue latérale grâce au logiciel Mesurim,;
19. L'angle axial du pseudo-verticille se mesure par projection de la direction principale de l'épillet le plus proche du rachis et la direction principale du rachis. L'angle axial de pseudo-verticille se mesure à l'aide d'un rapporteur, après avoir fait les projections sur un papier A3 ;
20. L'angle axial de divergence des épillets d'un pseudo-verticille (figure 3.B) se mesure en projetant la direction principale de l'épillet le plus proche du rachis et l'épillet de celle de l'épillet le plus éloignée du rachis dans le plan axial. Il se mesure à l'aide d'un rapporteur, après avoir projeté les directions principales des deux épillets sur papier A3 ;
21. L'angle de déviation latérale se mesure (figure 3.C) entre la direction principale de l'inflorescence à la base de la palme axillante, et la direction finale de l'apex de cette inflorescence dans un plan horizontal. Elle se mesure sur des photographies prises sur pied, de l'inflorescence vue de dessous, à l'aide du logiciel Mesurim ;
22. L'angle de flexion (ou de bending, figure la 3.A) se mesure en plusieurs points de contrôle sur les photographies prises sur pied, de l'inflorescence en vue latérale, ou tout simplement la mesure de l'angle formé par la tangente à la base du pédoncule et la tangente au bout du rachis dans un plan vertical à l'aide du logiciel Mesurim;
23. L'angle radial ou angle de phyllotaxie (pseudo-verticille sur rachis ou fleur sur épillets) se mesure entre les plans verticaux d'insertion de deux organes successifs. Le point d'insertion du pseudo-verticille est le point d'insertion de son épillet central, si le

nombre de ses épillets est pair ou la position médiane si le nombre de ses épillets est impair ou fleur a été projetée sur le cercle à l'aide d'une équerre afin d'évaluer l'angle qu'il forme avec le point d'insertion du premier organe (pseudo-verticille sur le rachis ou fleur sur les épillets) considéré comme repère dans le sens trigonométrique. Enfin la phyllotaxie est obtenue en faisant la différence entre deux valeurs d'angles successifs à condition que cette différence n'excède pas 180° , sinon, si plusieurs différences consécutives sont supérieures à 180° , on assiste à un changement de sens de la phyllotaxie. Il faut aussi noter que la phyllotaxie a été évaluée avec une précision de l'ordre de $\pm 5^\circ$;

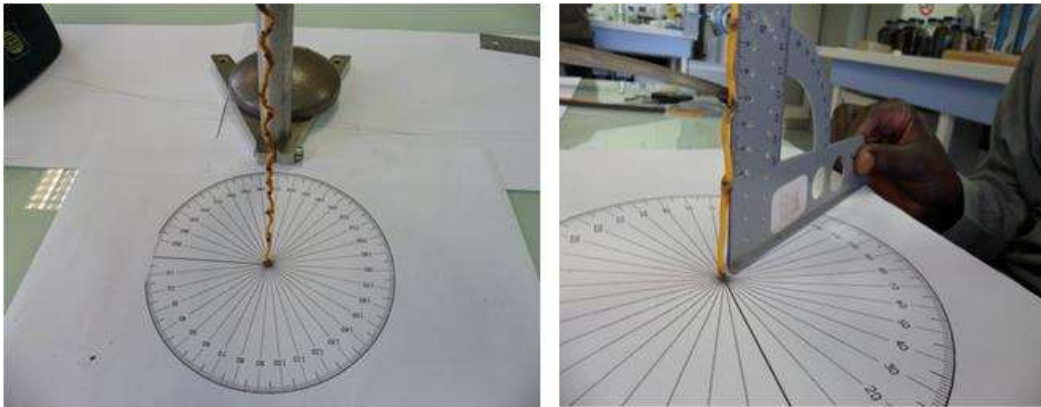


Figure 2: Evaluation de la phyllotaxie des fleurs

Les données issues des mesures des paramètres morphologiques et géométriques des inflorescences ont été analysées statistiquement et ajustées par régressions linéaires avec les logiciels R et XLStat. Pour un besoin de modélisation, seules les régressions linéaires ont été utilisées afin de visualiser les relations qui peuvent exister entre ces différents caractères. Dans la plupart des cas, nous utilisons la position relative ([position absolue sur le porteur * 100] / la longueur totale du porteur) des épillets ou des fleurs sur le stalk ou sur l'épillet pour les régressions. Les résultats de l'analyse nous ont servi aux calculs des maquettes (2D) et tridimensionnelles (3D)

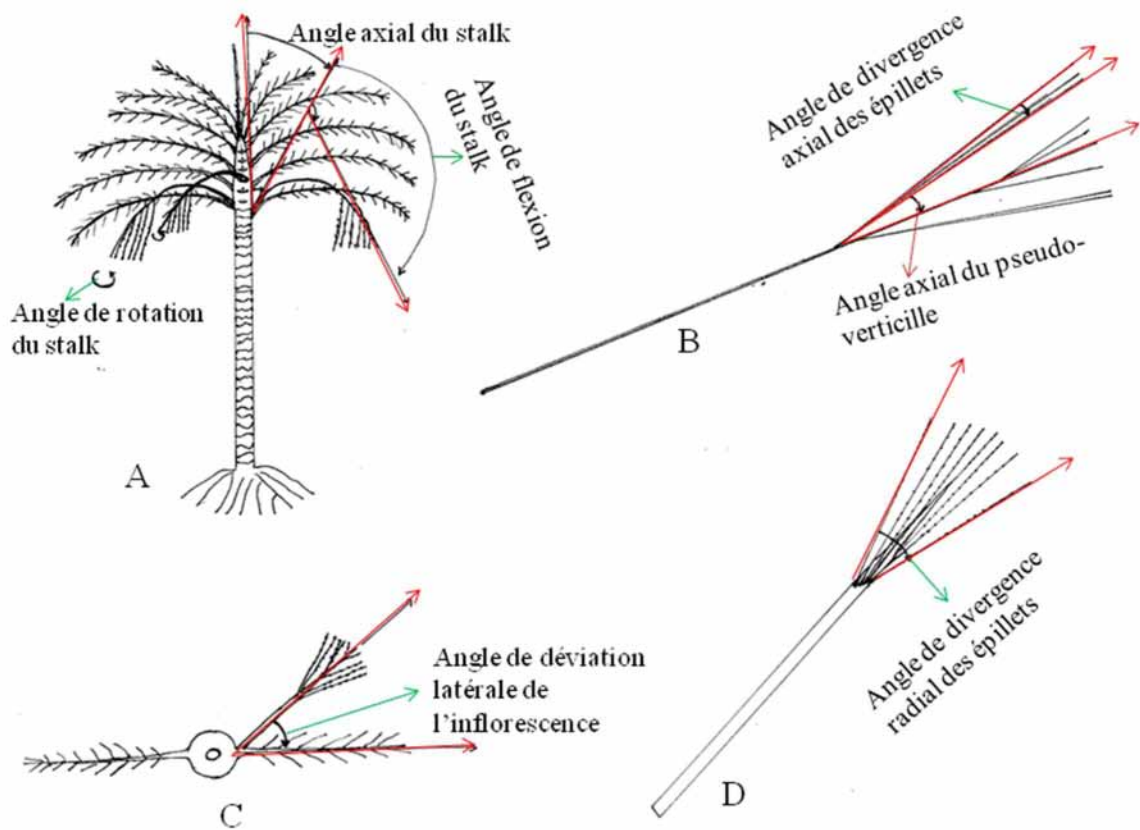


Figure 3 : Mesures des angles d'insertion, de bending et de divergence des inflorescences

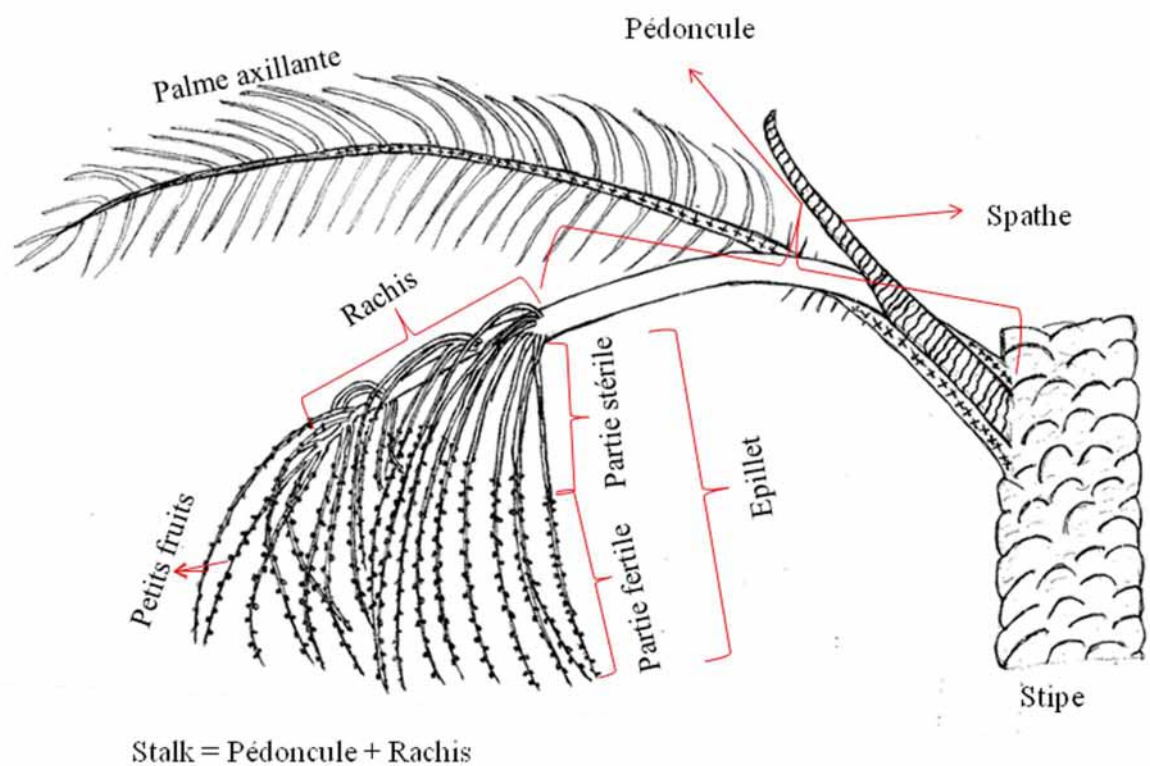


Figure 3 : Mesures des longueurs des inflorescences

Résumé

Le Sahel est une zone aride aujourd'hui menacée par les changements climatiques qui entraînent une grande vulnérabilité sociale et environnementale. L'agriculture des pays sahéliens doit faire face à cette évolution pour assurer la sécurité alimentaire de leurs populations croissantes. L'utilisation d'espèces végétales de grande plasticité phénologique comme le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.), fait partie des réponses face à des conditions pédoclimatiques difficiles auxquelles peu de plantes sont adaptées. L'objectif de cette thèse est d'améliorer nos connaissances sur les pratiques culturelles, les savoirs locaux autour du palmier dattier et la diversité génétique et morphologique de cette espèce afin de promouvoir le développement durable de l'agriculture oasienne au Sahel. Ainsi, nous avons conduit une enquête socio-économique auprès de 30 producteurs de palmier dattier dans 14 villages du Sud-Est du Niger. Parallèlement à cette enquête nous avons collecté 113 échantillons de jeunes folioles, prélevées sur 31 mâles et 82 femelles de palmier dattier dans 19 cuvettes oasiennes. Notre étude a permis d'identifier 19 variétés-populations de palmier dattier distinguées sur la base de la couleur du fruit. Le palmier dattier présente une particularité de double floraison associée à deux saisons de productions de dattes dans le Sahel. La période février-juillet est la plus productive mais l'arrivée précoce des pluies limite la qualité des fruits. L'évaluation des connaissances locales associées à la phœniciculture a permis d'établir que même si les pratiques culturelles sont moins développées que dans le Nord du pays ou dans le Maghreb, les profits dégagés par la culture des dattes contribuent considérablement à la survie des ménages. Par ailleurs, l'analyse génétique des palmiers dattiers du Sud-est du Niger a montré qu'ils constituent un groupe original avec une grande diversité génétique. De plus, cette ressource appartient au pool génétique occidental et est l'une des moins introgressée par des contributions génétiques orientales. L'analyse génétique globale révèle un nouveau groupe au Sud-est Niger différent de celui d'Afrique du Nord et soulève la question de son origine. Enfin, nous avons mis en évidence l'existence de traits architecturaux discriminant les palmiers dattiers du Sahel. Nous avons ainsi élaboré un modèle architectural permettant le calcul de l'interception lumineuse et des espacements nécessaires pour une bonne cohabitation des palmiers et des cultures sous-jacentes afin d'optimiser la production agricole. Notre étude a montré que la culture du palmier dattier constitue un élément clé pour l'amélioration des conditions de vie des populations, la lutte contre la malnutrition et l'équilibre agro-écologique dans le Sahel. Elle constitue un préalable indispensable à la conservation, la valorisation et l'amélioration du patrimoine phœnicicole. Enfin, le modèle architectural fonctionnel permettra de mettre à disposition un outil opérationnel pour la gestion durable des cultures du palmier dattier au Sahel.

Mots clés : Agriculture oasienne, changement climatique, connaissance locale, diversité génétique, modèle architectural, Niger, palmier dattier, Sahel, variété, sécurité alimentaire.

Abstract

The Sahel is an arid area threatened by climate change that causes great social and environmental vulnerability. Agriculture in Sahel is facing this change to ensure food security for growing populations. The use of plant species with phenological plasticity such as the date palm (*Phoenix dactylifera* L.), is one of the responses to hard soil and climate conditions to which few plants are adapted. The objective of this thesis is to improve our knowledge on cultural practices, local knowledge around the date palm and genetic and morphological diversity of this species in order to promote sustainable development of oasis agriculture in the Sahel. Thus, we conducted a socioeconomic survey of 30 date palm farmers in 14 villages in Southeastern Niger. Alongside this survey, we collected 113 samples of young leaflets taken from 31 males and 82 females in 19 date palm oasis basins. Our study identified 19 date palm population varieties distinguished on the basis of the fruit color. Date palm has a special double flowering associated with two fruit production seasons in the Sahel. The February-July period is the most productive but early rains limit fruit quality. The evaluation of local knowledge associated with date palm has shown that even if cultural practices are less developed than in the North of the country or in the Maghreb, the profits from the date cultivation significantly contribute to household survival. Furthermore, genetic analysis of date palms in Southeast of Niger has shown that they are a unique group with high genetic diversity. In addition, this germplasm belongs to the Western gene pool and is one of the least introgressed by oriental genetic contributions. The overall genetic analysis revealed a new group in Southern Niger different from that of North Africa and raises the question of its origin. Finally, we have demonstrated the existence of discriminating architectural features in Sahelian date palms. We have developed an architectural model for the calculation of the light interception and spaces necessary for good cohabitation between date palms and crops to optimize agricultural production. Our study showed that the date palm cultivation plays a key role in improving living conditions of the population, fight against hunger and agro-ecological balance in the Sahel. It is a prerequisite to the preservation, valorization and improvement of date palm genetic resources. Finally, the functional architectural model will enable to provide an operational tool for the sustainable management of date palm cultivation in the Sahel.

Keywords: Architectural model, climate change, date palm, food safety, genetic diversity, local knowledge, Niger, oasis agriculture, Sahel, variety.