

UNIVERSITE DE YAOUNDE I  
THE UNIVERSITY OF YAOUNDE I

FACULTE DES SCIENCES  
FACULTY OF SCIENCE



CENTRE DE RECHERCHE ET DE FORMATION DOCTORALE EN SCIENCES DE  
LA VIE, SANTE ET ENVIRONNEMENT

CENTRE FOR RESEARCH AND TRAINING IN GRADUATE STUDIES IN LIFE SCIENCE,  
HEALTH & ENVIRONMENTAL SCIENCES

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE VEGETALES  
DEPARTMENT OF PLANT BIOLOGY

Laboratoire de Biotechnologies Végétales et Environnement

## **Agrobiodiversité du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) au Tchad**

### **Thèse**

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de  
**Doctorat/PhD en Biologie des Organismes Végétaux**  
Option : **Biotechnologies Végétales**  
Spécialité : **Génétique et Amélioration des Plantes**

Par :

**ABBA MAHMOUD OUMAR HISSEIN**

**Matricule : 12S0317**

*Master of Science*

Soutenue publiquement le 25 avril 2024 devant le Jury composé ainsi qu'il suit :

- Président** : AMBANG Zachée, *Professeur*, Université de Yaoundé I  
**Rapporteurs** : BELL Joseph Martin, *Professeur*, Université de Yaoundé I  
BAKASSO Yacoubou, *Professeur*, Université Abdou Moumouni de Niamey  
**Membres** : NDONGO BEKOLO, *Professeur*, Université de Yaoundé I  
NGALLE Hermine BILLE, *Maître de Conférences*, Université de Yaoundé I  
KOUAM Éric Bertrand, *Maître de Conférences*, Université de Dschang

**Année 2024**

## LISTE PROTOCOLAIRE

<b>UNIVERSITÉ DE YAOUNDÉ I</b>  <b>Faculté des Sciences</b>  Division de la Programmation et du  Suivi des Activités Académiques		<b>THE UNIVERSITY OF YAOUNDE I</b>  <b>Faculty of Science</b>  Division of Programming and Follow-up  of Academic Affairs
<b>LISTE DES ENSEIGNANTS PERMANENTS</b>	<b>LIST OF PERMANENT TEACHING STAFF</b>	

**ANNÉE ACADEMIQUE 2022/2023**

(Par Département et par Grade)

**DATE D'ACTUALISATION 31 MAI 2023**

### ADMINISTRATION

**DOYEN** : TCHOUANKEU Jean- Claude, *Maître de Conférences*

**VICE-DOYEN / DPSAA**: ATCHADE Alex de Théodore, *Professeur*

**VICE-DOYEN / DSSE** : NYEGUE Maximilienne Ascension, *Professeur*

**VICE-DOYEN / DRC** : ABOSSOLO ANGUE Monique, *Maître de Conférences*

**Chef Division Administrative et Financière** : NDOYE FOE Florentine Marie Chantal, *Maître de Conférences*

**Chef Division des Affaires Académiques, de la Recherche et de la Scolarité DAARS** : AJEAGAH Gideon AGHAINDUM, *Professeur*

<b>1- Département de Biochimie (BC) (43)</b>
--

N°	Noms et Prénoms	Grade	Observations
1.	BIGOGA DAIGA Jude	Professeur	En poste
2.	FEKAM BOYOM Fabrice	Professeur	En poste
3.	KANSCI Germain	Professeur	En poste
4.	MBACHAM FON Wilfred	Professeur	En poste
5.	MOUNDIPA FEWOU Paul	Professeur	<i>Chef de Département</i>
6.	NGUEFACK Julienne	Professeur	En poste

7.	NJAYOU Frédéric Nico	Professeur	En poste
8.	OBEN Julius ENYONG	Professeur	En poste
9.	ACHU Merci BIH	Maître de Conférences	En poste
10.	ATOUGHO Barbara MMA	Maître de Conférences	En poste
11.	AZANTSA KINGUE GABIN BORIS	Maître de Conférences	En poste
12.	BELINGA née NDOYE FOE F. M. C.	Maître de Conférences	<i>Chef DAF / FS</i>
13.	DJUIDJE NGOUNOUE Marceline	Maître de Conférences	En poste
14.	DJUIKWO NKONGA Ruth Viviane	Maître de Conférences	En poste
15.	EFFA ONOMO Pierre	Maître de Conférences	<i>VD/FS/Univ Ebwa</i>
16.	EWANE Cécile Annie	Maître de Conférences	En poste
17.	KOTUE TAPTUE Charles	Maître de Conférences	En poste
18.	LUNGA Paul KEILAH	Maître de Conférences	En poste
19.	MBONG ANGIE M. Mary Anne	Maître de Conférences	En poste
20.	MOFOR née TEUGWA Clotilde	Maître de Conférences	<i>Doyen FS / UDs</i>
21.	NANA Louise épouse WAKAM	Maître de Conférences	En poste
22.	NGONDI Judith Laure	Maître de Conférences	En poste
23.	TCHANA KOUATCHOUA Angèle	Maître de Conférences	En poste
24.	AKINDEH MBUH NJI	Chargé de Cours	En poste
25.	BEBEE Fadimatou	Chargée de Cours	En poste

26.	BEBOY EDJENGUELE Sara Nathalie	Chargé de Cours	En poste
27.	DAKOLE DABOY Charles	Chargé de Cours	En poste
28.	DONGMO LEKAGNE Joseph Blaise	Chargé de Cours	En poste
29.	FONKOUA Martin	Chargé de Cours	En poste
30.	FOUPOUAPOUOGNIGNI Yacouba	Chargé de Cours	En poste
31.	KOUOH ELOMBO Ferdinand	Chargé de Cours	En poste
32.	MANANGA Marlyse Joséphine	Chargée de Cours	En poste
33.	OWONA AYISSI Vincent Brice	Chargé de Cours	En poste
34.	Palmer MASUMBE NETONGO	Chargé de Cours	En poste
35.	PECHANGOU NSANGOU Sylvain	Chargé de Cours	En poste
36.	WILFRED ANGIE ABIA	Chargé de Cours	En poste
37.	BAKWO BASSOGOG Christian Bernard	Assistant	En Poste
38.	ELLA Fils Armand	Assistant	En Poste
39.	EYENGA Eliane Flore	Assistant	En Poste
40.	MADIESSE KEMGNE Eugenie Aimée	Assistant	En Poste
41.	MANJIA NJIKAM Jacqueline	Assistant	En Poste
42.	MBOUCHE FANMOE Marceline Joëlle	Assistant	En poste
43.	WOGUIA Alice Louise	Assistant	En Poste

## 2- Département de BioLOGIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALES (BPA) (52)

1.	AJEAGAH Gideon AGHAINDUM	Professeur	DAARS/FS
2.	BILONG BILONG Charles-Félix	Professeur	<i>Chef de Département</i>
3.	DIMO Théophile	Professeur	En Poste
4.	DJIETO LORDON Champlain	Professeur	En Poste
5.	DZEUFJET DJOMENI Paul Désiré	Professeur	En Poste

6.	ESSOMBA née NTSAMA MBALA	Professeur	<i>CD et Vice Doyen/FMSB/UYI</i>
7.	FOMENA Abraham	Professeur	En Poste
8.	KEKEUNOU Sévilor	Professeur	En poste
9.	NJAMEN Dieudonné	Professeur	En poste
10	NJIOKOU Flobert	Professeur	En Poste
11	NOLA Moïse	Professeur	En poste
12	TAN Paul VERNYUY	Professeur	En poste
13	TCHUEM TCHUENTE Louis Albert	Professeur	<i>Inspecteur de service / Coord.Progr./MINSANTE</i>
14	ZEBAZE TOGOUET Serge Hubert	Professeur	En poste
15	ALENE Désirée Chantal	Maître de Conférences	<i>Vice Doyen/ Uté Ebwa</i>
16	BILANDA Danielle Claude	Maître de Conférences	En poste
17	DJIOGUE Séfirin	Maître de Conférences	En poste
18	GOUNOUE KAMKUMO Raceline épouse FOTSING	Maître de Conférences	En poste
19	JATSA BOUKENG Hermine épouse MEGAPTCHÉ	Maître de Conférences	En Poste
20	LEKEUFACK FOLEFACK Guy B.	Maître de Conférences	En poste
21	MAHOB Raymond Joseph	Maître de Conférences	En poste
22	MBENOUN MASSE Paul Serge	Maître de Conférences	En poste
23	MEGNEKOU Rosette	Maître de Conférences	En poste
24	MOUNGANG Luciane Marlyse	Maître de Conférences	En poste
25	NOAH EWOTI Olive Vivien	Maître de Conférences	En poste

26	MONY Ruth épouse NTONE	Maître de Conférences	En Poste
27	NGUEGUIM TSOFAK Florence	Maître de Conférences	En poste
28	NGUEMBOCK	Maître de Conférences	En poste
29	TAMSA ARFAO Antoine	Maître de Conférences	En poste
30	TOMBI Jeannette	Maître de Conférences	En poste
31	ATSAMO Albert Donatien	Chargé de Cours	En poste
32	BASSOCK BAYIHA Etienne Didier	Chargé de Cours	En poste
33	ETEME ENAMA Serge	Chargé de Cours	En poste
34	FEUGANG YOUMSSI François	Chargé de Cours	En poste
35	FOKAM Alvine Christelle Epse KENGNE	Chargé de Cours	En poste
36	GONWOUO NONO Legrand	Chargé de Cours	En poste
37	KANDEDA KAVAYE Antoine	Chargé de Cours	En poste
38	KOGA MANG DOBARA	Chargé de Cours	En poste
39	LEME BANOCK Lucie	Chargé de Cours	En poste
40	MAPON NSANGOU Indou	Chargé de Cours	En poste
41	METCHI DONFACK MIREILLE FLAURE EPSE GHOUMO	Chargé de Cours	En poste
42	MVEYO NDANKEU Yves Patrick	Chargé de Cours	En poste
43	NGOUATEU KENFACK Omer Bébé	Chargé de Cours	En poste
44	NJUA Clarisse YAFI	Chargée de Cours	<i>Chef Div. Uté Bamenda</i>
45	NWANE Philippe Bienvenu	Chargé de Cours	En poste
46	TADU Zephyrin	Chargé de Cours	En poste
47	YEDE	Chargé de Cours	En poste
48	YOUNOUSSA LAME	Chargé de Cours	En poste

49	AMBADA NDZENGUE GEORGIA ELNA	Assistante	En poste
50	KODJOM WANCHE Jacguy Joyce	Assistante	En poste
51	NDENGUE Jean De Matha	Assistant	En poste
52	ZEMO GAMO Franklin	Assistant	En poste

### 3- DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE VÉGÉTALES (BPV) (34)

1.	AMBANG Zachée	Professeur	<i>Chef de Département</i>
2.	DJOCGOUE Pierre François	Professeur	En poste
3.	MBOLO Marie	Professeur	En poste
4.	MOSSEBO Dominique Claude	Professeur	En poste
5.	YOUMBI Emmanuel	Professeur	En poste
6.	ZAPFACK Louis	Professeur	En poste
7.	NDONGO BEKOLO	Professeur	En poste
8.	ANGONI Hyacinthe	Maître de Conférences	En poste
9.	BIYE Elvire Hortense	Maître de Conférences	En poste
10	MAHBOU SOMO TOUKAM. Gabriel	Maître de Conférences	En poste
11	MALA Armand William	Maître de Conférences	En poste
12	MBARGA BINDZI Marie Alain	Maître de Conférences	<i>DAAC /UDla</i>
13	NGALLE Hermine BILLE	Maître de Conférences	En poste
14	NGODO MELINGUI Jean Baptiste	Maître de Conférences	En poste
15	NGONKEU MAGAPTCHE Eddy L.	Maître de Conférences	<i>CT / MINRESI</i>
16	TONFACK Libert Brice	Maître de Conférences	En poste
17	TSOATA Esaïe	Maître de Conférences	En poste
18	ONANA JEAN MICHEL	Maître de Conférences	En poste
19	DJEUANI Astride Carole	Chargé de Cours	En poste
20	GONMADGE CHRISTELLE	Chargée de Cours	En poste

21	MAFFO MAFFO Nicole Liliane	Chargé de Cours	En poste
22	NNANGA MEBENGA Ruth Laure	Chargé de Cours	En poste
23	NOUKEU KOUAKAM Armelle	Chargé de Cours	En poste
24	NSOM ZAMBO EPSE PIAL ANNIE CLAUDE	Chargé de Cours	<i>En détachement/UNESCO MALI</i>
25	GODSWILL NTSOMBOH NTSEFONG	Chargé de Cours	En poste
26	KABELONG BANAHOU Louis-Paul- Roger	Chargé de Cours	En poste
27	KONO Léon Dieudonné	Chargé de Cours	En poste
28	LIBALAH Moses BAKONCK	Chargé de Cours	En poste
29	LIKENG-LI-NGUE Benoit C	Chargé de Cours	En poste
30	TAEDOUNG Evariste Hermann	Chargé de Cours	En poste
31	TEMEGNE NONO Carine	Chargé de Cours	En poste
32	MANGA NDJAGA JUDE	Chargé de Cours	En poste
33	DIDA LONTSI Sylvere Landry	Assistant	En poste
34	METSEBING Blondo-Pascal	Assistant	En poste

#### 4- DÉPARTEMENT DE CHIMIE INORGANIQUE (CI) (28)

1.	GHOGOMU Paul MINGO	Professeur	<i>Ministre Chargé de Mission PR</i>
2.	NANSEU NJIKI Charles Péguy	Professeur	En poste
3.	NDIFON Peter TEKE	Professeur	<i>CT MINRESI</i>
4.	NENWA Justin	Professeur	En poste
5.	NGAMENI Emmanuel	Professeur	<i>Doyen FS Univ.Ngaoundere</i>
6.	NGOMO Horace MANGA	Professeur	<i>Vice Chancellor/UB</i>
7.	NJOYA Dayirou	Professeur	En poste

8.	ACAYANKA Elie	Maître de Conférences	En poste
9.	EMADAK Alphonse	Maître de Conférences	En poste
10	KAMGANG YOUBI Georges	Maître de Conférences	En poste
11	KEMMEGNE MBOUGUEM Jean C.	Maître de Conférences	En poste
12	KENNE DEDZO GUSTAVE	Maître de Conférences	En poste
13	MBEY Jean Aime	Maître de Conférences	En poste
14	NDI NSAMI Julius	Maître de Conférences	<i>Chef de Département</i>
15	NEBAH Née NDOSIRI Bridget NDOYE	Maître de Conférences	<i>Sénatrice/SENAT</i>
16	NJIOMOU C. épouse DJANGANG	Maître de Conférences	En poste
17	NYAMEN Linda Dyorisse	Maître de Conférences	En poste
18	PABOUDAM GBAMBIE AWAWOU	Maître de Conférences	En poste
19	TCHAKOUTE KOUAMO Hervé	Maître de Conférences	En poste
20	BELIBI BELIBI Placide Désiré	Maître de Conférences	<i>Chef Service/ ENS Bertoua</i>
21	CHEUMANI YONA Arnaud M.	Maître de Conférences	En poste
22	KOUOTOU DAOUDA	Maître de Conférences	En poste
23	MAKON Thomas Beauregard	Chargé de Cours	En poste
24	NCHIMI NONO KATIA	Chargée de Cours	En poste
25	NJANKWA NJABONG N. Eric	Chargé de Cours	En poste
26	PATOUOSSA ISSOFA	Chargé de Cours	En poste
27	SIEWE Jean Mermoz	Chargé de Cours	En Poste
28	BOYOM TATCHEMO Franck W.	Assistant	En Poste

#### **5- DÉPARTEMENT DE CHIMIE ORGANIQUE (CO) (37)**

1.	Alex de Théodore ATCHADE	Professeur	<i>Vice-Doyen / DPSAA</i>
2.	DONGO Etienne	Professeur	<i>Vice-Doyen/FSE/UYYI</i>

3.	NGOUELA Silvère Augustin	Professeur	<i>Chef de Département UDS</i>
4.	PEGNYEMB Dieudonné Emmanuel	Professeur	<i>Directeur/ MINESUP/ Chef de Département</i>
5.	WANDJI Jean	Professeur	En poste
6.	MBAZOA née DJAMA Céline	Professeur	En poste
7.	AMBASSA Pantaléon	Maître de Conférences	En poste
8.	EYONG Kenneth OBEN	Maître de Conférences	En poste
9.	FOTSO WABO Ghislain	Maître de Conférences	En poste
10	KAMTO Eutrophe Le Doux	Maître de Conférences	En poste
11	KENMOGNE Marguerite	Maître de Conférences	En poste
12	KEUMEDJIO Félix	Maître de Conférences	En poste
13	KOUAM Jacques	Maître de Conférences	En poste
14	MKOUNGA Pierre	Maître de Conférences	En poste
15	MVOT AKAK CARINE	Maître de Conférences	En poste
16	NGO MBING Joséphine	Maître de Conférences	<i>Chef de Cellule MINRESI</i>
17	NGONO BIKOBO Dominique Serge	Maître de Conférences	<i>C.E.A/ MINESUP</i>
18	NOTE LOUGBOT Olivier Placide	Maître de Conférences	<i>DAAC/Uté Bertoua</i>
19	NOUNGOUE TCHAMO Diderot	Maître de Conférences	En poste
20	TABOPDA KUATE Turibio	Maître de Conférences	En poste
21	TAGATSING FOTSING Maurice	Maître de Conférences	En poste
22	TCHOUANKEU Jean-Claude	Maître de Conférences	<i>Doyen /FS/ UYI</i>
23	YANKEP Emmanuel	Maître de Conférences	En poste
24	ZONDEGOUMBA Ernestine	Maître de Conférences	En poste
25	MESSI Angélique Nicolas	Chargé de Cours	En poste
26	NGNINTEDO Dominique	Chargé de Cours	En poste
27	NGOMO Orléans	Chargée de Cours	En poste

28	NONO NONO Éric Carly	Chargé de Cours	En poste
29	OUAHOUE WACHE Blandine M.	Chargée de Cours	En poste
30	OUETE NANTCHOUANG Judith Laure	Chargée de Cours	En poste
31	SIELINOUE TEDJON Valérie	Chargé de Cours	En poste
32	TCHAMGOUE Joseph	Chargé de Cours	En poste
33	TSAFFACK Maurice	Chargé de Cours	En poste
34	TSAMO TONTSA Armelle	Chargé de Cours	En poste
35	TSEMEUGNE Joseph	Chargé de Cours	En poste
36	MUNVERA MFIFEN Aristide	Assistant	En poste
37	NDOGO ETEME Olivier	Assistant	En poste

**6- DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE (IN) (22)**

1.	ATSA ETOUNDI Roger	Professeur	<i>Chef de Division MINESUP</i>
2.	FOUDA NDJODO Marcel Laurent	Professeur	<i>Inspecteur Général/ MINESUP</i>
3.	NDOUNDAM René	Maître de Conférences	En poste
4.	TSOPZE Norbert	Maître de Conférences	En poste
5.	ABESSOLO ALO'O Gislain	Chargé de Cours	<i>Chef de Cellule MINFOPRA</i>
6.	AMINOUE HALIDOU	Chargé de Cours	<i>Chef de Département</i>
7.	DJAM Xaviera YOUH - KIMBI	Chargé de Cours	En Poste
8.	DOMGA KOMGUEM Rodrigue	Chargé de Cours	En poste
9.	EBELE Serge Alain	Chargé de Cours	En poste
10	HAMZA Adamou	Chargé de Cours	En poste
11	JIOMEKONG AZANZI Fidel	Chargé de Cours	En poste

12	KOUOKAM KOUOKAM E. A.	Chargé de Cours	En poste
13	MELATAGIA YONTA Paulin	Chargé de Cours	En poste
14	MESSI NGUELE Thomas	Chargé de Cours	En poste
15	MONTHE DJIADEU Valery M.	Chargé de Cours	En poste
16	NZEKON NZEKO'O ARMEL JACQUES	Chargé de Cours	En poste
17	OLLE OLLE Daniel Claude Georges Delort	Chargé de Cours	<i>Sous-Directeur ENSET Ebolowa</i>
18	TAPAMO Hyppolite	Chargé de Cours	En poste
19	BAYEM Jacques Narcisse	Assistant	En poste
20	EKODECK Stéphane Gaël Raymond	Assistant	En poste
21	MAKEMBE. S . Oswald	Assistant	<i>Directeur CUTI</i>
22	NKONDOCK. MI. BAHANACK.N.	Assistant	En poste

**7- DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES (MA) (33)**

1.	AYISSI Raoult Domingo	Professeur	<i>Chef de Département</i>
2.	KIANPI Maurice	Maître de Conférences	En poste
3.	MBANG Joseph	Maître de Conférences	En poste
4.	MBEHOU Mohamed	Maître de Conférences	En poste
5.	MBELE BIDIMA Martin Ledoux	Maître de Conférences	En poste
6.	NOUNDJEU Pierre	Maître de Conférences	<i>Chef Service des Programmes &amp; Diplômes/FS/UYI</i>
7.	TAKAM SOH Patrice	Maître de Conférences	En poste
8.	TCHAPNDA NJABO Sophonie B.	Maître de Conférences	<i>Directeur/AIMS Rwanda</i>
9.	TCHOUNDJA Edgar Landry	Maître de Conférences	En poste

10	AGHOUKENG JIOFACK Jean Gérard	Chargé de Cours	<i>Chef Cellule MINEPAT</i>
11	BOGSO ANTOINE Marie	Chargé de Cours	En poste
12	CHENDJOU Gilbert	Chargé de Cours	En poste
13	DJIADEU NGAHA Michel	Chargé de Cours	En poste
14	DOUANLA YONTA Herman	Chargé de Cours	En poste
15	KIKI Maxime Armand	Chargé de Cours	En poste
16	LOUMNGAM KAMGA Victor	Chargé de Cours	En poste
17	MBAKOP Guy Merlin	Chargé de Cours	En poste
18	MBATAKOU Salomon Joseph	Chargé de Cours	En poste
19	MENGUE MENGUE David Joël	Chargé de Cours	<i>Chef Dpt /ENS Université d'Ebolowa</i>
20	MBIAKOP Hilaire George	Chargé de Cours	En poste
21	NGUEFACK Bernard	Chargé de Cours	En poste
22	NIMPA PEFOUKEU Romain	Chargée de Cours	En poste
23	OGADOA AMASSAYOGA	Chargée de Cours	En poste
24	POLA DOUNDOU Emmanuel	Chargé de Cours	<i>En stage</i>
25	TCHEUTIA Daniel Duviol	Chargé de Cours	En poste
26	TETSADJIO TCHILEPECK M. Eric.	Chargé de Cours	En poste
27	BITYE MVONDO Esther Claudine	Assistante	En poste
28	FOKAM Jean Marcel	Assistant	En poste
29	GUIDZAVAI KOUCHERE Albert	Assistant	En poste
30	MANN MANYOMBE Martin Luther	Assistant	En poste
31	MEFENZA NOUNTU Thiery	Assistant	En poste
32	NYOUMBI DLEUNA Christelle	Assistant	En poste
33	TENKEU JEUFACK Yannick Léa	Assistant	En poste

<b>8- DÉPARTEMENT DE MICROBIOLOGIE (MIB) (24)</b>
---

1.	ESSIA NGANG Jean Justin	Professeur	<i>Chef de Département</i>
2.	NYEGUE Maximilienne Ascension	Professeur	<i>VICE-DOYEN / DSSE</i>
3.	ASSAM ASSAM Jean Paul	Maître de Conférences	En poste
4.	BOUGNOM Blaise Pascal	Maître de Conférences	En poste
5.	BOYOMO ONANA	Maître de Conférences	En poste
6.	KOUITCHEU MABEKU Epse KOUAM Laure Brigitte	Maître de Conférences	En poste
7.	RIWOM Sara Honorine	Maître de Conférences	En poste
8.	NJIKI BIKOÏ Jacky	Maître de Conférences	En poste
9.	SADO KAMDEM Sylvain Leroy	Maître de Conférences	En poste
10	ESSONO Damien Marie	Chargé de Cours	En poste
11	LAMYE Glory MOH	Chargé de Cours	En poste
12	MEYIN A EBONG Solange	Chargé de Cours	En poste
13	MONI NDEDI Esther Del Florence	Chargé de Cours	En poste
14	NKOUDOU ZE Nardis	Chargé de Cours	En poste
15	TAMATCHO KWEYANG Blandine Pulchérie	Chargé de Cours	En poste
16	TCHIKOUA Roger	Chargé de Cours	<i>Chef de Service de la Scolarité</i>
17	TOBOLBAÏ Richard	Chargé de Cours	En poste
18	NKOUÉ TONG Abraham	Assistant	En poste
19	SAKE NGANE Carole Stéphanie	Assistant	En poste
20	EZO'O MENGO Fabrice Télésfor	Assistant	En poste

21	EHETH Jean Samuel	Assistant	En poste
22	MAYI Marie Paule Audrey	Assistant	En poste
23	NGOUEMAM Romial Joël	Assistant	En poste
24	NJAPNDOUNKE Bilkissou	Assistant	En poste

<b>9. DEPARTEMENT DE PYSIQUE(PHY) (43)</b>
--

1.	BEN- BOLIE Germain Hubert	Professeur	En poste
2.	DJUIDJE KENMOE épouse ALOYEM	Professeur	En poste
3.	EKOBENA FOUA Henri Paul	Professeur	<i>Vice-Recteur. Uté Ngaoundéré</i>
4.	ESSIMBI ZOBO Bernard	Professeur	En poste
5.	HONA Jacques	Professeur	En poste
6.	NANA ENGO Serge Guy	Professeur	En poste
7.	NANA NBENDJO Blaise	Professeur	En poste
8.	NDJAKA Jean Marie Bienvenu	Professeur	<i>Chef de Département</i>
9.	NJANDJOCK NOUCK Philippe	Professeur	En poste
10.	NOUAYOU Robert	Professeur	En poste
11.	SAIDOU	Professeur	<i>Chef de centre/IRGM/MINRESI</i>
12.	TABOD Charles TABOD	Professeur	<i>Doyen FSUniv/Bda</i>
13.	TCHAWOUA Clément	Professeur	En poste
14.	WOAFO Paul	Professeur	En poste
15.	ZEKENG Serge Sylvain	Professeur	En poste
16.	BIYA MOTTO Frédéric	Maître de Conférences	<i>DG/HYDRO Mekin</i>
17.	BODO Bertrand	Maître de Conférences	En poste
18.	ENYEGUE A NYAM épse BELINGA	Maître de Conférences	En poste
19.	EYEBE FOUA Jean sire	Maître de Conférences	En poste

20.	FEWO Serge Ibraïd	Maître de Conférences	En poste
21.	MBINACK Clément	Maître de Conférences	En poste
22.	MBONO SAMBA Yves Christian U.	Maître de Conférences	En poste
23.	MEL'I Joelle Larissa	Maître de Conférences	En poste
24.	MVOGO ALAIN	Maître de Conférences	En poste
25.	NDOP Joseph	Maître de Conférences	En poste
26.	SIEWE SIEWE Martin	Maître de Conférences	En poste
27.	SIMO Elie	Maître de Conférences	En poste
28.	VONDOU Derbetini Appolinaire	Maître de Conférences	En poste
29.	WAKATA née BEYA Annie Sylvie	Maître de Conférences	<i>Directeur/ENS/UIYI</i>
30.	WOULACHE Rosalie Laure	Maître de Conférence	<i>En stage depuis février 2023</i>
31.	ABDOURAHIMI	Chargé de Cours	En poste
32.	AYISSI EYEBE Guy François Valérie	Chargé de Cours	En poste
33.	CHAMANI Roméo	Chargé de Cours	En poste
34.	DJIOTANG TCHOTCHOU Lucie Angennes	Chargée de Cours	En poste
35.	EDONGUE HERVAIS	Chargé de Cours	En poste
36.	FOUEJIO David	Chargé de Cours	<i>Chef Cell. MINADER</i>
37.	KAMENI NEMATCHOUA Modeste	Chargé de Cours	En poste
38.	LAMARA Maurice	Chargé de Cours	En poste
39.	OTTOU ABE Martin Thierry	Chargé de Cours	Directeur Unité de production des réactifs/IMPM
40.	TEYOU NGOUPO Ariel	Chargé de Cours	En poste
41.	WANDJI NYAMSI William	Chargé de Cours	En poste

42.	NGA ONGODO Dieudonné	Assistant	En poste
43.	SOUFFO TAGUEU Merimé	Assistant	En poste

**10- DÉPARTEMENT DE SCIENCES DE LA TERRE (ST) (42)**

1.	BITOM Dieudonné-Lucien	Professeur	<i>Doyen / FASA /UDs</i>
2.	NDAM NGOUPAYOU Jules-Remy	Professeur	En poste
3.	NDJIGUI Paul-Désiré	Professeur	<i>Chef de Département</i>
4.	NGOS III Simon	Professeur	En poste
5.	NKOUMBOU Charles	Professeur	En poste
6.	NZENTI Jean-Paul	Professeur	En poste
7.	ONANA Vincent Laurent	Professeur	<i>Chef de Département/Uté. Eb.</i>
8.	YENE ATANGANA Joseph Q.	Professeur	<i>Chef Div. /MINTP</i>

9.	ABOSSOLO née ANGUE Monique	Maître de Conférences	<i>Vice-Doyen / DRC</i>
10.	BISSO Dieudonné	Maître de Conférences	En poste
11.	EKOMANE Emile	Maître de Conférences	<i>Chef Div./Uté Ebolowa</i>
12.	Elisé SABABA	Maitre de Conférences	En poste
13.	FUH Calistus Gentry	Maître de Conférences	<i>Sec. d'Etat/MINMIDT</i>
14.	GANNO Sylvestre	Maître de Conférences	En poste
15.	GHOGOMU Richard TANWI	Maître de Conférences	<i>Chef de Div. /Uté Bertoua</i>
16.	MBIDA YEM	Maitre de Conférences	En poste
17.	MOUNDI Amidou	Maître de Conférences	<i>CT/MINIMDT</i>
18.	NGO BIDJECK Louise Marie	Maître de Conférences	En poste
19.	NGUEUTCHOUA Gabriel	Maître de Conférences	<i>CEA/MINRESI</i>
20.	NJILAH Isaac KONFOR	Maître de Conférences	En poste
21.	NYECK Bruno	Maître de Conférences	En poste

22.	TCHAKOUNTE Jacqueline épouse NUMBEM	Maître de Conférences	<i>Chef. Cell /MINRESI</i>
23.	TCHOUANKOUE Jean-Pierre	Maître de Conférences	En poste
24.	TEMGA Jean Pierre	Maître de Conférences	En poste
25.	ZO'O ZAME Philémon	Maître de Conférences	<i>DG/ART</i>
26.	ANABA ONANA Achille Basile	Chargé de Cours	En poste
27.	BEKOA Etienne	Chargé de Cours	En poste
28.	ESSONO Jean	Chargé de Cours	En poste
29.	EYONG John TAKEM	Chargé de Cours	En poste
30.	MAMDEM TAMTO Lionelle Estelle, épouse BITOM	Chargée de Cours	En poste
31.	MBESSE Cécile Olive	Chargée de Cours	En poste
32.	METANG Victor	Chargé de Cours	En poste
33.	MINYEM Dieudonné	Chargé de Cours	<i>Chef Serv./Uté Maroua</i>
34.	NGO BELNOUN Rose Noël	Chargée de Cours	En poste
35.	NOMO NEGUE Emmanuel	Chargé de Cours	En poste
36.	NTSAMA ATANGANA Jacqueline	Chargée de Cours	En poste
37.	TCHAPTCHET TCHATO De P.	Chargé de Cours	En poste
38.	TEHNA Nathanaël	Chargé de Cours	En poste
39.	FEUMBA Roger	Chargé de Cours	En poste
40.	MBANGA NYOBE Jules	Chargé de Cours	En poste
41.	KOAH NA LEBOGO Serge Parfait	Assistant	En poste
42.	NGO'O ZE ARNAUD	Assistant	En poste
43.	TENE DJOUKAM Joëlle Flore, épouse KOUANKAP NONO	Assistante	En poste

### Répartition chiffrée des Enseignants de la Faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé I

---

#### NOMBRE D'ENSEIGNANTS

DÉPARTEMENT	Professeurs	Maîtres de Conférences	Chargés de Cours	Assistants	Total
BCH	8 (01)	15 (11)	13 (03)	7 (05)	<b>43 (20)</b>

BPA	14 (01)	16 (09)	18 (04)	4 (02)	<b>52 (16)</b>
BPV	6 (01)	12 (02)	13 (07)	3 (00)	<b>34 (10)</b>
CI	7 (01)	15 (04)	5 (01)	1 (00)	<b>28 (06)</b>
CO	6 (01)	18 (04)	11 (04)	2 (00)	<b>37 (09)</b>
IN	2 (00)	2 (00)	14 (01)	4 (00)	<b>22 (01)</b>
MAT	1 (00)	8 (00)	17 (01)	7 (02)	<b>33 (03)</b>
MIB	2 (01)	7 (03)	8 (04)	7 (02)	<b>24 (10)</b>
PHY	15 (01)	15 (04)	11 (01)	2 (00)	<b>43 (06)</b>
ST	8 (00)	17 (03)	15 (04)	3 (01)	<b>43 (08)</b>
<b>Total</b>	<b>69 (07)</b>	<b>125 (40)</b>	<b>125 (30)</b>	<b>40 (12)</b>	<b>359 (89)</b>

---

Soit un total de **359 (89)** dont :

- Professeurs **69 (07)**
- Maîtres de Conférences **125 (40)**
- Chargés de Cours **125 (30)**
- Assistants **40 (12)**

( ) = Nombre de Femmes **89**

## DEDICACE

*A*

*Mes parents Oumar Hissein et Hadjé Mariam Ambadi*

## REMERCIEMENTS

Je remercie l'Université de Yaoundé I, l'Université Abdou Moumouni de Niamey, l'Institut Tchadien de Recherche Agronomique pour le Développement (ITRAD) et le Programme Sud Expert Plantes Développement Durable (SEP2D de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD/France) pour avoir permis la réalisation de cette thèse.

Mes vifs remerciements s'adressent également à mes directeurs de thèse : Joseph Martin BELL, Professeur, pour avoir accepté de diriger cette thèse malgré ses nombreuses responsabilités, pour son encouragement et pour ses orientations depuis le Master ;

Yacoubou BAKASSO, Professeur, Doyen de la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université Abdou Moumouni de Niamey pour son accord à codiriger la thèse et de nous avoir associé dans son équipe du Projet SEP2D « Agro-biodiversité du palmier dattier dans le Sahel ». Ses efforts et ses riches contributions ont permis de réaliser les travaux de recherche.

Mes remerciements vont à l'endroit de AMBANG Zachée, Professeur, Chef du Département de Biologie et Physiologie Végétales de l'Université de Yaoundé I, pour ses orientations et sa rigueur qu'il met dans l'encadrement des étudiants.

Je tiens également à remercier les membres du jury pour leur disponibilité, leur lecture attentive de ma thèse ainsi que les remarques pertinentes qu'ils m'ont fournies pour améliorer ce travail.

J'adresse mes reconnaissances à mes enseignants du Département de Biologie et Physiologie Végétales : Emmanuel YOUMBI, MOSSEBO Dominique Claude, DJOCGOUE Pierre François, MBOLO Marie, ZAPFACK Louis, NDONGO BEKOLO (Professeurs) ; NGALLE Hermine BILLE, NGONKEU MAGAPTCHE Eddy, TONFACK Libert Brice, MALA Armand William, NGODO MELINGUI Jean Baptiste, TSOATA Esaïe ; BIYE Elvire Hortense (Maîtres de Conférences) ; LIKENG Benoit Constant, Chargé de Cours et à tous les enseignants du département, pour la qualité de la formation qu'ils m'ont apportée et pour leurs sacrifices et leur souci de former les étudiants.

Mes vifs remerciements vont également à l'endroit de Dr Frédérique ABERLENC-BERTOUCSI, HDR, Responsable de l'équipe palmiers UMR-DIADE IRD de Montpellier. J'ai énormément profité de sa rigueur scientifique et de ses conseils et orientations non seulement lors de mes séjours au sein de son équipe à Montpellier, mais aussi tout au long de ma formation. Qu'elle trouve ici l'expression de ma profonde gratitude et aussi à Nathalie CHABRILLANGE.

Je tiens à remercier également toutes les personnes de l'équipe palmiers et de l'UMR-DIADE de l'IRD Montpellier, de l'Université de Zinder, de l'Université Abdou Moumouni de Niamey, qui m'ont aidé à réaliser les traitements des données. Je pense particulièrement à Nathalie CHABRILLANGE, Dr Oumarou Zango, Dr Adamou Laouali IBRAHIM et Abdoulaye RAFIOU. Merci pour vos contributions, conseils et appui.

Un énorme merci à mes collègues de l'Unité de Génétique et Amélioration des Plantes (UGAP) de l'Université de Yaoundé I, particulièrement à FIFEN Yacoubou.

Je remercie sincèrement Yassin DOUDOUA, Directeur Général de l'Institut Tchadien de Recherche Agronomique pour le Développement (ITRAD) et son conseiller Dr Djondang Koye, d'avoir crié à ma modeste personne par mon recrutement à l'ITRAD et pour tous leurs conseils, encouragements et surtout leur appui multiforme pour la réalisation de la thèse. Je remercie également Dr Nadjiam Djirabaye, Directeur Scientifique de l'ITRAD, Ismaeil Brahim SYAM, DAFM de l'ITRAD, Abdoulaye Yamouda Djourbo, Agent Comptable de l'ITRAD, Kebyabé WEIDJOU, comptable et tous les responsables de l'ITRAD, pour leur facilitation et soutien depuis le début de mes travaux de recherche.

Je remercie profondément mes deux épouses, Adjiddé Moumine Y. et Roukhaya Ammalkher Hisseine O. pour leur disponibilité et soutien multiforme leurs encouragements et leur patience. Merci à mes enfants Roukhaya, Oumar et Moumine.

Mes sincères remerciements s'adressent aussi à tous les camarades de l'Université et mes collègues de service qui m'ont assisté durant ces années de thèse, particulièrement EMAN EVINA Hernild, Camille JJ, Zekend HH., Achille, Alhabo, Hassan Arka, Narcisse, Ousmane Sandibaye, Alhabo, Mohammad Fadjannour H., Mahamt Nour Zakaria, Aché Billah Keleï, Moustapha Hassan, Mékila Mbaïkoubou et Ibrahim Hiréké, merci pour vos appuis techniques, votre disponibilité et encouragements.

Merci aux agriculteurs et aux chefs de villages qui ont accepté de travailler avec nous et de nous partager leur savoir ancestral. Nous remercions également les techniciens de l'Agence National de Développement Rural (ANADER) pour leurs appuis lors de la mission d'enquête et prélèvement des échantillons.

J'exprime mes sincères remerciements à mes chers frères et sœurs : Mohammed Alamine, Ambadi, Acheik Ibrahim, Fatma, Aché, Roukhaya, Khadidja et Housna Oumar Hissein, pour leurs encouragements et soutiens. Merci également à mes cousins et tous mes proches,

particulièrement à Ousmane Adoum Ahmat, Abderahmane Djida, Ahmat Adoum A., Abdoulaye Moumine et Djida Moumine.

Merci à Gapili Naoura, Maître de Recherches/ITRAD, pour son appui technique, ses contributions et son apport dans la mise en contact avec le Professeur Yacoubou BAKASSO. Merci également à Dr Emmanuel Ehnou Gongnet, Alhabo, Bienvenu Koguyam et Abdoulaye Abakar Tcheguelei, pour leurs aides et leurs apports à ces travaux. Un grand merci aussi à mes amis et frère Ousmane Abdouramane Mahamat, Taha Mahamat Abdoullah, Anouar Mahamat Moustapha et Seid Abakar Addahabi pour leurs soutiens et leurs disponibilités.

Je tiens à remercier également tous mes chers amis, je pense, particulièrement à Adam Tahir M., Mht Adam S., Djamal Mahdi, Mahamat Hammadou et Outman Aberahmane, pour leur soutien et leurs encouragements.

Merci à ceux qui, de près ou de loin ont apporté leurs soutiens et leurs collaborations à la réalisation de ce travail et dont les noms ne sont pas cités ici, qu'ils trouvent à travers cette thèse le témoignage de ma profonde gratitude.

# SOMMAIRE

<b>LISTE PROTOCOLAIRE</b> .....	<b>i</b>
<b>DEDICACE</b> .....	<b>xix</b>
<b>REMERCIEMENTS</b> .....	<b>xx</b>
<b>SOMMAIRE</b> .....	<b>xxiii</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>xxv</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>xxvi</b>
<b>LISTE DES ABBREVIATIONS</b> .....	<b>xxviii</b>
<b>RESUME</b> .....	<b>xxix</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xxx</b>
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>CHAPITRE I. REVUE DE LA LITTERATURE</b> .....	<b>7</b>
<i>I.1. GENERALITES SUR LE PALMIER DATTIER</i> .....	7
I.1.1. Origine et répartition géographique du palmier dattier .....	7
I.1.4. Description botanique.....	10
I.1.5. Multiplication du palmier dattier .....	22
I.1.6. Importances et utilisations de palmier dattier .....	24
I.1.7. Production et commerce international des dattes .....	26
I.1.8. Pratiques culturelles de palmier dattier.....	27
I.1.9. Limites de la phœniciculture .....	27
<i>I.2. AGROBIODIVERSITE OASIENNE</i> .....	28
I.2.1. Concepts et définitions .....	28
I.2.2. Oasis au Tchad.....	28
<i>I.3. DIVERSITE GENETIQUE DU PALMIER DATTIER</i> .....	29
I.3.1. Structure génétique .....	29
I.3.2. Mesure de la diversité génétique dans et entre les populations .....	32
I.3.3. Marqueurs génétiques utilisés dans l'estimation de la structure génétique.....	37
<i>I.3.4. Marqueurs utilisés chez le palmier dattier</i> .....	41
I.3.5. Origines géographiques du palmier dattier.....	43
<b>CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES</b> .....	<b>46</b>
<i>II.1. MATÉRIEL</i> .....	46

II.1.1. Présentation de la zone d'étude .....	46
II.1.2. Matériel végétal .....	47
II.1.3. Matériel technique .....	48
<b>II.2. MÉTHODES</b> .....	<b>49</b>
II.2.1. Évaluation du développement du palmier dattier dans les conditions édapho-climatiques oasiennes.....	49
II.2.2. Évaluation de la biodiversité de l'agrosystème oasien.....	56
II.2.3. Caractérisation de la diversité génétique du palmier dattier .....	58
II.2.4. Identification des perspectives du développement de la production du palmier dattier .....	62
II.2.5. Analyse des données .....	62
<b>CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION</b> .....	<b>65</b>
<b>III.1. RÉSULTATS</b> .....	<b>65</b>
III.1.1. Développement du palmier dattier dans les environnements oasiens.....	65
III.1.2. Biodiversité de l'agrosystème oasien.....	69
III.1.3. Caractéristiques moléculaires du palmier dattier .....	85
III.1.4. Perspectives de développement du palmier dattier .....	94
<b>III.2. DISCUSSION</b> .....	<b>98</b>
III.2.1. Développement du palmier dattier et conditions édapho-climatiques .....	98
III.2.2. Biodiversité de l'agrosystème oasien.....	100
III.2.3. Diversité génétique du palmier dattier .....	104
III.2.4. Perspectives d'évolution de la culture du palmier dattier au Tchad .....	105
<b>CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES</b> .....	<b>107</b>
<i>CONCLUSION</i> .....	<i>107</i>
<i>RECOMMANDATIONS</i> .....	<i>108</i>
<i>PERSPECTIVES</i> .....	<i>108</i>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>110</b>
<b>ANNEXES</b> .....	<b>126</b>
<b>PUBLICATION</b> .....	<b>145</b>

## LISTE DES FIGURES

Fig. 1. Aire de culture historique de palmier dattier en rouge à travers le monde .....	7
Fig. 2. Zones phœnicicoles de l’Afrique Subsaharienne (Sahel). .....	8
Fig. 3. Construction schématique d’un palmier dattier avec son système racinaire. ....	12
Fig. 4. Jeune palmier dattier ( <i>Phoenix dactylifera</i> L.) présentant une ramification dichotomique .....	13
Fig. 5. Caractéristiques des feuilles du palmier dattier .....	14
Fig. 6. Germination des graines de la variété Deglet Nour .....	16
Fig. 7. Section inférieure de feuilles montrant les caractéristiques du rachis de cinq variétés commerciales de dattes.....	17
Fig. 8. Fleurs mâles de palmier dattier. ....	18
Fig. 9. Fleurs femelles de palmier dattier.....	18
Fig. 10. Inflorescences et fleurs mâles et femelles du palmier dattier .....	20
Fig. 11. Morphologie et anatomie du fruit et de la graine du palmier dattier .....	22
Fig. 12. Production de dattes des 28 premiers pays producteurs dans le Monde.....	26
Fig. 13. Distribution deux pools du palmier dattier .....	44
Fig. 14. Localisation géographique de la zone d’étude.....	47
Fig. 15. Creusage et prélèvement de sol dans une palmeraie à Amoul.....	50
Fig. 16. Préparation de l’échantillon de sol.....	51
Fig. 17. Mesure du pH du sol .....	53
Fig. 18. Déroulement des enquêtes auprès des producteurs.....	57
Fig. 19. Prélèvement de jeunes feuilles, étiquetage et leurs conditionnements. ....	58
Fig. 20. Température et humidité en 2018 et stades du développement du palmier dattier en zone saharienne .....	65
Fig. 21. Température et humidité intra annuel et stades de développement du palmier dattier en zone sahélienne .....	66
Fig. 22. Principaux cultivars de palmier dattier de la zone saharienne .....	72
Fig. 23. Fruit des cultivars de dattier de la zone sahélienne.....	73
Fig. 24. Cultures associées au palmier dattier. ....	74
Fig. 25. Fréquence des cultures associées au palmier dattier.....	76
Fig. 26. Mise en œuvre des pratiques culturales au Tchad dans les provinces du Sahara et du Sahel.....	79
Fig. 27. Multiples usages de palmier dattier .....	83
Fig. 28. Productivité de dattes dans le Sahara et le Sahel. ....	84
Fig. 30. Analyse de coordonnées principales (PCoA) de 142 individus.....	89
Fig. 31. Résultats d’approche bayésienne de structure de population inférée pour $K = 2$ à ....	90
Fig. 32. Détermination de la valeur optimale de $K$ , $\Delta K = 2$ est considéré comme le nombre optimal de sous-populations.....	91
Fig. 33. Sous-structuration de la population à $K = 2$ .....	91
Fig. 34. Analyse de la variance moléculaire (AMOVA) des populations.....	92
Fig. 35. Origine géographique du palmier dattier lignée maternelle .....	93
Fig. 36. Séparation de deux groupes de chlorotype maternelle .....	93
Fig. 37. Origine géographique du palmier dattier lignée paternelle.....	94

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau I. Morphologie et distribution des racines du palmier dattier. ....	10
Tableau II. Valeurs nutritionnelles des dattes .....	21
Tableau III. Comparaison des différents marqueurs moléculaires utilisés dans le génotypage du palmier dattier .....	42
Tableau IV. Sites d'étude dans les palmeraies de la zone saharienne et sahélienne.....	46
Tableau V. Marqueurs utilisés dans la caractérisation moléculaire du palmier dattier.....	59
Tableau VI. Motifs et séquences de 18 microsatellites utilisés.....	60
Tableau VII. Conditions édaphiques oasiennes et développement des palmeraies .....	68
Tableau VIII. Quelques caractéristiques des exploitants enquêtés .....	70
Tableau IX. Diversité ethnique et cultivars de palmier dattier de la zone saharienne .....	71
Tableau X. Diversité ethnique et cultivars de palmier dattier de la zone sahélienne.....	73
Tableau XI. Les cultures associées au palmier dattier en zone saharienne.....	75
Tableau XII. Les cultures associées au palmier dattier en zone sahélienne.....	78
Tableau XIII. Les usages alimentaires et sociaux du palmier dattier en zone saharienne et sahélienne .....	82
Tableau XIV. Polymorphisme des marqueurs microsatellites .....	86
Tableau XV. Diversité génétique du palmier dattier par département.....	87
Tableau XVI : Diversité génétique du palmier dattier par province .....	88
Tableau XVII : Diversité génétique du palmier dattier par zone agroécologique.....	89
Tableau XVIII. Limites et perspectives d'évolution de la phœniciculture au Sahara.....	96
Tableau XIX. Limites et solutions pour le développement de la phœniciculture au Sahel .....	97

## LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Cadre logique de la thèse .....	127
Annexe 2 : Fiche d'enquête.....	129
Annexe 3. Données météorologiques sur dix ans dans la zone saharienne.....	135
Annexe 4. Données météorologiques sur dix ans dans la zone sahélienne.....	136
Annexe 5. Cultivars des dattes identifiés lors de l'étude .....	137
Annexe 6. Dattes transformées en pattes .....	138
Annexe 7 : Liste de 142 cultivars utilisés dans la caractérisation génétique .....	139
Annexe 8 : Liste de 142 cultivars utilisés dans la caractérisation génétique .....	140
Annexe 9 : Liste de 142 cultivars utilisés dans la caractérisation génétique .....	141
Annexe 10 : Caractéristiques des marqueurs microsatellites utilisés.....	142
Annexe 11 : Résumé des allèles privés par population.....	143
Annexe 12 : Matrice de population par paires de la distance génétique de Nei .....	144
Annexe 13 : Répartition par village des chloros maternel (occidental et oriental).....	144

## LISTE DES ABBREVIATIONS

<b>ACP</b>	: Analyse en Composante Principale
<b>ADN</b>	: Acide Désoxyribonucléique
<b>AFC</b>	: Analyse Factorielle des Correspondances
<b>AFLP</b>	: Amplified Fragment Length Polymorphism
<b>AMOVA</b>	: Analyse de la variance moléculaire
<b>ANAM</b>	: Agence Nationale de Métrologie du Tchad
<b>EDTA</b>	: Ethylene-Diamine-Tetra-acetic-Acid
<b>FIS</b>	: Indice de fixation
<b>He</b>	: Taux moyen d'hétérozygotie attendu
<b>Ho</b>	: Taux moyen d'hétérozygotie observé
<b>ITRAD</b>	: Institut Tchadien de Recherche Agronomique pour le Développement
<b>K</b>	: le nombre optimum de populations
<b>LASEP</b>	: Laboratoire d'Analyse de Sol, Eau et Plant
<b>MATAB</b>	: Mixed Alkyl Trimethyl Ammonium Bromide
<b>Na</b>	: nombre moyen d'allèles par locus
<b>Ng</b>	: le nombre de génotypes multilocus
<b>ODD</b>	: Objectifs du Développement Durable
<b>PCoA</b>	: Principal Coordinates Analysis ou Analyse de Coordonnées principales
<b>PCR</b>	: Polymerase Chain Reaction ou amplification en chaîne par la polymérase
<b>PIC</b>	: Taux de polymorphisme
<b>RAPD</b>	: Random Amplified Polymorphic DNA
<b>RFLP</b>	: Restriction Fragment Length Polymorphism
<b>SCARs</b>	: Sequence Characterized Amplified Regions
<b>SNP</b>	: Single Nucleotide Polymorphisms ou polymorphismes de simple base
<b>SSR</b>	: Simple sequence repeats or microsatellite markers
<b>VNTR</b>	: Variable Number Tandem Repeat

## RESUME

La culture du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L., Arécacée), essentielle dans les régions arides et semi-arides, est en déclin au Tchad depuis les années 1960, en raison de maladies, ravageurs et pratiques culturales inefficaces, aggravées par des facteurs environnementaux et socio-économiques. L'objectif de cette étude est d'améliorer la connaissance de l'agrobiodiversité du palmier dattier pour une gestion durable des oasis au Tchad. Une enquête auprès de 60 producteurs a été réalisée pour recueillir des informations sur les cultivars, les cultures associées et les pratiques culturales. L'analyse génétique de 142 cultivars à l'aide de 18 marqueurs microsatellites a permis une caractérisation moléculaire de la diversité génétique, avec l'identification des chlorotypes occidental et oriental grâce au marqueur chloroplastique CpfM12. L'étude met en lumière la diversité variétale des palmiers dattiers au Sahara, avec plus de 200 cultivars identifiés grâce à des sélections empiriques. Ces cultivars, multipliés par rejets, présentent une seule période de production de juin à septembre, avec une productivité moyenne de  $68 \pm 19$  kg par plant et un prix moyen de 506 FCFA/kg. Les agriculteurs ont une bonne connaissance des pratiques culturales dans cette région. Dans le Sahel, trois groupes de cultivars de palmiers dattiers sont maîtrisés par tous les agriculteurs, différenciés par la couleur des fruits (rouge, jaune et vert) et multipliés généralement par graines. Chez 20% des palmiers dattiers, les conditions climatiques permettent deux périodes de production de dattes, en avril-mai et de juin à septembre. Les revenus de la vente de dattes lors de la deuxième période de production surpassent ceux de la première. D'autre part, l'analyse de la variance moléculaire (AMOVA) a relevé une forte variabilité génétique (polymorphisme) intra population (7%), cette variabilité n'a pas permis d'observer une structuration inter population sur les 18 marqueurs SSR. La diversité génétique du minisatellite chloroplastique basé sur l'origine géographique des pools génétiques du Tchad, a permis d'observer au niveau de la zone saharienne une introgression de deux chlorotypes (Oriental et Occidental), la province de l'Ennedi-Ouest est à 75,5 % d'origine occidentale et la province de Borkou 78,5 % d'origine orientale. Alors qu'au niveau de la zone sahéenne on observe une hétérogénéité de chlorotypes, 56 % occidentale et 44 % orientale. L'amélioration et le renforcement de l'agrobiodiversité du palmier dattier et l'extension des palmeraies permettraient d'accroître la production et les revenus contribueraient à la sécurité alimentaire et au maintien des populations au Tchad et plus largement dans les pays du Sahel.

**Mots clés :** Agrosystème oasien, diversité moléculaire, palmier dattier, Zone Saharienne, Tchad.

## ABSTRACT

The cultivation of date palms (*Phoenix dactylifera* L., Arecaceae), crucial in arid and semi-arid regions, has been declining in Chad since the 1960s due to diseases, pests, and inefficient agricultural practices, exacerbated by environmental and socio-economic factors. The aim of this study is to enhance understanding of date palm agrobiodiversity for sustainable oasis management in Chad. A survey of 60 producers was conducted to gather information on cultivars, associated crops, and cultivation practices. Genetic analysis of 142 cultivars using 18 microsatellite markers allowed for molecular characterization of genetic diversity, including the identification of western and eastern chlorotypes using the chloroplastic marker CpfM12. The study highlights the varietal diversity of date palms in the Sahara, with over 200 cultivars identified through empirical selection. These cultivars, propagated by offshoots, exhibit a single production period from June to September, with an average productivity of  $68 \pm 19$  kg per plant and an average price of 506 FCFA/kg. Farmers have a good understanding of cultivation practices in this region. In the Sahel, three groups of date palm cultivars are mastered by all farmers, distinguished by fruit color (red, yellow, and green) and typically propagated by seeds. In 20 % of date palms, climatic conditions allow for two production periods, in April-May and from June to September. The revenue from selling dates during the second production period exceeds that of the first. Furthermore, molecular variance analysis (AMOVA) revealed a high intra-population genetic variability (polymorphism) of 7 %, although no inter-population structuring was observed across the 18 SSR markers. The genetic diversity of the chloroplastic minisatellite, based on the geographical origin of genetic pools in Chad, indicated an introgression of two chlorotypes (Eastern and Western) in the Saharan zone, with Ennedi-West being 75.5 % Western and Borkou being 78.5 % Eastern. In the Sahelian zone, there is an observed heterogeneity of chlorotypes, with 56 % Western and 44 % Eastern. Enhancing and strengthening date palm agrobiodiversity and expanding palm groves could increase production and income, contributing to food security and the livelihoods of populations in Chad and more broadly in the Sahel region.

**Keywords:** Oasis agroecosystem, molecular diversity, date palm, Saharan Zone, Chad.

## INTRODUCTION

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L. ;  $2n=2x=36$ ) est une plante arborescente monocotylédone dioïque à reproduction allogame des régions arides et semi-arides (Munier, 1973). *Phoenix dactylifera* L. fait partie de la famille des Arecaceae, du genre Phoenix. Ce genre compte 14 espèces réparties dans les îles de l'Atlantique à travers l'Afrique, le sud de l'Europe, le Moyen-Orient et l'Asie du Sud jusqu'aux Philippines (Gros-Balthazard, 2013).

Le palmier dattier est cultivé essentiellement pour ses fruits riches en sucre et en éléments minéraux essentiels pour l'alimentation humaine, mais aussi pour son importance socio-économique et écologique (Tengberg *et al.*, 2013 ; Boucherba, 2015 ; Alahyane *et al.*, 2022 ; Houssni *et al.*, 2022). Cette espèce est présente dans plusieurs pays du monde, particulièrement en péninsule arabique, en Afrique du Nord et au Moyen-Orient (Munier, 1973 ; Bouguedoura, 1979 ; Chao & Krueger, 2007). Mais elle se cultive aussi en Asie, en Espagne, en Australie et aux États-Unis. Le dattier est également bien présent au Sahel, notamment au Niger, au Mali et au Tchad (Munier, 1973 ; Barrow, 1998).

Le Tchad est un pays agro-sylvo-pastoral, avec une économie dominée par le secteur agricole grâce à ses divers écosystèmes renfermant une immense diversité génétique végétale (Anonyme 1, 2017). L'agrosystème oasien est généralement caractérisé par une agriculture mixte, basée sur l'irrigation des cultures. Ce type d'agrosystème repose essentiellement sur les palmeraies, définies comme "un espace irrigué fortement anthropisé qui supporte une agriculture classiquement intensive et en polyculture" (Battesti, 2012). Le type traditionnel de production du palmier dattier en association avec d'autres cultures est passé aujourd'hui à une monoculture intensive (Jain *et al.*, 2011 ; Bouguedoura, 2012). L'industrialisation cause une érosion génétique sévère, non seulement par la perte de cultivars de dattier, mais aussi par l'appauvrissement de l'agrobiodiversité du palmier dattier en général (Jain *et al.*, 2011). La diversité variétale du palmier dattier dans le monde est de l'ordre de 5 000 cultivars selon Jaradat & Zaid (2004) et 3000 cultivars d'après Johnson (2011), dont environ soixante (60) sont largement cultivés pour les marchés locaux et internationaux au niveau de grands pays producteurs (Chao & Krueger, 2007). Cette grande diversité offre une production mondiale de plus de 9,6 millions de tonnes de dattes (Anonyme 2, 2024). Au Tchad, le nombre de pieds de palmiers dattiers est estimé à environ 2 millions, principalement situés dans le Sahara (Ben Salah, 2015), avec une production de 21 337 tonnes en 2020 (Anonyme 2, 2024). Cette

production fait du Tchad le premier pays de l'Afrique subsaharienne producteur de dattes (Anonyme 2, 2024).

La culture du palmier dattier au Tchad est pratiquée principalement dans les provinces du Sahara, au nord du pays, et aussi dans les cuvettes du Sahel (provinces du Kanem et du Lac). L'histoire de l'introduction du palmier dattier au Tchad reste très peu connue. Lazarev (1989) a indiqué que la culture se pratiquait dans le Sahara (Borkou) depuis le 9<sup>e</sup> et 10<sup>e</sup> siècle, alors que dans le Sahel (Kanem), elle daterait du 18<sup>e</sup> siècle (Chevalier, 1930). Au Tchad, deux formes de culture du palmier dattier sont rencontrées. Dans les provinces du Sahara, au nord, on rencontre une culture traditionnelle semblable à celle des pays phœnicicoles du Maghreb, grâce au climat sec, favorable à la culture du palmier dattier. Le cycle biologique de la plante se caractérise classiquement par une campagne annuelle de floraison et de fructification. Le Sahel, en revanche, est une zone marginale pour la culture du palmier dattier en raison de la forte humidité pendant la fructification des dattes et de la faible maîtrise des pratiques culturales. Dans cette zone, les dattes sont produites au cours de deux périodes de production de fruits par an, la première campagne étant équivalente à celle de la zone saharienne, mais dans le Sahel, les pluies intervenant pendant la maturation des fruits conduisent à la production de dattes de qualité médiocre (Jahiel & Candelier, 1991). La deuxième campagne de production se déroule en campagne sèche, mais concerne un nombre limité de palmiers dattiers.

L'évaluation de la variabilité génétique des espèces se fait depuis plusieurs années à l'aide de trois types de marqueurs, à savoir les marqueurs phénotypiques, les marqueurs biochimiques et les marqueurs moléculaires (De Vienne, 1998). Le problème de l'identification phénotypique sur critères morphologiques des cultivars du palmier dattier comparée aux autres espèces a poussé les chercheurs à développer davantage de marqueurs génétiques pour estimer la structure génétique des populations.

L'analyse de la diversité génétique du palmier dattier par les marqueurs moléculaires est aujourd'hui largement utilisée. Plusieurs types de marqueurs génétiques ont été utilisés pour caractériser la diversité génétique de cette espèce. Il y a les marqueurs RAPD (Random Amplification of Polymorphic DNA), les RAMPO (Random Amplified Microsatellite Polymorphism), les AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism) et les marqueurs microsatellites (Sedra *et al.*, 1998 ; Billotte *et al.*, 2004 ; Jubrael *et al.*, 2005 ; Rhouma *et al.*, 2008 ; Al-Ruqaishi *et al.*, 2008 ; Ludena *et al.*, 2011). Parmi ces marqueurs, les microsatellites (SSR) sont les plus performants dans le cas du palmier dattier. Généralement, les marqueurs

nucléaires sont utilisés pour les analyses de la diversité génétique et les marqueurs chloroplastiques à héritage maternel pour la structuration géographique des espèces (Al-Qurainy *et al.*, 2011). Des marqueurs liés au sexe ont été développés chez le palmier dattier et sont utilisés dans la détermination du sexe chez cette espèce (Cherif *et al.*, 2013). Des études ont montré qu'il existe deux principaux pools de gènes chloroplastiques orientaux (Est) et occidentaux (Ouest) déterminant l'origine géographique des palmiers dattiers à travers le monde. Le bassin oriental couvre Djibouti, l'Irak, les États-Unis, les Émirats Arabes Unis, Oman et le Pakistan, tandis que le pool occidental couvre la Tunisie, le Maroc, l'Algérie, la Mauritanie, la Libye, le Soudan, l'Égypte, le Niger et l'Espagne (Gros-Balthazard *et al.*, 2013 ; Pintaud *et al.*, 2013 ; Hazzouri *et al.*, 2015 ; Zehdi-Azouzi *et al.*, 2015 ; Zango *et al.*, 2017).

La production de dattes au Tchad est en nette régression depuis les années soixante, passant de 25 000 tonnes en 1961 à 21 224 tonnes en 2018 (Anonyme 2, 2024), ce qui pourrait impacter le rendement des cultures associées. En cette année, le Tchad est placé au 22e rang mondial, alors qu'il était à la 15e position il y a quelques années (Anonyme 2, 2024). Cette régression pourrait s'expliquer par le changement climatique, caractérisé par l'affaissement de la nappe d'eau, l'ensablement, les multiples incendies d'origines diverses au Sahara, les conflits politico-militaires, les pratiques culturelles inadaptées et les dégâts causés par les ravageurs du palmier dattier. Ces multiples problèmes, associés au manque d'infrastructures socio-éducatives, conduisent la majorité des jeunes vers l'exode rural, à la recherche de mines d'or dans l'extrême nord du pays (Tibesti) ou ailleurs, et à l'émigration vers la Libye et l'Europe. Pour remédier à la régression continue de la production des dattes au Tchad, une étude de l'agrobiodiversité de cette espèce semble essentielle. Compte tenu du manque de connaissances sur les agrosystèmes oasiens du Tchad en général et sur le palmier dattier en particulier, une enquête auprès des agriculteurs de cette espèce devrait être entreprise. Par ailleurs, bien que la diversité génétique du palmier dattier soit aujourd'hui largement étudiée, notamment en Afrique du Nord (Algérie, Égypte, Maroc, Libye, Tunisie), ce n'est pas le cas au Tchad. En conséquence, une évaluation de la diversité moléculaire du palmier dattier devrait être envisagée.

Pour ce faire, quatre questions de recherche ont été formulées, à savoir :

- Quel est l'impact des conditions édapho-climatiques oasiennes sur le développement du palmier dattier dans les provinces de l'Ennedi-Ouest, Borkou et le Kanem ?

- Quelle est la biodiversité dans l'agrosystème oasien de l'Ennedi-Ouest, Borkou et le Kanem ?
- Quelle est la diversité génétique du palmier dattier dans les provinces de l'Ennedi-Ouest, Borkou et le Kanem et quelle est son origine géographique ?
- Quelles sont les perspectives de développement de la production du palmier dattier et de la préservation de l'agrosystème oasien au niveau de l'Ennedi-Ouest, Borkou et le Kanem ?

En début de travaux de recherche, un bon nombre d'hypothèses de la recherche ont été énumérées :

- Les conditions édapho-climatiques dans les provinces de l'Ennedi-Ouest, Borkou et le Kanem n'influencent pas le développement du palmier dattier.
- La phœniciculture pourrait offrir une biodiversité des cultures dans l'agrosystème oasien de la zone d'étude.
- Il existe une diversité génétique du palmier dattier de la zone saharienne et les cultivars du Sahara n'ont pas une origine commune avec ceux de la zone sahélienne.
- Le développement de la culture du palmier dattier au niveau de l'Ennedi-Ouest, Borkou et le Kanem dépend du degré de savoir-faire des phœniciculteurs.

La présente étude présente plusieurs intérêts tant au niveau de la recherche qu'au niveau du développement. L'amélioration des connaissances sur les pratiques culturales, les cultures associées et l'origine des populations et des génotypes intéressants des cultivars du palmier dattier constitue une banque de données destinée aux chercheurs pour d'éventuels travaux de recherche. La valorisation et la vulgarisation des bonnes pratiques culturales ainsi que la diversification des cultures contribuent à l'amélioration de la productivité, éventuellement au revenu des producteurs, à la sécurité alimentaire et au maintien des populations locales. Sur le plan environnemental, les résultats de ces travaux permettront, en plus de l'optimisation de la conservation de l'agrobiodiversité locale, à la protection de services écosystémiques pour faire face aux aléas du changement climatique. Les cultivars du palmier dattier les plus répandus dans les oasis constituent une plus-value à la création et à l'extension des palmeraies pour faire face à l'ensablement, à la sécheresse et à l'avancée du désert.

L'objectif général de cette étude est d'améliorer la connaissance de l'agrobiodiversité du palmier dattier pour une gestion durable des oasis au Tchad.

Pour atteindre ce but, les objectifs spécifiques suivants sont formulés :

- analyser le développement du palmier dattier dans les conditions édapho-climatiques oasiennes ;
- évaluer la biodiversité de l'agrosystème oasien ;
- caractériser la diversité génétique du palmier dattier ;
- proposer un schéma du développement de la production du palmier dattier.

La rédaction du présent document est structurée en trois chapitres. Le premier, intitulé "Revue de la littérature", prend en compte les généralités sur le palmier dattier et l'agrosystème oasien en général, les ressources génétiques disponibles dans le monde, les techniques de caractérisation moléculaire et les méthodes de mesure de la diversité génétique. Le deuxième chapitre présente une description du matériel et des méthodes utilisées dans cette étude, ainsi que les analyses statistiques des données. Enfin, le chapitre 3 est dédié aux résultats et à la discussion. Le document se termine par une conclusion, des recommandations ainsi que de nouvelles perspectives de recherche et de développement en continuité à ce travail.

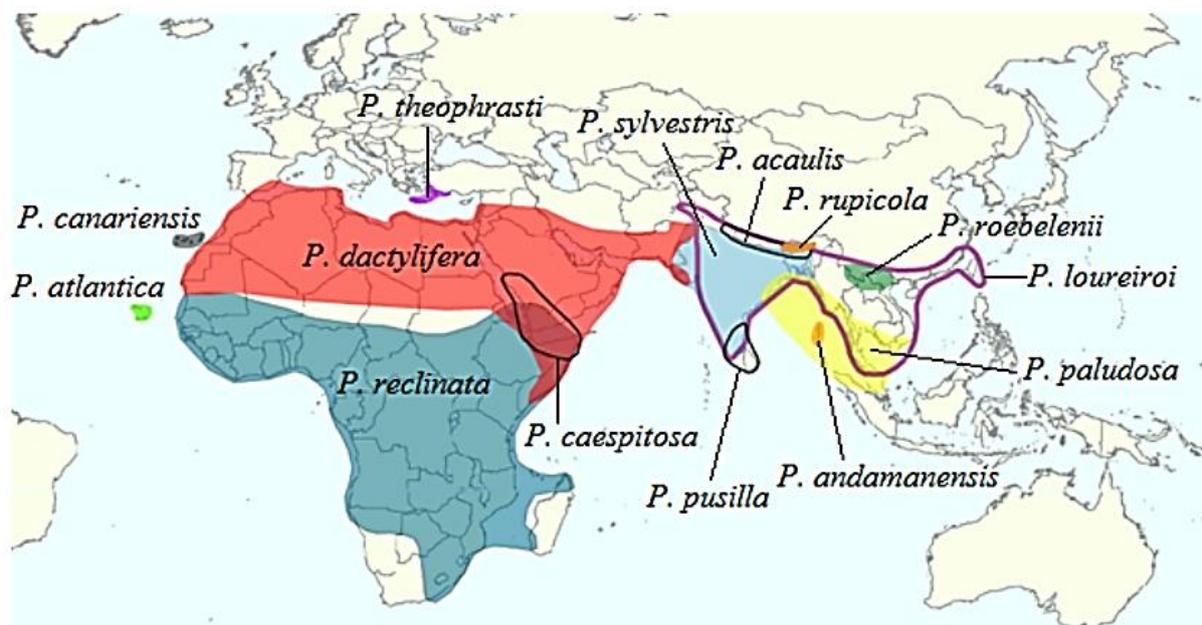
**CHAPITRE I.**  
**REVUE DE LA LITTERATURE**

# CHAPITRE I. REVUE DE LA LITTERATURE

## I.1. GENERALITES SUR LE PALMIER DATTIER

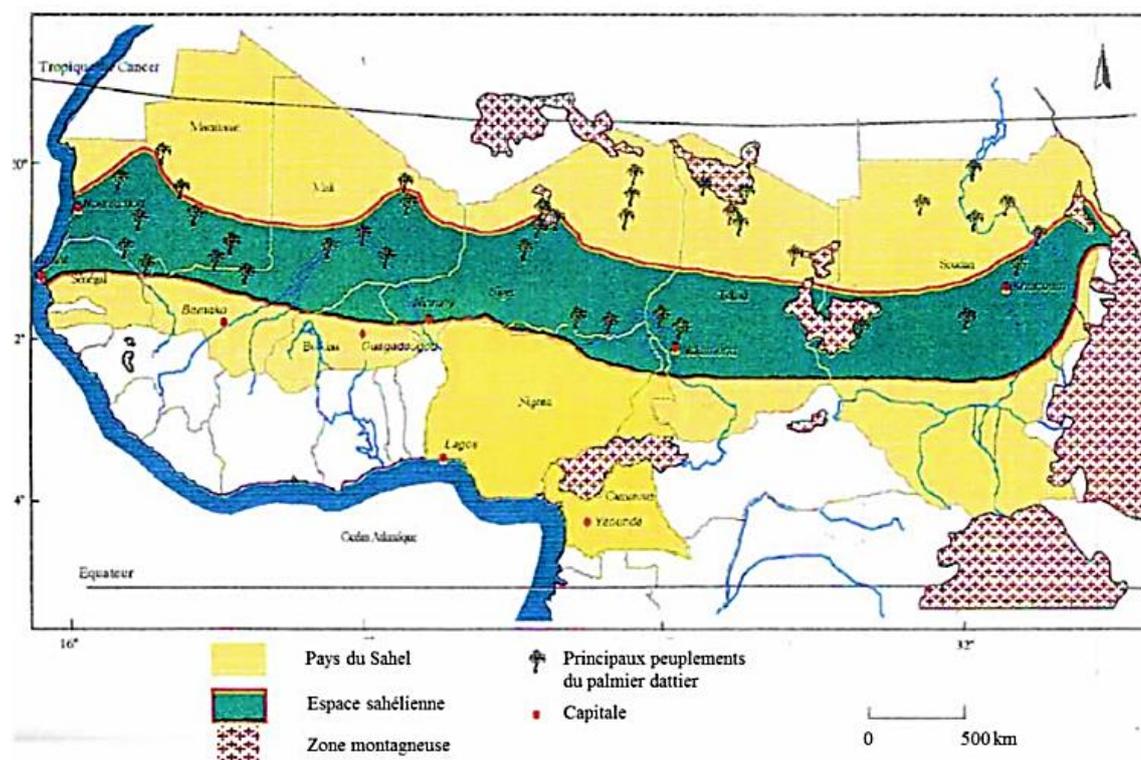
### I.1.1. Origine et répartition géographique du palmier dattier

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) est une plante domestiquée originaire des régions tropicales humides, qui a su s'adapter aux climats chauds, semi-arides ou arides (Dransfield *et al.*, 2008). Cette espèce est cultivée depuis au moins 5000 ans dans des régions historiques telles que le Moyen-Orient, le Proche-Orient, l'Afrique du Nord, ainsi qu'une partie du Nord-Ouest de l'Inde et du Pakistan (Barrow, 1998 ; Zohary & Hopf, 2000) (Fig. 1).



**Fig. 1.** Aire de culture historique de palmier dattier en rouge à travers le monde (Gros-Balthazard *et al.*, 2013)

Le palmier dattier figure parmi les cultures fruitières les plus significatives des régions arides et désertiques du Moyen-Orient, du sud de l'Asie et de l'Afrique du Nord, où les conditions agroécologiques sont propices à son épanouissement. En outre, on retrouve également le palmier dattier en Afrique subsaharienne, notamment dans les pays sahéliens tels que le Tchad et le Niger (Fig. 2). Au cours des trois derniers siècles, les dattiers ont été introduits dans de nouvelles zones de production en Australie, en Inde, au Pakistan, au Mexique, en Afrique australe, en Amérique du Sud et aux États-Unis (Chao & Krueger, 2007).



**Fig. 2.** Zones phœnicicoles de l'Afrique Subsaharienne (Sahel) (Jahiel & Candelier, 1996).

### I.1.2. Taxonomie du palmier dattier

Le palmier dattier a été baptisé *Phoenix dactylifera* par Linné en 1734 (Munier, 1973). Le terme "Phoenix" provient de "phoinix", le nom donné au dattier par les Grecs de l'Antiquité, qui le considéraient comme l'arbre des Phéniciens ; ce terme était également attribué à l'espèce *Phoenix theophrasti*, endémique des côtes de la mer Égée et longtemps considérée comme une forme sauvage de *P. dactylifera* (Munier, 1973 ; Linné, 1753 ; Greuter, 1967 ; Barrow, 1998). Une autre hypothèse suggère que les Grecs ont nommé "phœnix" l'oiseau mythique renaissant de ses cendres et que ce terme a été associé au dattier en raison de sa capacité à survivre même après avoir été partiellement brûlé (Popenoe, 1938). Quant au terme "dactylifera", il fait référence au mot latin "dactylus", dérivé de "dachel" en hébreu, en raison de la forme des fruits, et à "fero" qui signifie "porter" en latin (Popenoe, 1938).

Les palmiers appartiennent à la famille des *Arecaceae* (*Palmae*) et sont des plantes monocotylédones. Parmi les quelque 2800 espèces de cette famille, deux espèces revêtent une importance économique majeure : *Hyphaene thebaica* et *Phoenix dactylifera*, communément appelés respectivement le palmier doum et le palmier dattier (Benchelah & Maka, 2006). Le palmier dattier est la seule espèce du genre *Phoenix*, parmi les 14 réparties dans les régions

tropicales et subtropicales, à être cultivée pour ses fruits (Barrow, 1998 ; Govaerts & Dransfield, 2005). *Phoenix sylvestris* est cultivé pour sa sève qui est transformée en sirop ou en sucre, et d'autres espèces sont cultivées par l'industrie horticole, notamment *P. canariensis* et *P. roebelenii* ; toutes les autres sont exploitées pour la construction, l'alimentation humaine et animale (Barrow, 1998 ; Chowdhury *et al.*, 2008 ; Newton *et al.*, 2013).

Les espèces du genre *Phoenix* sont parfois difficiles à distinguer en raison de leur grande similarité morphologique (Pintaud *et al.*, 2010). Il est en effet ardu de différencier *P. dactylifera* de *P. theophrasti* (Barrow, 1998) et *P. atlantica* en raison des caractéristiques différenciatrices limitées. De plus, il existe peu ou pas de barrières reproductives entre elles (Henderson *et al.*, 2006).

### **I.1.3. Écologie du palmier dattier**

Le palmier dattier est une espèce qui préfère les températures chaudes, avec des activités biologiques se manifestant à partir de +10 °C pour le développement végétatif et +18 °C pour les activités reproductives (Peyron, 2000). L'intensité maximale de sa croissance se situe aux alentours de 30 °C et diminue au-delà de 38 à 40 °C, bien qu'il puisse tolérer des températures extrêmement élevées jusqu'à 56 °C, ainsi que des températures modérément froides jusqu'à -8 °C pendant une période limitée (Munier, 1973 ; Peyron, 2000). L'altitude a tendance à réduire la température moyenne, parfois limitant ainsi l'expansion des aires de culture du *P. dactylifera* (Munier, 1973). En général, les régions propices à la culture des dattiers se situent à des altitudes inférieures à quelques centaines de mètres au-dessus du niveau de la mer.

Le palmier dattier est également une espèce qui affectionne la lumière, car elle favorise la photosynthèse et la maturation des fruits. Sans une luminosité adéquate, les dattes ne parviennent pas à mûrir correctement. La maturation des dattes s'accompagne d'une perte d'eau due à la transpiration des fruits (Munier, 1973). Ainsi, lorsque l'humidité de l'air est élevée, la transpiration est ralentie, ce qui entrave le processus de maturation et encourage la décomposition des dattes. Une faible humidité favorise considérablement une fructification de qualité (Jahiel, 1996).

*Phoenix dactylifera* s'adapte aux sols désertiques, semi-désertiques et subdésertiques (Munier, 1973). Cette espèce peut généralement supporter une certaine salinité,

mais dans tous les cas, le palmier dattier nécessite une quantité significative d'eau (Chao & Krueger, 2007).

#### I.1.4. Description botanique

##### I.1.4.1. Organe végétatif

##### I.1.4.1.1. Système racinaire

Le système racinaire du palmier dattier se caractérise par l'absence de racine pivotante; au lieu de cela, il présente un système racinaire fasciculé avec des racines fibreuses, similaires à celles d'un plant de maïs (Alexandre & Ouedraogo, 1993). À partir de la racine primaire qui émerge directement de la graine, des racines secondaires se développent, donnant naissance à des racines latérales (racines tertiaires et ainsi de suite) qui présentent généralement un diamètre uniforme sur toute leur longueur (Munier, 1973). La morphologie et la distribution des racines du palmier dattier sont détaillées dans le tableau I.

**Tableau I.** Morphologie et distribution des racines du palmier dattier (Munier, 1973).

Racines	Origine	Forme	Longueur moyenne (m)	Diamètre moyen (mm)	Caractéristiques
Primaire	Base du tronc	Cylindrique	4 à 10	9,5 (7-12,5)	- vertical - adventice - pas de chevelure racinaire - pointe conique - appelées auxirhizes (racines du premier ordre) et aussi racines principales
Secondaire	Racine primaire	Similaire aux racines primaires	0,20 – 0,25	3,5	- appelées mésorhizes (racines du 2 <sup>e</sup> ordre)
Tertiaire	Racine secondaire	Semblables aux racines secondaires, mais fines	0,02-0,1	0,3 – 1,5	- Faible croissance - courte et - abondante appelée brachyrhizes (racines de 3 <sup>e</sup> ordre)

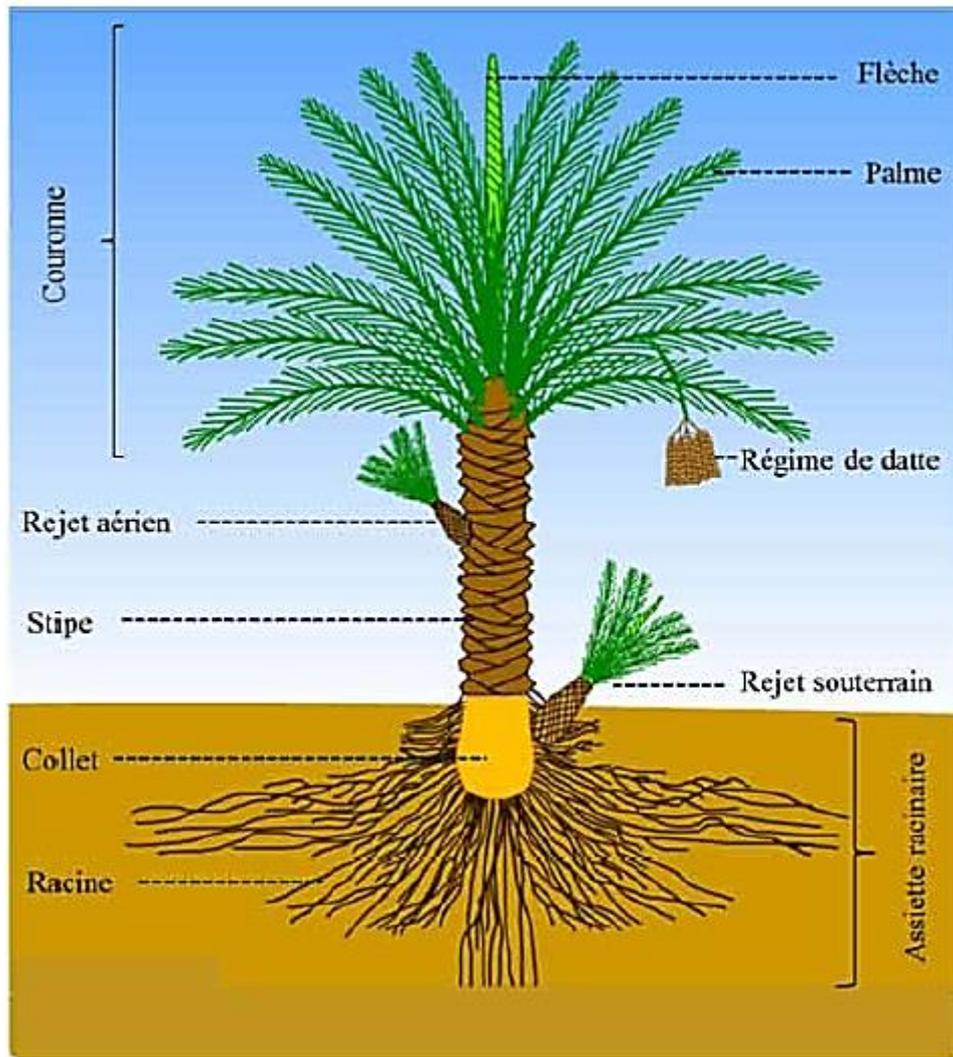
Chaque racine du palmier dattier est dotée d'organes respiratoires, également appelés pneumatiques. Ces racines peuvent s'étendre jusqu'à 25 mètres du tronc et à une profondeur de plus de 6 mètres, cependant, 85 % d'entre elles se concentrent dans une zone d'environ 2 mètres de profondeur et sur une distance latérale de 2 mètres dans un sol limoneux profond (Munier, 1973). Il est à noter que les racines des dattes peuvent tolérer un sol humide pendant plusieurs mois, mais si de telles conditions persistent sur des périodes prolongées, elles peuvent nuire à la santé des racines et à la production de fruits (Fig. 3). Le système racinaire du palmier dattier est structuré en quatre zones distinctes (Fig. 3) (Oihabi, 1991) :

- La zone I, connue sous le nom de zone respiratoire, se situe aux abords de la base du palmier, avec une profondeur maximale de 25 cm et une répartition latérale atteignant jusqu'à 0,5 m à partir du stipe ;

- La zone II, désignée comme la zone nutritionnelle, est d'une ampleur considérable, abritant la majorité des racines primaires et secondaires. Cette zone peut contenir jusqu'à 1000 racines par m<sup>2</sup> et plus de 1,60 g de racines pour 100 g de sol (Oihabi, 1991). Les racines de cette zone se déploient entre 0,90 et 1,50 m de profondeur et peuvent s'étendre latéralement au-delà de la projection de la canopée de l'arbre ;

- La zone III, qualifiée de zone d'absorption, revêt une importance variable en fonction du type de culture et de la profondeur de la nappe phréatique. Généralement située à une profondeur de 1,5 à 1,8 m, cette zone est principalement peuplée de racines primaires, dont la densité diminue graduellement de haut en bas ;

- La zone IV dépend en grande partie de la présence des eaux souterraines. À faible profondeur, il peut être difficile de distinguer la zone III de la zone IV, car elles abritent les deux types de racines. Lorsque la nappe phréatique est plus profonde, les racines de cette zone peuvent s'étendre à des profondeurs supérieures. Typiquement, elles présentent une structure en forme de cuvette avec un géotropisme positif.



**Fig. 3.** Construction schématique d'un palmier dattier avec son système racinaire (Odysse, 2015).

#### **I.1.4.1.2. Tronc ou stipe**

Le tronc du palmier dattier, également connu sous le nom de stipe, se présente comme une structure verticale, cylindrique et colonnaire, affichant une circonférence uniforme sur toute sa hauteur. Sa circonférence moyenne oscille généralement entre 1 et 1,10 m et reste constante même lorsque la canopée de frondes est pleinement développée. Arborant une teinte brune, le tronc est lignifié et dépourvu de toute ramification (Fig. 3). Composé de faisceaux vasculaires fibreux et résistants, il est cimenté dans une matrice de tissu cellulaire hautement lignifié près de sa périphérie (Bouguedoura, 1991). Étant une plante monocotylédone, le palmier dattier ne présente pas de couche de cambium. Au fil des années, le tronc est recouvert par les bases des anciennes frondes desséchées, lui conférant une texture rugueuse. Cependant, avec le temps, ces bases se dégradent et le tronc devient plus lisse, tout en présentant des cicatrices apparentes

de ces bases. La croissance verticale du palmier dattier est régulée par son bourgeon terminal, appelé phyllophore, lui permettant d'atteindre une hauteur pouvant atteindre 20 mètres. En revanche, la croissance horizontale ou latérale est facilitée par un cambium fasciculaire supplémentaire qui disparaît rapidement, maintenant ainsi une largeur de tronc constante et uniforme tout au long de la vie de l'arbre (Oihabi, 1991). Cependant, une croissance anormale du bourgeon terminal, résultant d'une carence nutritionnelle, peut entraîner un rétrécissement du tronc, principalement sous l'effet de conditions de sécheresse (Munier, 1973).

Parfois, les palmiers dattiers présentent un phénomène de ramification (Fig. 4) qui a été étudié par Zaid (1987) et qui peut avoir plusieurs origines. Ce processus de ramification peut résulter de la dichotomie, du développement des bourgeons axillaires, de la polyembryonie ou encore de l'attaque par une maladie. Malgré cette ramification, les palmiers dattiers conservent leur fertilité et peuvent produire autant de fruits qu'un palmier à tête unique.

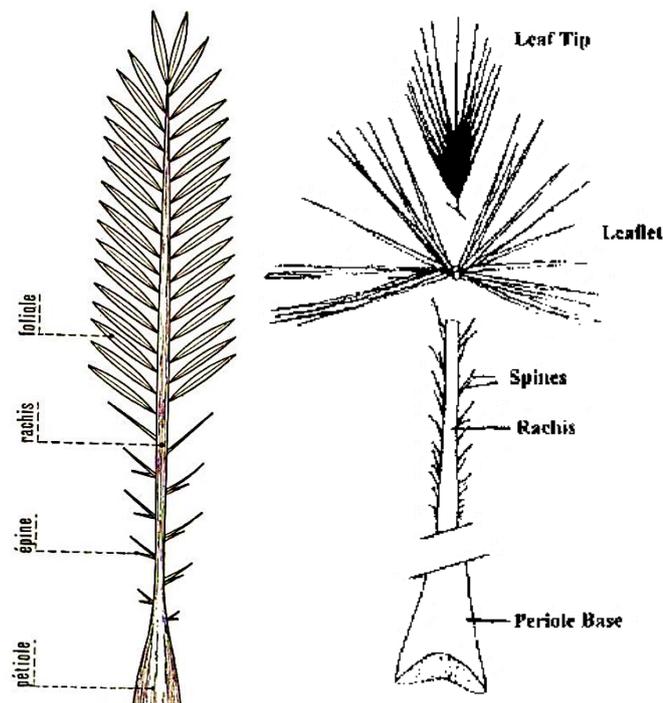


**Fig. 4.** Jeune palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) présentant une ramification dichotomique (Zaid & Wet, 2002)

### I.1.4.1.3. Feuilles

Selon la variété, l'âge du palmier et les conditions environnementales, les feuilles d'un palmier dattier peuvent mesurer de 3 à 6 mètres de longueur (avec une moyenne de 4 mètres) et ont une durée de vie normale de 3 à 7 ans (Peyron, 2000 ; Zaid, 2002). La largeur maximale de la nervure centrale de la fronde atteint 0,5 mètre, mais elle diminue rapidement au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la base vers le haut. La nervure médiane, ou pétiole, de la fronde présente généralement une section transversale relativement triangulaire, avec deux angles latéraux et un angle dorsal. Initialement dépourvue d'épines sur une courte distance, elle devient ensuite garnie d'épines de chaque côté (Fig. 5). Les zones intermédiaires de la fronde arborent des folioles qui ressemblent à des épines, également appelées épines foliaires (Munier, 1973).

À l'extrémité de la feuille, il peut y avoir soit une seule foliole terminale, soit deux folioles formant un V (Fig. 5). La structure des feuilles varie en fonction de la variété et de l'environnement, mais de manière générale, la longueur totale d'une fronde présente différentes proportions.



**Fig. 5.** Caractéristiques des feuilles du palmier dattier (Munier, 1973)

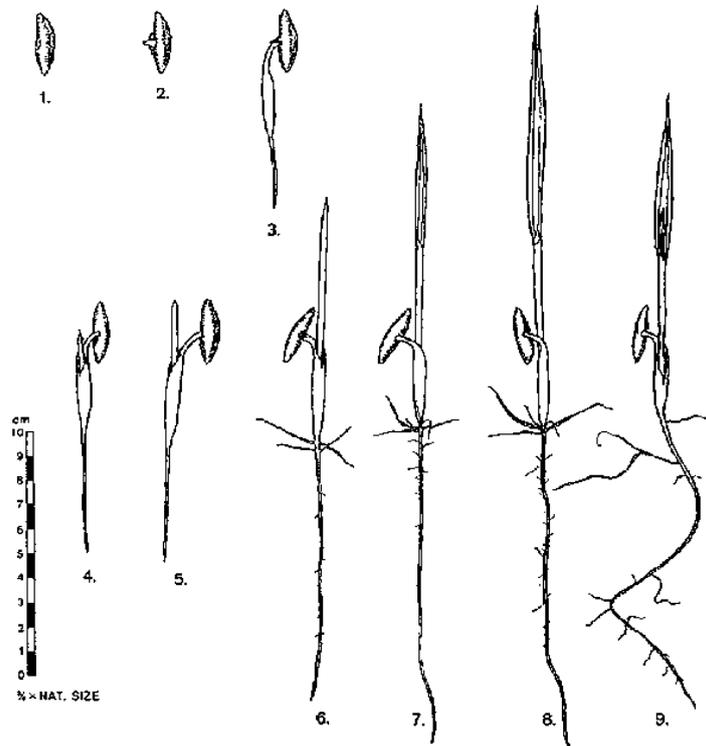
Toutes ces caractéristiques, combinées à d'autres, servent d'indices taxonomiques pour différencier les variétés de palmiers dattiers. Contrairement à certains arbres fruitiers, les feuilles mortes ou âgées ne se détachent pas naturellement, mais sont retirées lors des activités

de culture. Un palmier dattier mature peut compter environ 100 à 125 feuilles vertes, avec une formation annuelle de 10 à 26 nouvelles feuilles. Cependant, la fonctionnalité des feuilles pour le palmier diminue avec l'âge. Les recherches indiquent que les feuilles âgées de quatre ans sont seulement 65 % aussi efficaces en photosynthèse par unité de surface que les feuilles d'un an (Nixon & Wedding, 1956). Dans des conditions de culture optimales, une seule feuille peut soutenir la production de 1 à 1,5 kg de dattes.

Selon leur position dans la canopée du palmier, les feuilles peuvent être classées en trois catégories distinctes (Bouguedoura, 1991) : celles situées à l'extérieur sont vertes et activement impliquées dans la photosynthèse ; au centre, on trouve des feuilles vertes à croissance rapide, mais peu actives sur le plan photosynthétique ; tandis qu'au cœur du palmier, les feuilles juvéniles, encore non photosynthétiques, se distinguent par leur couleur blanche.

En moyenne, les palmiers dattiers présentent une répartition de 40 % de feuilles juvéniles, 10 % de feuilles à croissance rapide et 50 % de feuilles photosynthétiques. Ces feuilles sont agencées en 13 colonnes presque verticales, spirale légèrement vers la gauche sur certains palmiers et vers la droite sur d'autres. Pour estimer le nombre total de feuilles sur le palmier, le cultivateur peut simplement compter le nombre de feuilles dans l'une de ces colonnes et le multiplier par 13. Selon Nixon et Carpenter (1978), pour tenir compte des variations de taille à la base, les comptages peuvent être effectués sur des côtés opposés et divisés par deux, permettant ainsi au cultivateur de calculer plus précisément le nombre total de feuilles sur le palmier. Un ratio de 8 feuilles par régime de fruits indiquera le nombre de grappes à laisser sur un palmier.

Les feuilles des dattiers se caractérisent par un pétiole légèrement développé et une feuille juvénile qui se développe au cours des trois premières années après la germination des graines. Les feuilles adultes sont pennées et naissent en spirale ascendante aplatie, à partir des bourgeons produits par le point de croissance apical (Munier, 1973). À la base de chaque feuille se trouve un bourgeon axillaire qui peut donner naissance soit à une inflorescence au sommet du palmier, soit à une ramification à sa base. Selon Bouguedoura (1980), trois phases de développement distinctes des feuilles sont observées : la phase juvénile, stérile, conduit le palmier à produire plus de bourgeons d'inflorescence que de bourgeons végétatifs, qui avortent rapidement ; la deuxième phase, dite végétative, voit une production égale de bourgeons végétatifs et floraux, mais ce sont les bourgeons végétatifs qui se développent ; enfin, la troisième phase, généralement après 10 ans, est caractérisée par une production majoritaire de bourgeons floraux (Fig. 6).



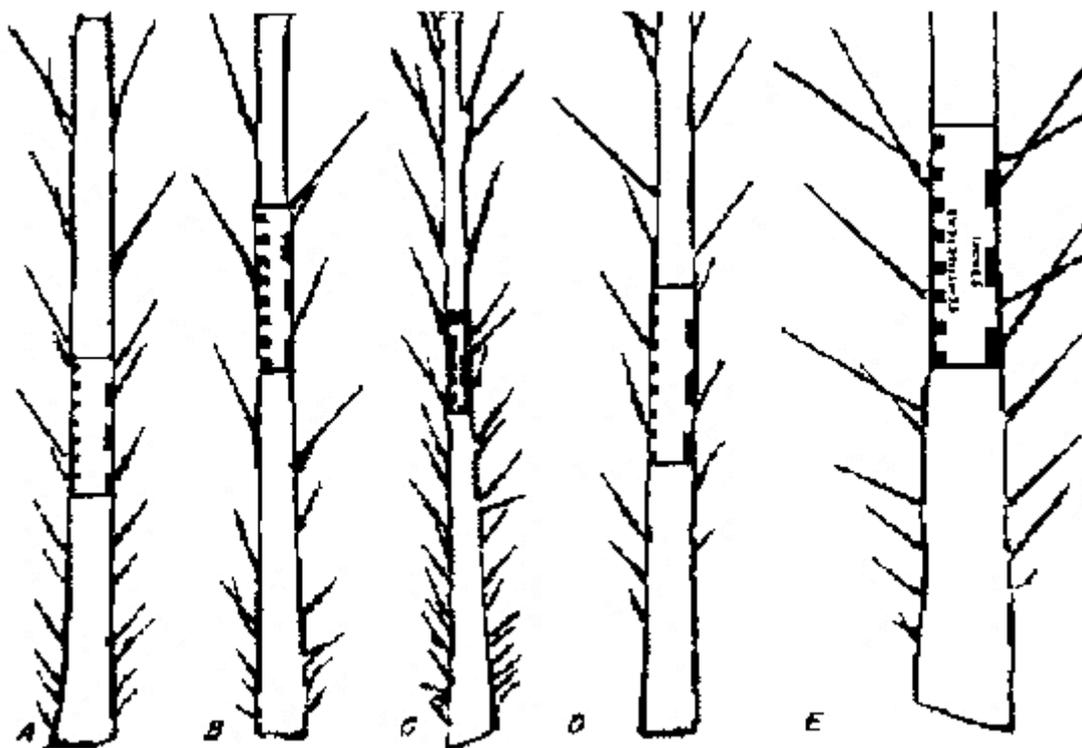
**Fig. 6.** Germination des graines de la variété Deglet Nour (Dawson, 1982).

#### **I.1.4.1.4. Fibres, épines et folioles**

À la base de la fronde se trouve une gaine enveloppant la paume, composée de tissu conjonctif blanc entrelacé de faisceaux vasculaires. Au fur et à mesure que la fronde se développe vers le haut, ce tissu conjonctif s'atténue progressivement, laissant les faisceaux vasculaires séchés, désormais brunis, sous forme de bandes de fibres dures et rugueuses attachées le long des bords latéraux des nervures médianes des frondes et enveloppant le tronc. La hauteur à laquelle la fibre pousse le long de la colonne centrale des frondes non ouvertes, ainsi que la texture et la couleur de la fibre, varient selon les variétés (Dawson, 1982).

Les épines, dont la longueur varie de quelques centimètres à 24 cm et l'épaisseur de quelques millimètres à 1 cm, sont réparties de manière différenciée le long des deux bords extérieurs des frondes, leur nombre variant de 10 à environ 60. Elles peuvent être solitaires, en groupes de deux ou de trois (Munier, 1973).

Les folioles ou pinnules, au nombre de 120 à 240 par fronde, sont entièrement lancéolées, pliées longitudinalement et attachées obliquement au pétiole. Leur longueur varie de 15 à plus de 100 cm, et leur largeur de 1 à 6,3 cm. La disposition des folioles dépend de la variété et peut se présenter en groupes de 1, 2, 3, 4 ou 5 pennes (Fig. 7).



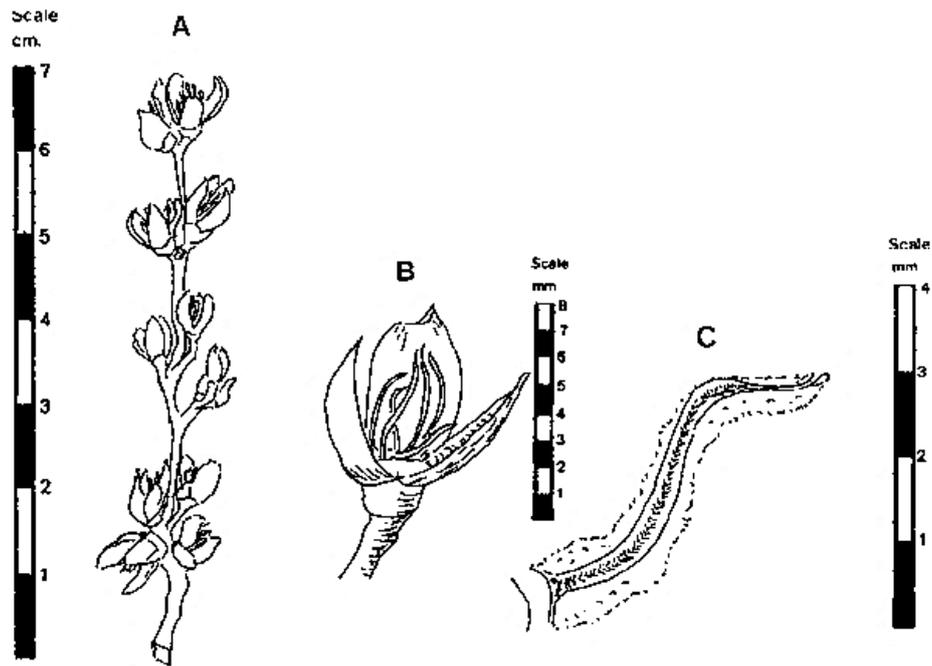
**Fig. 7.** Section inférieure de feuilles montrant les caractéristiques du rachis de cinq variétés commerciales de dattes : A - Barhee ; B - Dayri ; C - Deglet Nour ; E – Halawy (Zaid & Wet, 2002).

#### **I.1.4.2. Organes reproducteurs**

##### **I.1.4.2.1. Inflorescences/fleurs**

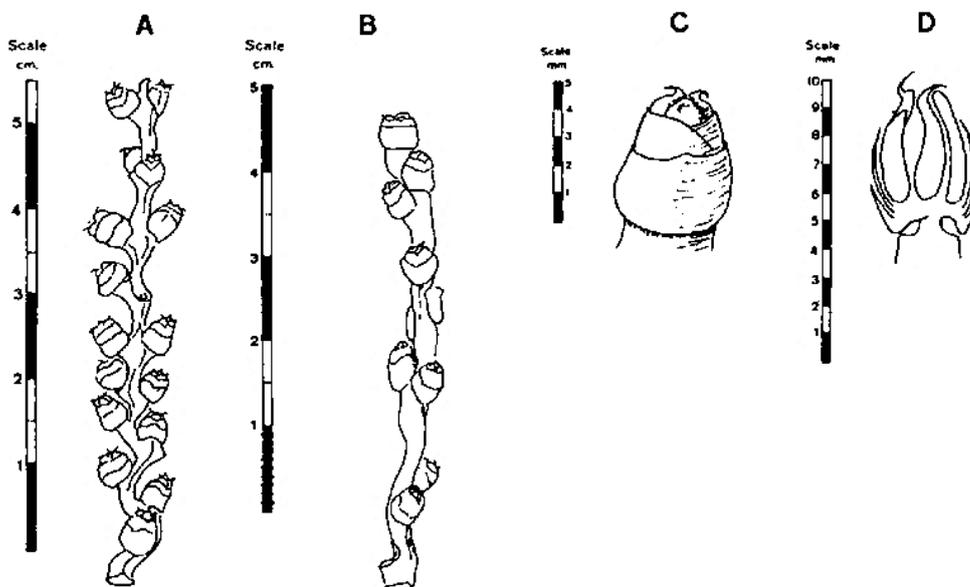
Le palmier dattier, une espèce dioïque, produit des fleurs mâles et femelles sur des palmiers distincts, regroupées en grappes à l'aisselle des feuilles de la croissance de l'année précédente. Dans certains cas rares, les fleurs pistillées et staminées peuvent être présentes sur le même épi, et l'existence de fleurs hermaphrodites dans l'inflorescence a également été observée (De Mason *et al.*, 1982). Les palmiers portant à la fois des fleurs unisexuées et hermaphrodites sont appelés polygames.

Les fleurs unisexuées sont principalement staminées, caractérisées par la présence de 6 étamines (d'une longueur d'environ 4 mm), 3 pétales et un calice à trois dents. Bien que la plupart des fleurs possèdent 3 pétales, quelques-unes en ont 4 (Fig. 8 ; Fig. 9).



**Fig. 8.** Fleurs mâles de palmier dattier. A. Épillets, B. Fleur, C. Étamine : (Dawson, 1982).

Ces fleurs sont portées en une grande grappe (inflorescence) appelée spadice ou épi, qui se compose d'une tige centrale appelée rachis et de plusieurs brins ou épillets (généralement 50 à 150 épillets) (Dawson, 1982).

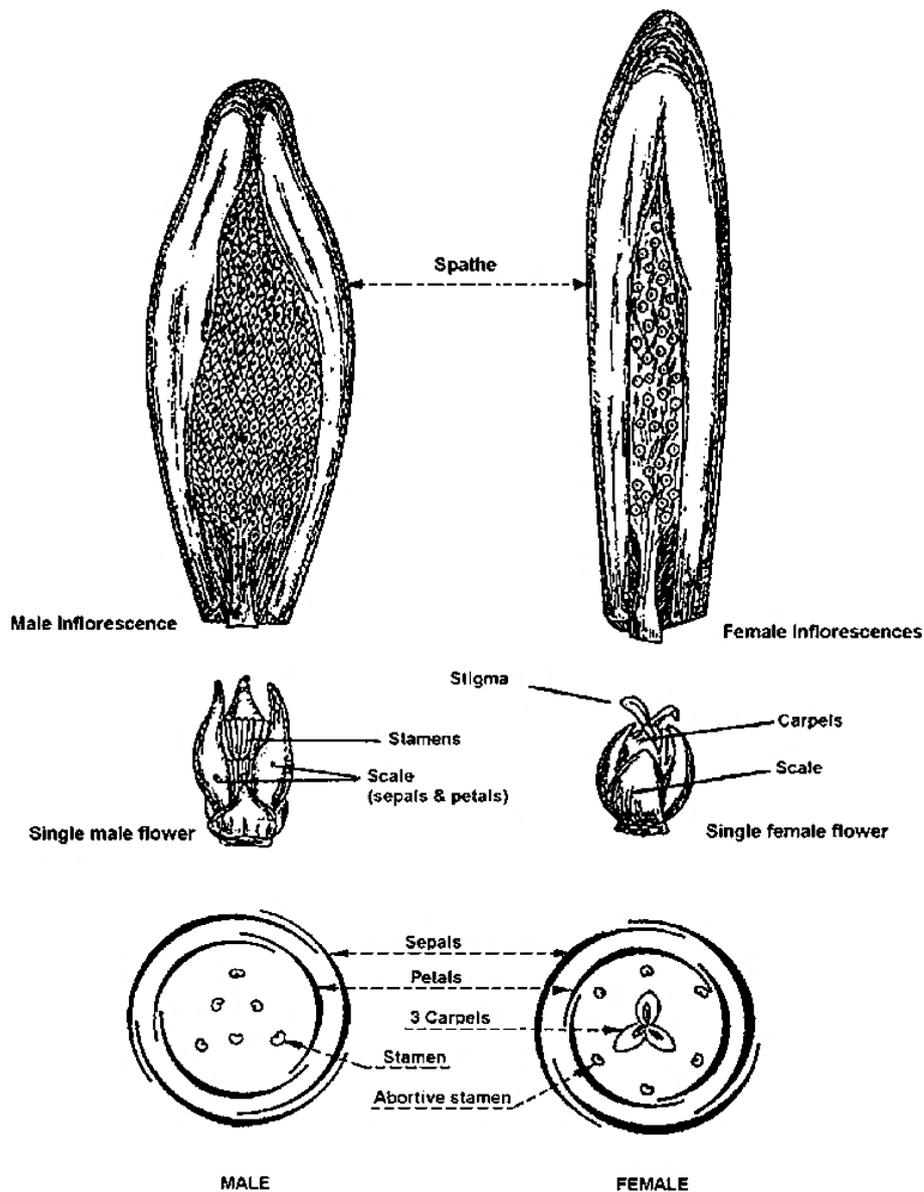


**Fig. 9.** Fleurs femelles de palmier dattier. A & B Deux épis (courts). B Quatre jours après la sortie de la spathe ; C Fleur non polluée montrant deux des trois pétales, le calice à trois dents et trois carpelles non fécondés ; D Fleur non pollinisée : Coupe verticale six jours après l'émergence de la spathe (Dawson, 1982).

L'inflorescence du palmier dattier, également connue sous le nom de grappe de fleurs, est initialement enveloppée dans une spathe dure qui s'ouvre progressivement à mesure que les fleurs atteignent leur maturité, exposant ainsi l'ensemble de l'inflorescence à des fins de pollinisation. Cette spathe protège les fleurs délicates contre la chaleur intense jusqu'à ce qu'elles soient pleinement mûres et prêtes à remplir leur fonction. Initialement verdâtre, la spathe devient brune juste avant de se fendre longitudinalement. Les spathe mâles sont généralement plus courtes et plus larges que les femelles. Chaque épi porte un grand nombre de petites fleurs, pouvant aller jusqu'à 8000 à 10 000 dans l'inflorescence femelle et plus encore dans l'inflorescence mâle (Chandler, 1958). Le nombre annuel de spathe produites par un palmier varie, en moyenne, d'une douzaine chez les femelles à plus chez les mâles (Munier, 1973).

L'inflorescence mâle est caractérisée par sa densité à l'extrémité du rachis, tandis que les branches de l'inflorescence femelle sont moins serrées à cette même extrémité. Ces caractéristiques permettent de distinguer le sexe de l'inflorescence avant son ouverture (Fig. 10) (Daher *et al.*, 2010). La fleur mâle dégage une odeur distinctive de pâte à pain et présente généralement six étamines entourées de pétales et de sépales cireux en forme d'écailles (trois de chaque). Chaque étamine est composée de deux petits sacs de pollen jaunâtres.

En revanche, la fleur femelle, d'un diamètre d'environ 3 à 4 mm, possède des étamines rudimentaires et trois carpelles étroitement serrés, avec un ovaire supérieur (hypogyne). Les trois sépales et les trois pétales sont fusionnés, seules leurs extrémités divergent. À l'éclosion, les fleurs femelles affichent une teinte plus jaune tandis que les fleurs mâles libèrent un pollen blanc lorsqu'elles sont secouées. Les sacs polliniques s'ouvrent généralement une à deux heures après l'ouverture de la spathe. Un seul ovule par fleur est fécondé, donnant naissance à un carpelle qui, à son tour, se développe en fruit, appelé datte, tandis que les autres ovules avortent. Les carpelles avortés persistent sous forme de deux taches brunes dans le calice des fruits mûrs.



**Fig. 10.** Inflorescences et fleurs mâles et femelles du palmier dattier (Munier, 1973)

#### I.1.4.2.2. Fruits

Le fruit du palmier dattier est généralement une baie, constituée d'une chair comestible, appelée pulpe, entourant une seule graine, également connue sous le nom d'amande, de noyau ou de pyrène. La partie comestible du fruit, appelée péricarpe, se compose d'une fine couche externe appelée exocarpe, d'une chair sucrée appelée mésocarpe et d'un endocarpe en couches fines (Kamal-Eldin & Ghnimi, 2018). Les critères de qualité les plus importants pour les fruits comprennent la taille, la forme, la couleur, la texture, le goût et l'arôme. Les fruits sont généralement classés en variétés molles, semi-sèches et sèches, ce classement dépendant principalement des niveaux d'humidité et de glucides, tels que les sucres solubles et les fibres,

qui influent sur d'autres caractéristiques de qualité comme la dureté, la viscosité/adhésivité et les paramètres de texture. Les préférences des consommateurs en matière de qualité des fruits de dattes varient d'un pays à l'autre en fonction de la disponibilité des variétés et des pratiques de culture (Kamal-Eldin & Ghnimi, 2018).

La pulpe de datte est faible en matières grasses et en protéines, mais riche en sucres, principalement en fructose et en glucose. Elle constitue une source énergétique importante, avec une valeur énergétique estimée à 314 kcal pour 100 g de datte (Al-Farsi & Lee, 2008) (Tableau II).

**Tableau II.** Valeurs nutritionnelles des dattes (Al-Farsi & Lee, 2008)

<b>Eléments nutritifs</b>	<b>Valeur</b>	<b>Eléments minéraux</b>	<b>Valeur (mg/100g)</b>
Teneur en eau (g/100g)	15,2	Potassium	650 - 750
Protéines (g/100g)	2,1	Calcium	58 - 68
Matières grasses (g/100g)	0,4	Magnésium	50 - 59
Cendres (g/100g)	1,7	Phosphore	55 - 64
Sucres (g/100g)	64,1	Soufre	44 - 51
Énergie (kcal/100g)	314	Sodium	4,1 - 4,8
Fibres (g/100g)	8	Cuivre	0,2
Vitamine C (µg/100g)	3900		
Caroténoïdes (mg/100g)	0,97		
Phénoliques (mg/100g)	240		
Antioxydants (µmol/100g)	1871		

#### **I.1.4.2.3. Graine**

La graine du palmier dattier est généralement oblongue, présentant des rainures sur sa face ventrale, avec un petit embryon et un endosperme dur constitué d'un dépôt de cellulose à l'intérieur des parois cellulaires (Kamal-Eldin & Ghnimi, 2018). Comme pour le fruit, les caractéristiques de la graine varient en fonction de la variété et des conditions environnementales et de culture (Munier, 1973). Le poids d'une graine peut varier de moins de 0,5 g à environ 4 g, sa longueur allant d'environ 12 à 36 mm et sa largeur de 6 à 13 mm (Fig. 11).

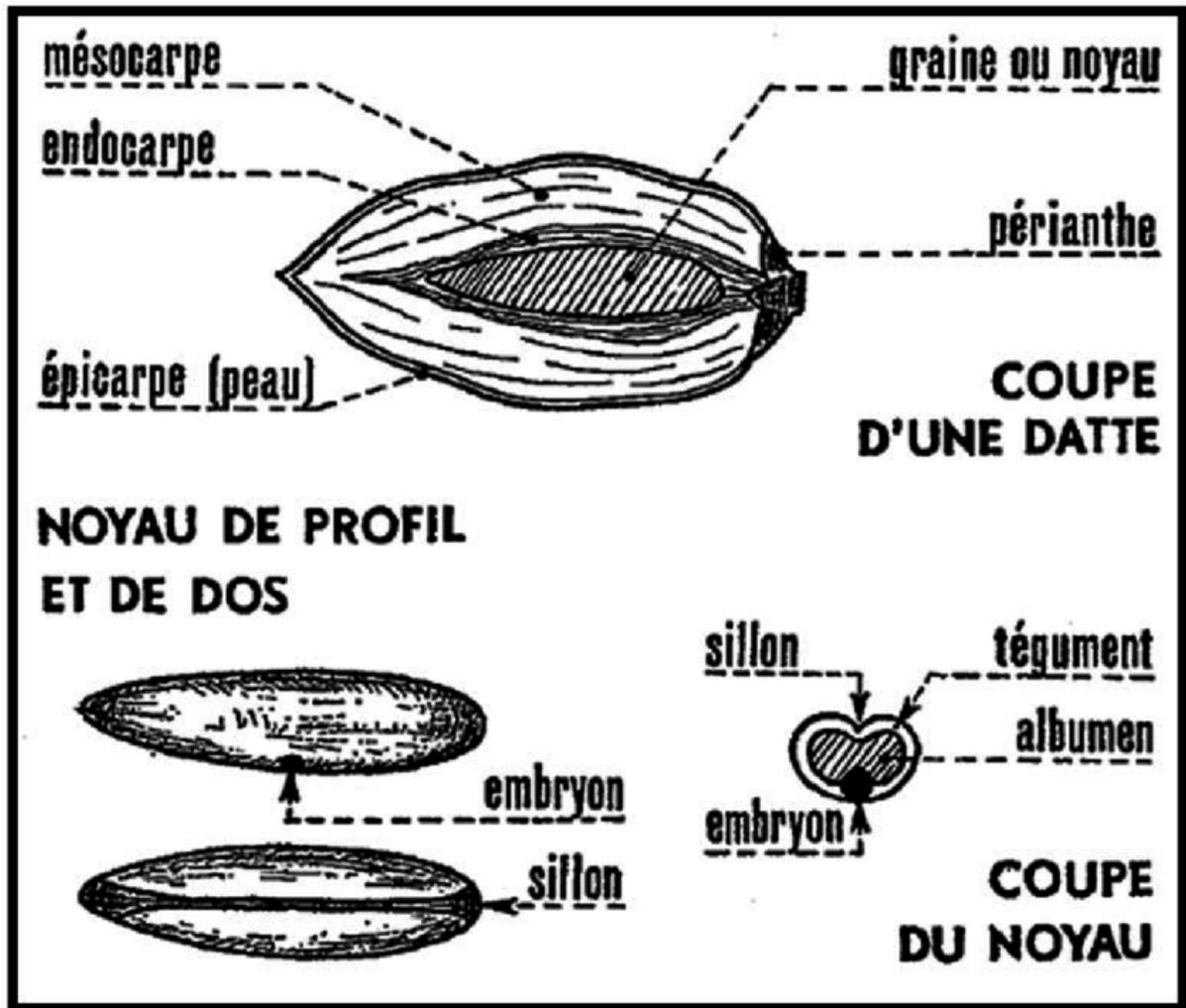


Fig. 11. Morphologie et anatomie du fruit et de la graine du palmier dattier (Munier, 1973)

## I.1.5. Multiplication du palmier dattier

### I.1.5.1. Reproduction asexuée

#### I.1.5.1.1. Reproduction par rejets

La multiplication végétative du palmier dattier est la méthode prédominante utilisée dans le monde entier pour établir de nouvelles plantations. Cette technique, basée sur la reproduction par rejet, garantit la préservation des traits génétiques de la plante mère, assurant ainsi une uniformité du sexe, de la variété, de la vigueur et de la qualité des fruits. La production de drageons, ou rejets, est influencée par l'âge de la plante et le cultivar. Ces rejets se forment principalement pendant la phase juvénile de la plante, généralement entre 5 et 15 ans, avec un nombre variant de 5 à 30 par individu (Abo-El-nil *et al.*, 1986 & Bouguedoura, 1991). Cependant, bien que largement utilisée, la méthode de multiplication par rejet présente des

limites pour la création de palmeraies intensives et pour les programmes d'amélioration génétique, en raison de son coût, du nombre restreint de rejets et des risques potentiels de propagation de maladies. De plus, son succès nécessite un savoir-faire spécifique pour le sevrage et la transplantation des rejets (Al-Khayri, 2001).

Au Tchad, par exemple, cette technique est couramment pratiquée dans la région traditionnelle du Sahara, où le savoir-faire des producteurs locaux permet la multiplication clonale des variétés sélectionnées par culture de rejets, assurant ainsi la conservation et la transmission des caractéristiques spécifiques de génération en génération.

#### **I.1.5.1.2. Reproduction par la culture *in vitro***

La multiplication du palmier dattier par voie végétative, notamment à travers la culture des rejets, présente plusieurs limitations, notamment le risque de transmission de maladies. Pour surmonter ces défis, la culture *in vitro* émerge comme une solution prometteuse, offrant non seulement une protection contre ces vulnérabilités, mais également une réponse plus efficace à la demande croissante en semences de cette espèce. Le recours aux techniques de multiplication végétative *in vitro* demeure ainsi la seule alternative permettant une production en masse et une diffusion rapide des cultivars auprès des phoeniculteurs (Rhiss *et al.* 1979 ; Drira & Benbadis, 1985 ; Ferry, 2001). Depuis les années 1970, de nombreuses recherches ont été menées, proposant différentes stratégies de clonage *in vitro* par organogenèse et embryogenèse somatique (Fki *et al.*, 2003 ; Sané *et al.*, 2006). Ces approches ont été utilisées avec succès pour multiplier des variétés hautement valorisées du palmier dattier en vue de leur exploitation commerciale.

#### **I.1.5.2. Reproduction sexuée (semis de graines)**

La méthode traditionnelle de multiplication par semis de graines est l'une des pratiques les plus anciennes adoptées par les phoeniculteurs. Elle a joué un rôle crucial dans l'établissement de nombreuses palmeraies et dans l'expansion des cultures au-delà de leur zone d'origine. En raison de sa simplicité et de son coût relativement bas, cette approche est toujours largement utilisée aujourd'hui pour créer des oasis dans de nombreux pays sahéliens (Ferry *et al.*, 1998). Cependant, elle ne convient pas à la phœniculture commerciale en raison de la nature dioïque de l'espèce et de son haut degré d'hétérozygotie. La descendance issue des graines est composée d'environ 50 % d'individus femelles et 50 % d'individus mâles. Bien que cette reproduction sexuée contribue à la diversité génétique, les caractéristiques agronomiques des plantes femelles issues de semis peuvent différer, voire être inférieures, à celles de la plante

mère. Dans les régions en cuvette du Sahel, la multiplication par semis de graines demeure largement répandue.

## **I.1.6. Importances et utilisations de palmier dattier**

### **I.1.6.1. Importance nutritive et médicinale**

D'un point de vue nutritionnel, les dattes se distinguent par leur abondance en éléments minéraux tels que le potassium, le calcium et le magnésium, ainsi qu'en sucres, fibres et vitamines. Ces composants leur confèrent des propriétés antioxydantes et une haute valeur calorique, avec un contenu en sucres oscillant entre 67 et 75 %, comme rapporté par plusieurs études (Sawaya *et al.*, 1984 ; Allaith, 2008 ; Habib & Ibrahim, 2009 ; El-Sohaimy & Hafez, 2010 ; Ahmed *et al.*, 2014). Depuis des temps immémoriaux, les dattes ont constitué un élément essentiel de l'alimentation, tant pour les êtres humains que pour les animaux. Ce fruit peut être consommé frais ou sec, à différents stades de maturation selon les variétés et les régions. Dans certaines cultures, les dattes sont transformées en jus, sirop, alcool, miel, plats traditionnels, vinaigres, farine, entre autres (Boucherba, 2015).

D'un point de vue médicinal et cosmétique, les dattes possèdent une grande variété d'usages thérapeutiques, comme en témoignent les travaux de recherche (Benchelah & Maka, 2006 ; Essa *et al.*, 2015) et les références historiques (Munier, 1973). Depuis l'antiquité, les produits dérivés des dattes sont utilisés dans la pharmacopée traditionnelle et la cosmétologie. Ils sont prescrits pour traiter diverses affections telles que la toux, les piqûres d'insectes, la constipation, facilitant même l'accouchement et fournissant une source énergétique aux femmes enceintes. Les dattes sont réputées pour stimuler la lactation, améliorer la vision, réguler la tension artérielle et traiter des conditions telles que l'anémie, les blessures, les œdèmes, la déshydratation et les ulcérations (Benkadi, 2013). Essa *et al.* (2015) ont même démontré que la consommation de dattes contribue au développement cognitif chez les jeunes.

### **I.1.6.2. Importance économique**

Les dattes sont largement disponibles sur les marchés du monde entier en raison de leur valeur nutritionnelle significative. Elles occupent la cinquième place en termes de production mondiale de fruits dans les régions arides et semi-arides, juste après les agrumes, la mangue, la banane et l'ananas, tandis qu'elles sont classées en tête des fruits secs, surpassant même les raisins, les figues et les pruneaux (Anonyme 2, 2024). Outre leur importance alimentaire, le

palmier dattier offre une multitude de matériaux utilisés dans l'artisanat, la construction et la production d'énergie. Au Tchad, comme dans d'autres pays producteurs de dattes, le palmier est utilisé pour fabriquer des objets tels que des meubles, des nattes, des cordes, des plateaux, des paniers, des éventails, et même pour la construction de bâtiments tels que des maisons et des hangars. Cette diversification des produits dérivés du palmier dattier constitue une source de revenus supplémentaire pour les producteurs, ce qui contribue à améliorer l'économie des zones où la culture des dattes est prédominante.

Au Tchad, le prix de vente des dattes varie selon les circuits de distribution et les cultivars. Par exemple, à N'Djamena, les prix oscillent entre 1250 et 1700 F CFA par kilogramme, tandis qu'en zone saharienne, le prix avoisine les 506 FCFA par kilogramme. L'industrialisation croissante de la filière datte est en cours, soutenue par la demande croissante de variétés de qualité appréciées par les consommateurs du monde entier. Les grands producteurs de dattes tels que l'Égypte, l'Algérie, l'Arabie saoudite et l'Iran fournissent les marchés mondiaux avec des variétés de très bonne qualité (Anonyme 2, 2024). De plus, les produits dérivés des dattes trouvent également des applications dans d'autres secteurs, tels que la production de bioéthanol pour l'énergie (Boucherba, 2015).

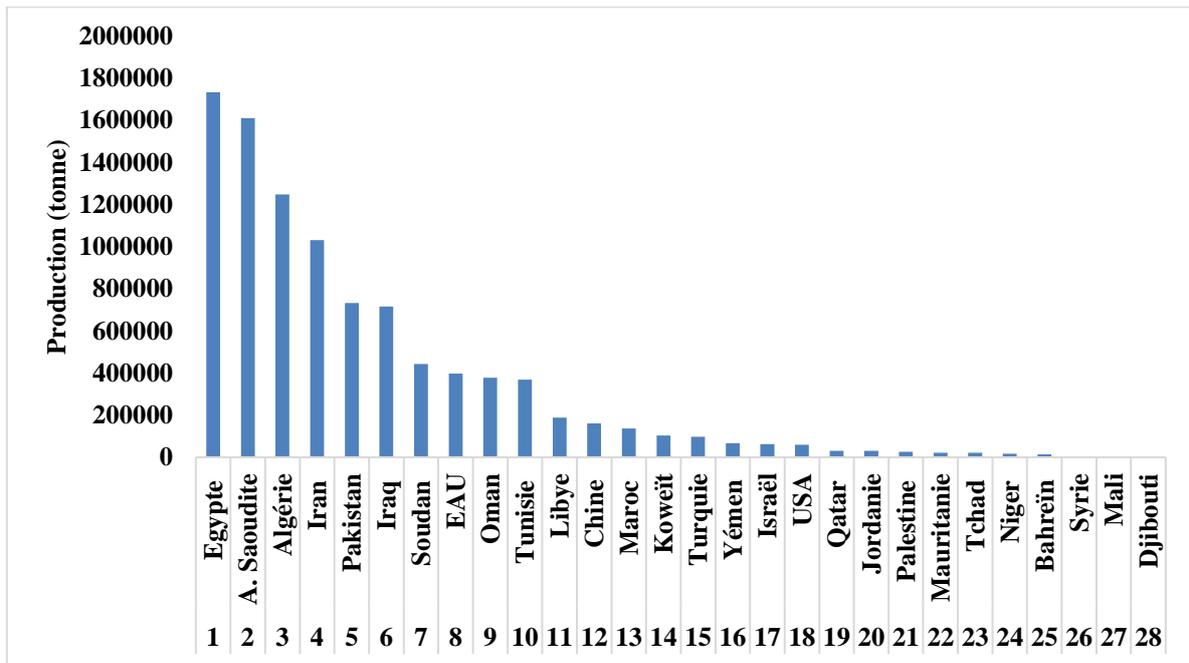
### **I.1.6.3. Importance sociale et culturelle**

Le palmier dattier, joue un rôle crucial dans le renforcement des liens sociaux entre les communautés. Au Tchad, une part significative de la production familiale est souvent destinée à être offerte en don aux voisins et aux connaissances, une pratique répandue dans toutes les régions productrices de dattes. Depuis l'Antiquité, cette espèce revêt une importance culturelle et symbolique pour les populations des pays d'Afrique du Nord et du Moyen-Orient. Le palmier dattier est mentionné à plusieurs reprises dans la Torah, la Bible et le Coran, soulignant ainsi son importance religieuse et culturelle (Musselman, 2003).

L'importance du palmier dattier est également illustrée à travers diverses représentations artistiques, telles que des timbres-poste, des billets de banque, et même par la création de structures emblématiques telles que les "Palm Jumeirah", des îles artificielles en forme de palmier à Dubaï. Dans la tradition musulmane, le jeûne du Ramadan est souvent rompu en consommant quelques dattes, tandis que chez les chrétiens, les fidèles portent des palmes tressées et bénies lors du dimanche des Rameaux (Castellana, 1998).

### I.1.7. Production et commerce international des dattes

En 2020, la production mondiale de dattes s'élevait à environ 9 404 073 tonnes. L'Égypte dominait le classement mondial avec une production de 1 690 959 tonnes, suivie de près par l'Arabie saoudite et l'Algérie, respectivement en deuxième et troisième position (Anonyme 2, 2024). Dans la région du Sahel, le Tchad se positionnait en deuxième place après la Mauritanie, occupant ainsi le 23<sup>e</sup> rang mondial en termes de production de dattes.



**Fig. 12.** Production de dattes des 28 premiers pays producteurs dans le Monde (Anonyme 2, 2024).

Selon les données de la FAOSTAT (2022), la Tunisie se positionne en tête des pays exportateurs de dattes, tandis que l'Inde occupe la première place mondiale en tant qu'importateur, suivi par le Maroc en deuxième position. Une variété de dattes est commercialisée à l'échelle internationale, comprenant notamment l'Adjoua, la Sultana, la Barhee, la Deglet Nour, la Medjoul, la Hayani, entre autres.

Au Tchad, la commercialisation se fait grâce à la monnaie locale (FCFA), contrairement à l'époque coloniale où le commerce de dattes se faisait via des échanges contre du sucre, des moutons ou des vêtements (Baroin & Prêt, 1993). Le chiffre d'affaires qui découle des activités du palmier dattier pourrait dépasser une dizaine de millions d'Euros. L'exportation de dattes du Tchad se fait vers le Nigeria et le Cameroun, mais aucune statistique nationale n'est existante.

### **I.1.8. Pratiques culturelles de palmier dattier**

Les travaux agricoles associés à la culture des palmiers dattiers impliquent plusieurs pratiques essentielles pour assurer une production optimale en quantité et en qualité de fruits. La création d'une palmeraie exige une disposition minutieuse des plantations, avec une distance adéquate entre les arbres. Pour la multiplication, l'utilisation des rejets constitue la méthode la plus efficace, en sélectionnant des rejets d'un diamètre d'environ 25 à 30 cm (Si Bennasseur, 2015). Deux méthodes de pollinisation sont couramment utilisées : la pollinisation manuelle et la pollinisation mécanisée, comme indiqué par Munier (1973). L'irrigation joue un rôle crucial dans le développement des palmiers dattiers, influençant leur croissance végétative et leur fructification. Les besoins en eau varient en fonction du stade de croissance et de l'activité physiologique de l'arbre. En parallèle, la fertilisation du sol est nécessaire pour fournir les nutriments essentiels, soit par des fertilisants organiques tels que le fumier et le compost, soit par des engrais minéraux, en fonction des besoins de l'arbre et des caractéristiques du sol. Avant la récolte, un nettoyage et un entretien méticuleux de l'oasis et de son environnement sont recommandés. L'élagage des palmes est une pratique importante, non seulement pour faciliter la récolte, mais aussi pour réduire les risques de maladies en éliminant les foyers d'infestation. En outre, certains producteurs utilisent des techniques innovantes telles que l'ensachage des régimes de dattes et la réduction des inflorescences femelles pour améliorer la productivité (Si Bennasseur, 2015).

### **I.1.9. Limites de la phœniciculture**

La culture des dattes progresse continuellement et devient de plus en plus cruciale dans l'ensemble de la région productrice de dattes. Cependant, ce secteur est confronté à diverses menaces environnementales, notamment la désertification, l'ensablement des palmeraies, la salinité des sols et les sécheresses fréquentes. De plus, l'émergence de différents ravageurs tels que la cochenille blanche, la pourriture de l'inflorescence, la pyrale des dattes, la maladie de la feuille cassante et le Bayoud (*Fusarium oxysporum*) entrave la croissance de cette filière vitale (Ben Abdallah, 1990). Une préoccupation grandissante concerne la propagation de certains ravageurs, comme le charançon rouge (*Rhyncophorus ferrugineus*), en raison du non-respect des périodes de quarantaine pour les palmiers dattiers et les palmiers des Canaries introduits par le commerce mondial (Rochat *et al.*, 2006). Dans la région du Sahel, en particulier au Tchad, les conflits politico-militaires et le désintérêt croissant des jeunes et des femmes pour la culture

du palmier dattier représentent des défis majeurs à surmonter pour assurer un avenir prospère à la phœniciculture.

## **I.2. AGROBIODIVERSITE OASIENNE**

### **I.2.1. Concepts et définitions**

L'agrobiodiversité ou la diversité agricole, se définit comme : « la diversité des espèces, la diversité génétique et celle des écosystèmes associés ou créés par l'agriculture » (Raimond *et al.*, 2020). Cette configuration de diversité dans les régions arides ou semi-arides donne lieu à un système agricole unique, centré autour de la culture du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) et comprenant d'autres cultures telles que les cultures maraîchères, arboricoles ou fourragères, communément appelé agrosystème oasien (Ben Abdellah, 1990). Ce système est généralement caractérisé par une agriculture mixte qui dépend fortement de l'irrigation. Les palmeraies jouent un rôle central dans ce type d'agrosystème, définies comme "un espace irrigué fortement anthropisé qui supporte une agriculture classiquement intensive et en polyculture" (Battesti, 2012).

### **I.2.2. Oasis au Tchad**

Les oasis du Tchad se trouvent principalement dans les provinces du Sahara au Nord et aussi dans des cuvettes du Sahel du pays (Kanem et Lac).

### **I.2.2.1. Zone saharienne**

La région du Sahara, principalement centrée autour du Tchad, est l'épicentre de la culture du palmier dattier, abritant près de 97 % de ces arbres emblématiques. Cette zone, ancrée dans la tradition, se distingue par un système agricole complexe connu sous le nom d'oasis, où la production de dattes coexiste avec une agriculture irriguée de subsistance, un élevage sédentaire limité et la transhumance des chameaux. La zone de Faya se distingue comme un important foyer de production de dattes, alimentant un commerce actif avec le reste du pays, avec plus de 2 millions de palmiers parsemés à travers les exploitations, surtout concentrés dans le Sahara (Ben Salah, 2015). Sous le couvert des palmiers, des plantations fruitières et diverses cultures telles que le blé, le mil et les légumes sont cultivées pour répondre aux besoins des exploitants. Le pays compte neuf oasis principales, chacune se distinguant par ses caractéristiques hydroécologiques et topographiques. Ces oasis se répartissent en quatre types : les oasis d'oued, localisées dans le nord du domaine sahélo-soudanien ; les oasis de nappe, présentes dans le Sahara méridional ; les oasis de piémont, nichées dans les hauts reliefs comme les palmeraies de Bardaï et ses environs ; et enfin, les oasis de cuvette, localisées dans la bande sahélo-sahélienne (Anonyme 3, 2009).

### **I.2.2.2. Zone sahélienne**

Dans la partie centrale du pays correspondant à la zone sahélienne, des agrosystèmes oasiens sont également rencontrés dans des cuvettes. On trouve des systèmes oasiens dans les provinces du Kanem, le Lac et quelques rares oasis dans la province de Bahr El-Gazal (Anonyme 3, 2009). Les systèmes de production sont basés sur l'agriculture oasienne et la culture des mils pénicillaires sur les dunes, constituant une transition avec les systèmes sahariens.

## **I.3. DIVERSITE GENETIQUE DU PALMIER DATTIER**

### **I.3.1. Structure génétique**

La structure génétique d'une population est décrite par l'ensemble des fréquences génotypes et alléliques de la population. Ces deux paramètres constituent la composition de la population (De Meeûs, 2012).

### I.3.1.1. Structure génétique et allélique en un locus

Les fréquences alléliques, également appelées fréquences géniques, représentent la répartition des différents allèles d'un locus donné au sein d'une population. Elles déterminent la structure allélique, ou génique, de la population pour ce locus. La combinaison de ces fréquences constitue la structure génotypique de la population pour ce même locus.

Considérons le locus biallélique A, a dans ce cas trois (3) génotypes sont possibles AA, Aa et aa. La fréquence de l'allèle A se calcule de la manière suivante :

$$A = \frac{\text{Nombre de gènes } A}{\text{Nombre total de gènes}} = \frac{2n_{AA} + n_{Aa}}{2N} = fr(AA) + \frac{1}{2} fr(Aa)$$

Fréquence de l'allèle a :

$$q = 1 - p = \frac{\text{Nombre de gènes } a}{\text{Nombre total de gènes}} = \frac{2n_{aa} + n_{Aa}}{2N} = fr(aa) + \frac{1}{2} fr(Aa)$$

Ces formules sont toujours vraies, elles n'impliquent aucune supposition sur le régime de reproduction ou l'effet des pressions évolutives. L'échantillonnage d'une partie de la population est suffisant pour estimer ces fréquences, car en général l'échantillon est représentatif de la population.

### I.3.1.2. Population théorique idéale : le modèle de Hardy-Weinberg

Godfrey Harold Hardy était un mathématicien britannique tandis que Wilhelm Weinberg était un médecin allemand. En 1908, ces deux chercheurs ont publié de manière simultanée et indépendante un modèle fondamental en génétique des populations, connu sous le nom de « modèle de Hardy-Weinberg ». Dans ce cadre, ils ont simplifié les calculs en établissant plusieurs hypothèses :

**Hypothèse 1 (H1) :** l'hypothèse de la panmixie. On suppose que les gamètes s'associent au hasard par rapport aux gènes considérés. Autrement dit, les individus se rencontrent aléatoirement par rapport à leur phénotype pour former des couples.

**Hypothèse 2 (H2) :** la population a une taille infinie, la fréquence d'un événement est donc égale à sa probabilité, c'est la loi des grands nombres. Et dans ce cas il n'y a pas d'effet de dérive génétique.

**Hypothèse 3 (H3) :** la fréquence des allèles n'est pas modifiée d'une génération à la suivante par aucune des forces évolutives qui sont : la mutation, la sélection.

### **La loi de Hardy-Weinberg :**

Dans une population isolée de taille infinie, non sujette à la sélection et sans mutation (H2 et H3), les fréquences alléliques demeurent stables. Ainsi, en l'absence de toute force évolutive, ces fréquences ne varient pas d'une génération à l'autre.

Si les accouplements sont panmictiques (H1), les fréquences génotypiques demeurent également constantes et peuvent être directement dérivées des fréquences alléliques selon la relation suivante :  $f(AA) = p^2$ ,  $f(Aa) = 2pq$ ,  $f(aa) = q^2$

La seconde partie de la loi de Hardy-Weinberg établit une relation entre les fréquences génotypiques et les fréquences alléliques lorsqu'il y a panmixie.

S'il y a plus de deux allèles au locus considéré :  $A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n$  de fréquences  $p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_n$ , il existe  $n(n+1)/2$  génotypes différents et la structure génotypique de Hardy-Weinberg devient :

- Homozygotes  $A_iA_i$  en fréquences  $p_i^2$
- Hétérozygotes  $A_iA_j$  en fréquences  $2 p_i p_j$

Le modèle de Hardy-Weinberg représente la forme la plus élémentaire de modèle. Si une hypothèse de ce modèle de référence n'est pas respectée, les structures seront altérées, ce qui aura un impact sur l'évolution de la population.

#### **I.3.1.3. Influence des régimes de reproduction, écarts à la panmixie**

Le régime de reproduction indique comment les gamètes se combinent en ce qui concerne les gènes considérés, afin de former la prochaine génération. La composition génétique d'une population est largement influencée par le régime de reproduction. La panmixie, par exemple, donne à la population une structure génotypique comprenant des individus hétérozygotes  $2pq$  ( $f(Aa) = 2pq$ ) (De Meeûs, 2012).

#### **I.3.1.4. Influence des forces évolutives**

Une force ou pression évolutive est une action qui s'exerce sur la population et en modifie la structure allélique. Il en existe 4 types, correspondant à l'abandon des hypothèses de la loi de Hardy-Weinberg, entre autres la dérive génétique, la mutation, la migration et la sélection.

## I.3.2. Mesure de la diversité génétique dans et entre les populations

### I.3.2.1. Diversité intra population (au sein d'une population)

La diversité intrapopulation se réfère à la diversité à l'intérieur d'une même population. Pour évaluer cette diversité génétique dans un matériel génétique donné, plusieurs marqueurs moléculaires sont utilisés. En ce qui concerne la variabilité génétique intrapopulation, la comparaison directe des fréquences alléliques peut s'avérer complexe. Cependant, il existe des paramètres capables de synthétiser, de manière globale, les informations les plus pertinentes, tels que le nombre moyen d'allèles par locus (A), le taux de polymorphisme (PIC), le taux moyen d'hétérozygotie observée (Ho), le taux moyen d'hétérozygotie attendue (He) et l'indice de fixation (F<sub>IS</sub>).

#### I.3.2.1.1. Nombre moyen d'allèles par locus (A)

Le nombre moyen d'allèles par locus c'est le paramètre qui traduit la richesse en allèles d'une population (Petit *et al.*, 1998), il est calculé selon la formule :  $A = \frac{1}{l} \sum a$  où a représenté le nombre d'allèles à un locus et l le nombre des loci étudiés.

#### I.3.2.1.2. Taux de polymorphisme (PIC)

Le taux de polymorphisme est le pourcentage des loci polymorphes dans l'échantillon étudié. Autrement dit, c'est la probabilité d'observer au moins deux allèles au même locus, cette probabilité dépend des fréquences respectives des allèles et aussi de la taille de l'échantillon.

Il est décrit par (Botstein *et al.*, 1980),

$$PIC_i = 1 - \sum_{i=1}^l p_i^2 - \sum_{i=1}^{l-1} \sum_{j=i+1}^l 2 p_i^2 p_j^2$$

$l$  = locus,  $P_i$  = est la fréquence du  $i^{ème}$  allèle,  $P_j$  : la fréquence du  $j^{ème}$  allèle

Et modifiée par Anderson *et al.*, (1993), De Riek *et al.*, (2001)

$$PIC_i = 1 - \sum p_{ij}^2$$

$P_{ij}$  est la fréquence du  $i^{ème}$  allèle pour le  $j^{ème}$  marqueur

#### I.3.2.1.3. Taux d'hétérozygote observé (Ho)

Le taux d'hétérozygotie observée représente la proportion d'individus hétérozygotes au locus K comme dans la formule :  $H_{0k}$

$$H_o = \frac{1}{L} \sum_{k=1}^l H_{0k}$$

#### **I.3.2.1.4. Taux d'hétérozygote attendu (He)**

L'hétérozygotie attendue (He) représente la diversité génétique selon Nei (1973) et reflète le niveau de variabilité des gènes au sein d'une population donnée. En d'autres termes, elle indique la probabilité que deux allèles choisis au hasard dans une population soient différents à un locus donné. Ce paramètre offre une estimation précise de la variabilité génétique de la population :

$$H_e = 1 - \sum_{i=1}^n p_i^2$$

Avec  $p_i$  la fréquence allélique pour chaque allèle et  $n$  le nombre d'allèle au locus considéré.

#### **I.3.2.1.5. Indice de Fixation ( $F_{IS}$ )**

L'indice de Fixation évalue la différence entre le taux d'hétérozygotie observé ( $H_o$ ) et le taux d'hétérozygotie attendu ( $H_e$ ) au sein d'une population. Cet indice, également connu sous le nom d'écart à la panmixie, mesure la déviation par rapport à l'équilibre de Hardy-Weinberg (Guo & Thompson, 1992). Il se calcule selon la formule :

$$F = 1 - \frac{H_o}{H_e}$$

Dans une population de diploïdes, la formation d'individus à partir de deux gamètes se fait aléatoirement par rapport aux génotypes de ces gamètes à un locus spécifique. Cette distribution aléatoire des génotypes dans une population est connue sous le nom de structure de Hardy-Weinberg. L'indice de fixation mesure la déviation par rapport à cette structure de Hardy-Weinberg. Il varie de -1 à +1 et permet d'évaluer le déficit en hétérozygotes au sein de la population, par locus et dans l'ensemble des locus. Un  $F$  positif indique un déficit en hétérozygotes par rapport à l'équilibre panmictique, tandis qu'un  $F$  négatif indique le contraire. Plusieurs facteurs peuvent contribuer à cette déviation, notamment la consanguinité, la dérive génétique, la sélection et la différenciation génétique.

### **I.3.2.1.6. Équilibre de Hardy-Weinberg**

La variabilité génétique au sein d'une population peut être imprévisible au fil des générations en raison de divers facteurs qui influencent la fréquence des allèles (les forces évolutives). Les fréquences alléliques et génotypiques peuvent être facilement anticipées pour un modèle théorique simplifié d'une population "idéale", caractérisée par les conditions suivantes :

- Population de taille infinie (pour éviter la dérive génétique) avec des individus diploïdes ;
- Croisements aléatoires par reproduction sexuée (population panmictique) pour des générations non chevauchantes
- Absence de migration, de sélection et de mutation.

Lorsque ces conditions sont respectées, la loi de Hardy-Weinberg (Hardy, 1908 ; Weinberg, 1908) permet de prédire avec précision les fréquences génotypiques à partir des fréquences alléliques de la population idéale. Les implications de ce principe incluent le fait qu'une seule génération de panmixie est suffisante pour atteindre les fréquences génotypiques de Hardy-Weinberg et que les fréquences alléliques et génotypiques (la structure génétique de la population) restent stables d'une génération à l'autre (De Meeûs, 2012).

### **I.3.2.2. Diversité inter population**

Pour évaluer la diversité génétique des populations, Wright (1951) a introduit l'indice  $F_{ST}$ , qui représente la corrélation entre deux gamètes sélectionnés au hasard issus de deux sous-populations distinctes.

Les statistiques  $F$  (Wright, 1969; Weir & Cockerham, 1984) permettent de quantifier la différenciation génétique entre les populations ( $F_{ST}$ ), également connue sous le nom d'indice de fixation (Nei & Chesser, 1983). Cet indice mesure la divergence entre les populations en fonction du polymorphisme génétique et est calculé sous l'équilibre migration/dérive (Wright, 1951). Il est applicable aux locus bialléliques et en l'absence de sélection. Lorsque les locus sont multialléliques, une généralisation de cet indice, appelée  $G_{ST}$  de Nei (1973), est utilisée. Les valeurs de cette mesure varient de 0 à 1. Si les populations présentent des fréquences alléliques identiques, alors  $F_{ST} = 0$ . Le  $F_{ST}$  peut être interprété comme la proportion de la variance des fréquences alléliques attribuable aux différences entre les populations.

$$F_{ST} = \frac{H_T - H_S^*}{H_T}$$

Avec

$H_S$  : l'hétérozygotie attendue pour une sous-population supposée à l'équilibre de Hardy-Weinberg

$H_S^*$  : la diversité moyenne des  $H_S$  sur les sous-populations

$H_T$  : l'hétérozygotie attendue pour une population globale supposée à l'équilibre de Hardy-Weinberg.

### I.3.2.2.1. Structuration spatiale de la diversité génétique

Pour comprendre pourquoi la diversité génétique est structurée entre différentes populations, il est souvent nécessaire d'évaluer les distances génétiques entre ces populations, par exemple en utilisant les FST. On peut alors comparer les matrices de distances génétiques avec des matrices de distances (géographiques ou écologiques) entre les sites pour évaluer leur corrélation.

Le test de Mantel (Mantel, 1967 ; Smouse *et al.*, 1986) permet d'évaluer cette corrélation en utilisant une régression entre des matrices à expliquer (distances génétiques) et des matrices explicatives (distances géographiques ou écologiques). Cette méthode est largement utilisée pour étudier les relations entre les variables environnementales et la structure génétique. Elle calcule la corrélation entre deux matrices et détermine si cette corrélation est significative en la comparant à une distribution de valeurs obtenues par permutations des matrices. Le test de Mantel est une méthode générale qui a été rapidement adaptée pour tester la corrélation entre une matrice de distances génétiques et une matrice de distances géographiques.

L'autocorrélation génétique spatiale permet d'estimer la répartition spatiale de la variation génétique. Elle permet de déterminer si les individus géographiquement proches sont également génétiquement similaires. L'indice génétique I de Moran est souvent utilisé comme estimateur de l'autocorrélation des fréquences alléliques (Smouse & Peakall, 1999).

$$= \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{W \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} W$$

Avec  $n$ , nombre total d'individus ;  $w_{ij} = 1$  si les individus  $i$  et  $j$  appartiennent à la classe de distance  $k$ ,  $w_{ij} = 0$  dans les autres cas ;  $x_i = 1, 0.5$  ou  $0$  selon que l'individu  $i$  a 2, 1 ou 0 fois l'allèle considéré, représente la moyenne sur les  $n$  individus des fréquences alléliques individuelles.

D'autres méthodes pour analyser l'autocorrélation génétique spatiale s'avèrent plus spécifiques, notamment en utilisant des coefficients de parenté (Hardy & Vekemans, 1999). Certaines analyses sont même conçues spécifiquement pour les marqueurs dominants en supposant des coefficients de consanguinité (Hardy, 2003).

#### **I.3.2.2.2. Détection de la structure génétique**

Lorsque l'on connaît les données génétiques d'un ensemble d'individus pour un ensemble de marqueurs, un des objectifs est de détecter si les individus sont structurés en populations, et si c'est le cas, d'identifier le nombre de groupes (*clusters*) isolés ou partiellement isolés et les individus composants chacun de ces groupes. Plusieurs méthodes permettent d'effectuer ces recherches.

#### **I.3.2.2.3. Analyse factorielle des correspondances**

L'analyse factorielle des correspondances (AFC) vise à rassembler en un nombre réduit de dimensions la plus grande partie de l'information initiale en s'attachant aux valeurs relatives, soit les correspondances entre les variables. L'AFC fournit un espace de représentation commun aux variables et aux individus. Les individus analysés sont vus comme un nuage de points dans un hyperespace qui a autant de dimensions qu'il y a de modalités (les allèles) sur toutes les variables (les allèles aux différents loci).

#### **I.3.2.2.4. Analyse en composantes principales**

L'analyse en composantes principales (ACP) est une méthode classique d'analyse de données multidimensionnelles. Elle permet de projeter des données sur un nombre réduit d'axes orthogonaux, tout en maximisant la variance des données projetées sur chacun des axes.

#### **I.3.2.2.5. Arbre phylogénétique**

Les méthodes traditionnelles pour évaluer la proximité génétique entre individus reposent sur la construction d'arbres phylogénétiques. L'algorithme largement utilisé pour cette construction est celui du voisinage le plus proche (*neighbor-joining*), proposé par Saitou et Nei (1987). Cet algorithme est implémenté dans plusieurs logiciels et largement employé dans la recherche (Felsenstein, 1989 ; Kumar *et al.*, 2004). La construction de l'arbre phylogénétique se base sur une matrice renfermant les distances génétiques entre chaque paire d'individus. Ces distances sont généralement calculées à l'aide des méthodes proposées par Nei *et al.* (1983) ou

Reynolds et al. (1983). Une fois l'arbre construit, il est possible de définir les différents groupes génétiques selon leur proximité.

#### **I.3.2.2.6. Analyse Bayésienne pour inférence de la structure génétique des populations**

L'analyse bayésienne de regroupement est une méthode visant à estimer la structure génétique d'un ensemble d'individus en les regroupant en clusters sur la base de leurs profils génétiques. Cette approche permet d'identifier des groupes génétiques distincts. Le programme "STRUCTURE" met en œuvre cette méthode (Pritchard *et al.*, 2000).

"STRUCTURE" travaille sous deux hypothèses principales : les populations sont en équilibre de Hardy-Weinberg (panmixie et absence de pression évolutive), et il existe un équilibre de liaison entre les différents locus. Cette méthode repose sur des modèles d'admixture entre populations, ce qui signifie que le génotype d'un individu peut provenir de plusieurs populations, ainsi que sur la corrélation entre les fréquences alléliques. L'algorithme décrit par Pritchard et al. (2000) assigne les individus à K populations ou clusters. Généralement, les analyses "STRUCTURE" sont réalisées avec  $10^6$  itérations, précédées d'une période de "burn-in" de 10 000 itérations. Dix simulations indépendantes sont effectuées pour chaque valeur de K, laquelle varie généralement de 1 à 10. La méthode définie par Evanno *et al.*, (2005) est utilisée pour déterminer le nombre optimal K de populations. "STRUCTURE" attribue à chaque individu sa probabilité d'appartenance à chaque population. Les résultats sont généralement présentés sous forme d'histogrammes, où chaque barre correspond à un individu, avec le coefficient d'appartenance à chaque population donnée en ordonnée.

### **I.3.3. Marqueurs génétiques utilisés dans l'estimation de la structure génétique**

L'exploration de la diversité génétique nécessite la sélection de marqueurs appropriés qui peuvent la refléter de manière précise. Les marqueurs génétiques, des caractéristiques héréditaires, fournissent des informations sur le génotype de l'individu porteur (De Vienne, 1998). Trois types de marqueurs sont couramment utilisés pour évaluer la variabilité génétique : les marqueurs phénotypiques, les marqueurs biochimiques et les marqueurs moléculaires.

#### **I.3.3.1. Marqueurs phénotypiques**

Les marqueurs morphologiques ont été retenus dans un premier temps parce qu'ils présentaient l'avantage d'être immédiatement disponibles et nécessitent seulement un équipement simple. Ils représentent des variations de type qualitatif (couleur), morphologiques

(forme), des résistances à des maladies ou des ravageurs. Ces critères sont utilisés pour décrire et identifier les lignées et les variétés chez les végétaux. Cependant, ces marqueurs sont peu polymorphes et en général dominant, ils ont fréquemment une base génétique complexe, sont limités en nombre et leur expression est souvent fortement influencée par l'environnement.

### **I.3.3.2. Marqueurs biochimiques**

Les marqueurs biochimiques, généralement des isozymes ou des protéines de réserve, ont un pouvoir de discrimination plus élevé que les marqueurs morphologiques, car ils traduisent directement l'activité des gènes. C'est grâce à la technique de l'électrophorèse sur gel qu'il a été possible de mettre en évidence les variantes protéiques (allozymes) (Neel & Ellstrand, 2001). Ces marqueurs ont été et sont encore largement utilisés pour des études de génétique des populations.

### **I.3.3.3. Marqueurs moléculaires**

Les marqueurs moléculaires se développent rapidement. Les plus utilisés, en raison de leur fiabilité et leur précision de réponse, sont les SSR (Simple Sequence Repeats ou microsatellites). Les autres marqueurs utilisés sont : les ISSR (Inter Simple Sequence Repeats), les RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA), les AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism), les RFLP (Restriction Fragment Length Polymorphism) et plus récemment les SNP (Single Nucleotide Polymorphism) (Santoni *et al.*, 2000).

#### **I.3.3.4.1. Marqueurs RFLP**

La méthode de polymorphisme de longueur des fragments de restriction (RFLP : Restriction Fragment Length Polymorphism) repose sur la détection de la variation de séquence nucléotidique de l'ADN génomique après digestion par des enzymes de restriction. Les fragments d'ADN produits par la digestion enzymatique de l'ADN de deux individus sont séparés en fonction de leur taille sur un gel d'agarose, puis dénaturés et transférés par capillarité sur une membrane de nylon. La position relative des fragments d'ADN est conservée pendant le transfert. La dernière étape implique l'hybridation moléculaire avec une sonde d'ADN préalablement marquée. La sonde utilisée permet de détecter une région du génome où la digestion produit des fragments de restriction identiques pour les deux individus. Ainsi, les deux profils révélés après électrophorèse ne permettent pas de les distinguer. Avec le couple enzyme/sonde, aucun polymorphisme n'est mis en évidence entre ces deux individus.

Cependant, si un individu présente une mutation au niveau d'un site de restriction, entraînant la perte de ce site, la digestion avec cette enzyme et l'utilisation de la même sonde révéleront un fragment plus petit chez un individu que chez l'autre. Dans ce cas, le couple enzyme/sonde permet de mettre en évidence le polymorphisme existant au niveau des sites de restriction dans cette région du génome.

Les marqueurs RFLP présentent plusieurs caractéristiques souhaitables pour un bon marqueur moléculaire. Ils peuvent être mono-locus ou multi-locus, codominants, bi- ou multialléliques. Ils permettent une analyse génétique approfondie, présentent un potentiel de transfert élevé entre espèces, même assez éloignées, grâce à certaines sondes de séquences très conservées (Helentjaris *et al.*, 1985), et sont généralement très reproductibles.

Cependant, les RFLP ne sont pas des marqueurs parfaits pour des études à grande échelle. Cette méthode est chronophage (plusieurs jours de travail en laboratoire) et nécessite une quantité substantielle d'ADN pour chaque analyse (quelques microgrammes).

#### **I.3.3.4.2. Marqueurs RAPD**

Lors d'une recherche de polymorphisme génomique où aucune séquence d'ADN spécifique n'est ciblée, il est possible d'utiliser de courts oligonucléotides (6 à 10 bases) de séquence aléatoire. Ces oligonucléotides se fixent au hasard sur l'ADN cible. Par la technique de PCR, des produits d'amplification de séquence inconnue sont obtenus. Le polymorphisme révélé est alors un polymorphisme de sites d'hybridation d'amorces, où les amorces agissent en tant que marqueurs. Environ une dizaine de fragments sont en moyenne amplifiés pour l'ensemble du génome, puis séparés par électrophorèse (De Meeûs, 2012). Cette méthode, appelée polymorphisme d'ADN par amplification aléatoire (RAPD : Random-amplified polymorphic DNA), est rapide et simple. Elle ne nécessite pas de digestion par une enzyme de restriction, de transfert sur une membrane ou de préparation de sonde radioactive. Cette technique a été développée par Williams *et al.*, (1990).

#### **I.3.3.4.3. Marqueurs AFLP**

Créée par Vos *et al.*, (1995), la technique de polymorphisme de longueur de fragments d'amplification (AFLP : Amplification Fragment Length Polymorphism) implique l'amplification par PCR de l'ADN génomique après digestion avec deux enzymes de restriction, chacune coupant respectivement au niveau d'un site rare et d'un site fréquent, suivi de la ligation d'un adaptateur d'environ 20 paires de bases. Les amorces sont formées de l'adaptateur plus trois bases aléatoires en 3'. Seuls les fragments possédant les bases

complémentaires de ces bases aléatoires sont amplifiés, ce qui donne des amorces sélectives réduisant le nombre de fragments amplifiés à environ une centaine. Sans ces séquences débordantes, il y aurait une amplification de milliers de fragments. Cette technique repose donc sur la mise en évidence simultanée du polymorphisme de site de restriction et du polymorphisme d'hybridation d'une amorce de séquence arbitraire. Les bandes générées sont ensuite visualisées par électrophorèse (De Meeûs, 2012).

#### **I.3.3.4.4. Marqueurs minisatellites**

Jeffreys *et al.*, (1985) ont identifié dans le génome une catégorie de marqueurs moléculaires polymorphes appelés minisatellites hypervariables. Ces marqueurs consistent en des répétitions en tandem d'un motif composé de 15 à 70 nucléotides. Les minisatellites font partie de la famille des VNTR (Variable Number Tandem Repeat) et affichent une variabilité de taille due à la variation du nombre d'unités de répétition les constituant.

#### **I.3.3.4.5. Marqueurs SSR**

Les séquences microsatellites, également connues sous le nom de répétitions de séquences simples (SSR : Simple Sequence Repeats), sont des séquences courtes d'ADN constituées de motifs répétés en tandem, variant généralement d'un à quatre nucléotides et se répétant plusieurs fois : (A)<sub>n</sub>, (TC)<sub>n</sub>, (TAT)<sub>n</sub>, (GATA)<sub>n</sub>, etc. La valeur de n peut varier de quelques unités à plusieurs dizaines. Ces séquences sont abondantes dans le génome des organismes eucaryotes, notamment chez les plantes supérieures, où l'on estime qu'il y a en moyenne un microsatellite dinucléotidique tous les 30 à 100 kilobases (De Meeûs, 2012). Les microsatellites sont des marqueurs puissants de caractère mendélien qui révèlent la diversité génétique. Leur polymorphisme est engendré par des erreurs de la polymérase pouvant survenir lors de la réplication de l'ADN, entraînant ainsi une modification du nombre d'unités de répétition de la séquence microsatellite. Le taux de mutation des séquences microsatellites est très élevé (environ 10<sup>3</sup>), comparativement à celui d'autres séquences d'ADN génomique (De Meeûs, 2012).

Les SSR présentent un taux de polymorphisme extrêmement élevé, basé sur la variation du nombre d'unités de répétition (n) composant le microsatellite. Ils sont présents à la fois dans le génome nucléaire et dans le génome chloroplastique (Goldstein & Schlötterer 1999 ; Provan *et al.*, 2001). Les microsatellites nucléaires sont codominants et se transmettent de manière biparentale.

#### **I.3.3.4.6. Marqueurs SNP**

Les marqueurs de polymorphisme de nucléotides simples (SNP : Single-Nucleotide Polymorphism) sont des éléments moléculaires qui représentent la forme la plus courante de variation génétique dans les génomes. Ce type de polymorphisme de l'ADN se caractérise par une différence d'une seule paire de bases sur un segment donné entre deux chromosomes. Cependant, les SNP présentent un degré de polymorphisme relativement faible par rapport aux microsatellites, ce qui nécessite souvent le test de davantage de SNP que de microsatellites pour obtenir la même quantité d'informations. Bien que les marqueurs SNP soient particulièrement utiles dans les études d'association, ils correspondent généralement à des loci bi-alléliques (présentant seulement deux allèles), ce qui peut être considéré comme un inconvénient dans certains contextes (De Meeûs, 2012).

#### **I.3.4. Marqueurs utilisés chez le palmier dattier**

Récemment, le palmier dattier a suscité un intérêt croissant dans la recherche scientifique, notamment grâce à l'analyse moléculaire. Cette approche a permis une meilleure compréhension de sa génétique et a contribué à éclaircir l'organisation de son génome. Plusieurs marqueurs moléculaires ont été efficacement utilisés pour explorer sa diversité variétale, comme en témoignent diverses études (Cornicquel & Mercier, 1996 ; Billotte *et al.*, 2004 ; Zehdi *et al.*, 2004, 2006 ; Elshibli & Korpelainen, 2008 ; Pintaud *et al.*, 2010).

##### **I.3.4.1. Marqueurs biochimiques (isoenzymes et protéines)**

Les marqueurs biochimiques ont été utilisés pour la description et la caractérisation des cultivars du palmier dattier de plusieurs pays et ont montré leur efficacité (Bennaceur *et al.*, 1991). Cependant, leur utilisation semble être limitée en raison de leur faible polymorphisme (Al-Jibouri & Adham, 1990).

##### **I.3.4.2. Marqueurs moléculaires**

L'exploration de la diversité moléculaire des espèces végétales bénéficie des modèles fournis par l'organisation cellulaire et les trois génomes nucléaires, chloroplastiques et mitochondriaux (Newton *et al.*, 1999 ; Petit *et al.*, 2005).

Pour ce qui est du palmier dattier, les études à l'échelle du génome ont été relativement limitées jusqu'à récemment. La première d'entre elles a été menée par une équipe du Qatar, utilisant la plateforme de séquençage Illumina GAII pour assembler le génome basé sur les

données générées (Al-Dous *et al.*, 2011). Cette étude a estimé la taille du génome à 658 Mb, avec 58 % du génome assemblé (382 Mb) et 25 059 gènes prédits. Une autre étude a comparé les transcriptomes des mésocarpes du palmier à huile et du palmier dattier en utilisant les données de pyroséquençage de la plateforme GS FLX Titanium de Roche (Bourgis *et al.*, 2011).

Plus tard, Al-Mssallem *et al.* (2013) ont réalisé un assemblage du génome d'une variété élite (Khalas), obtenant une taille de 605,4 Mb couvrant 90 % du génome et 671 Mb couvrant 96 % du génome, avec 660 gènes. Hazzouri *et al.*, en (2015) ont présenté un catalogue complet d'environ sept millions de polymorphismes mononucléotidiques chez le palmier dattier, basé sur le reséquençage du génome entier d'une collection de 62 cultivars. Ces deux études ont fourni un accès à un grand nombre de marqueurs et ont permis d'évaluer leur pertinence pour caractériser l'agrobiodiversité du palmier dattier.

Les marqueurs moléculaires de l'ADN ont été largement utilisés pour étudier la variation génétique des cultivars de palmiers dattiers en raison de leur précision dans la caractérisation de la diversité génétique des cultivars et des relations phylogénétiques (Tableau III) (Jaradat, 2014 ; Khanam *et al.*, 2012).

**Tableau III. Comparaison des différents marqueurs moléculaires utilisés dans le génotypage du palmier dattier, Khanam *et al.*, (2012) :**

Type de marqueur Caractère	RFLP	RAPD	AFLP	ISSR	SSR
	Codominant	Dominant	Dominant	Dominant	Codominant
Niveau de polymorphisme	Faible	Faible	Moyen	Elevé	Elevé
Qualité requise de l'ADN	Elevé	Faible	Faible	Moyen	Faible
Coût de développement	Elevé	Faible	Moyen	Moyen	Moyen
Fiabilité	Elevé	Faible	Moyen	Moyen	Elevé
Niveau de compétence requis	Moyen	Faible	Moyen	Moyen	Faible

Des marqueurs moléculaires de type RAPD ont fait l'objet d'études sur la diversité génétique de 43 accessions de palmiers dattiers du Maroc, d'Irak et de Tunisie (Sedra *et al.*, 1998) et de 13 cultivars du Royaume d'Arabie Saoudite ont été étudiés avec le même type de marqueur pour déterminer la phylogénie moléculaire. Un total de 37 amorces RAPD sur 140 ont montré un polymorphisme. Le nombre de bandes polymorphes par amorce varie de 2 à 17 (Al-Khalifah & Askari, 2003). Cependant, bien que la variation observée entre des génotypes étroitement apparentés indique l'efficacité des marqueurs RAPD par rapport aux marqueurs

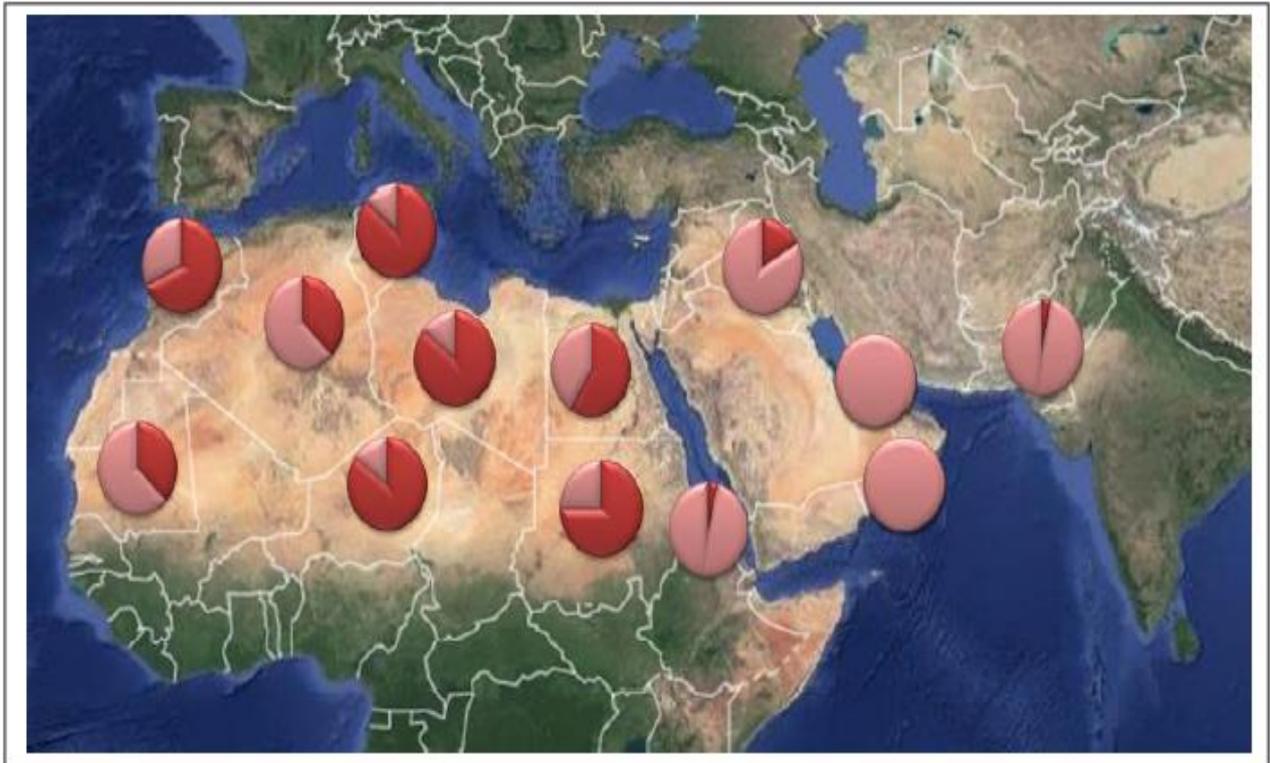
morphologiques et biochimiques (isoenzymes), ses types de marqueurs sont caractérisés par un faible polymorphisme. Au Maroc, Sedra *et al.* (1998) ont signalé l'importance de l'utilisation de la technique RAPD chez les palmiers dattiers. Ils ont montré l'efficacité de cette technique par rapport à la RFLP en termes de mise en évidence du polymorphisme chez cette espèce.

Les marqueurs SSR ont été développés pour la première fois sur les palmiers dattiers en 2004 (Billote *et al.*, 2004). Les 16 amorces SSR utilisées ont amplifié avec un nombre total moyen d'allèles de 14 par locus. L'hétérozygotie attendue a montré un taux de polymorphisme moyen élevé (0,76), favorisant son utilité dans l'évaluation de la diversité génétique ainsi que l'identification des cultivars dans de pays producteurs.

L'évaluation de la diversité génétique de palmier dattier par les SSR a été suivie dans beaucoup de pays phoenicicols. En Tunisie, 49 accessions de palmiers dattiers provenant de trois oasis de Tunisie ont été étudiées. Seules 14 des 16 amorces ont pu détecter les génotypes des accessions considérées (Zehdi *et al.*, 2004). Des variétés mâles (45) et des accessions (23) du Soudan et du Maroc ont été investies. Pour les deux types de matériel génétique, on a observé en moyenne 7,14 et 21,4 allèles par locus, respectivement. Un niveau élevé d'hétérozygotie attendue a été observé, indiquant une diversité génétique importante (Elshibli & Korpelainen, 2008). Au Qatar, l'utilisation du même ensemble d'amorces a montré le plus faible nombre moyen d'allèles par locus, à savoir quatre (Ahmed & Al-Qaradawi, 2009).

### **I.3.5. Origines géographiques du palmier dattier**

Diverses recherches ont identifié deux pools génétiques chloroplastiques majeurs qui permettent de déterminer l'origine géographique des palmiers dattiers dans le monde, à savoir le pool oriental (Est) et le pool occidental (Ouest) (voir Fig. 13). Le pool oriental englobe des régions telles que Djibouti, l'Irak, les États-Unis, les Émirats arabes unis, Oman et le Pakistan. En revanche, le pool occidental inclut des pays comme la Tunisie, le Maroc, l'Algérie, la Mauritanie, la Libye, le Soudan, l'Égypte, le Niger et l'Espagne (Gros-Balthazard *et al.*, 2013 ; Pintaud *et al.*, 2013 ; Hazzouri *et al.*, 2015 ; Zehdi-Azouzi *et al.*, 2015 ; Zango *et al.*, 2017).



**Fig. 13.** Distribution deux pools du palmier dattier (Sur les camemberts, la couleur rouge représente l'origine occidentale et le marron l'origine orientale) (Moussouni, 2017).

## **CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES**

## CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES

### II.1. MATÉRIEL

#### II.1.1. Présentation de la zone d'étude

La présente étude a été réalisée dans les zones saharienne et sahélienne du Tchad. La zone saharienne représente 47 % de la superficie du pays et est caractérisée par une forte chaleur et une pluviométrie de moins de 100 mm/an (Anonyme 3, 2009 ; Anonyme 4, 2013 ; Anonyme 5, 2019). Le système de production agricole de cette zone est un système oasien complexe et est constitué d'étendues sableuses, montagneuses. C'est un système agro-sylvo-pastoral où les activités se concentrent essentiellement dans les oasis. La zone sahélienne occupe 43 % du territoire national avec une pluviométrie variant entre 100 et 600 mm. Le système de production sahélien se structure en six sous-systèmes : le système oasien ; le système de production en maîtrise totale d'eau ; le système de production en maîtrise partielle d'eau ; le système de production dunaire à base céréalière ; le système de production des polders du lac et le système de production maraîchère.

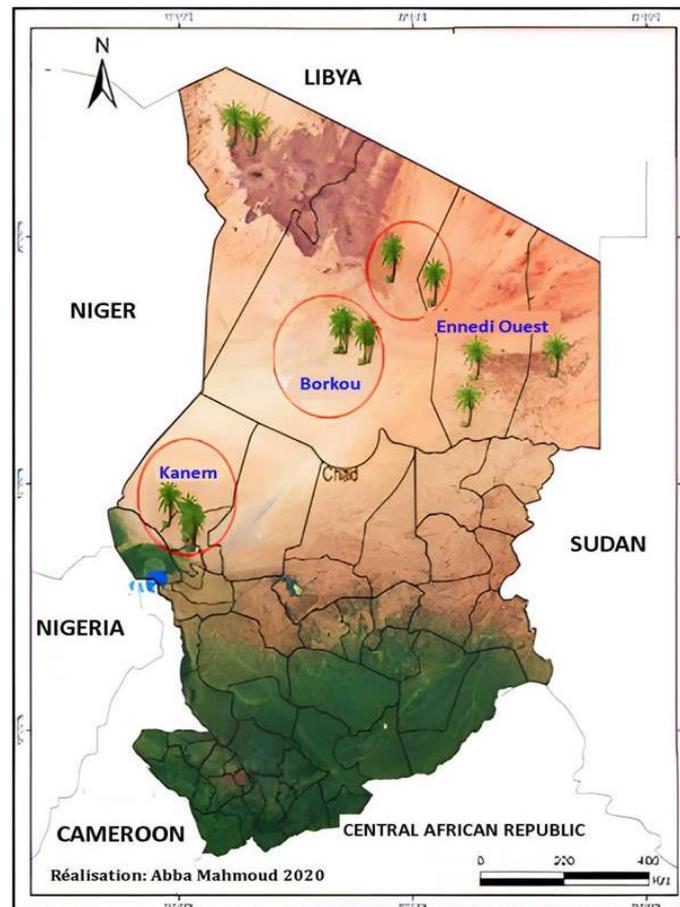
Dans la zone saharienne, deux provinces ont été concernées par l'étude, notamment celle de Borkou et celle de l'Ennedi-Ouest (Tableau IV).

**Tableau IV.** Sites d'étude dans les palmeraies de la zone saharienne et sahélienne

Zone	Province	Départements/Villes	Villages
Saharienne	Ennedi-Ouest	Ounianga-Kebir	Bourkoua and Eteh
		Gouro	Houkoubodo and Wildjaho
	Borkou	Kirdimi	Gourma, Kirdimi and Yen
		Faya	Tchangsous; Koukourou and Amoul
Sahélienne	Kanem	Noukou	Barkadroussou; Yilgui; Andrah
		Mao	Kinitchi; Ailoum; Kouloula; Koumogari; Djougou; Mobeye; Barrah

Au total quatre départements du Sahara ont fait l'objet de l'enquête dont deux départements (Faya et Borkou-Yala) de la province de Borkou et deux autres (Gouro et Ounianga-Kebir) pour la province de l'Ennedi-Ouest, ont été prospectés. Au niveau de la zone

sahélienne, ce sont les palmeraies des Départements de Noukou et de Mao dans la province du Kanem qui ont été échantillonnées (Fig. 14).



**Fig. 14.** Localisation géographique de la zone d'étude (les palmiers représentent les zones de culture du palmier dattier et les palmeraies enquêtées sont indiquées par un cercle rouge)

### II.1.2. Matériel végétal

Pour les analyses génétiques, le matériel végétal de base est constitué de jeunes folioles collectées à partir de palmiers dattiers adultes. Au total cent quarante-deux (142) individus (79 du Sahara et 63 du Sahel) ont été échantillonnés à raison de 45 mâles et 97 femelles, répartis dans les six départements. Le matériel végétal collecté au cœur de la couronne a été soumis à une technique de conditionnement à l'aide de silica gel selon Zango & *al.*, (2017).

### **II.1.3. Matériel technique**

En dehors du matériel végétal, une grande diversité de matériel a été nécessaire pour la conduite de la présente étude, tant au niveau des laboratoires que sur le terrain. Ils peuvent être classés dans les sous-rubriques suivantes :

#### **➤ Matériel utilisé pour l'enquête auprès des phœniciculteurs**

Au cours de l'enquête, la géolocalisation de chaque site de prospection et de collecte a été possible avec un GPS marque GARMIN 64. Des fiches de collecte de données réalisées sur Excel servaient de support lors de la collecte des données auprès des agriculteurs. Des décimètres et autres matériels ont été utilisés pour la prise de mesures en cas de nécessité. Les photographies ont été réalisées avec un appareil photo numérique Sony à 10 mégapixels de résolution.

#### **➤ Matériel d'analyse des sols**

Dix échantillons de sol provenant de la zone saharienne et sahélienne ont été soumis à une analyse approfondie au laboratoire d'analyse de sol, d'eau et de plantes de l'Institut Tchadien de Recherche Agronomique pour le Développement (LASEP-ITRAD), en utilisant une gamme variée de matériel et d'instruments, notamment :

- Pour l'analyse chimique des sols : de l'eau distillée, un photomètre 5000, des cuillères, des tubes, une spatule, un entonnoir et du papier filtre, ainsi qu'une seringue ont été utilisés ;
- La détermination du pH du sol a nécessité l'utilisation d'un pH-mètre, d'une pissette, d'une balance, d'un agitateur magnétique et d'un bécher de 100 ml ;
- La quantification de la matière organique du sol a été effectuée à l'aide d'une fiole erlenmeyer, d'une burette, d'une pipette, d'un bécher, d'une éprouvette, d'une plaque chauffante, d'une balance, d'un entonnoir pyrex conique à tige et d'un agitateur magnétique ;
- L'analyse granulométrique des échantillons de sol a été réalisée à l'aide d'un thermomètre, d'un agitateur, d'un densimètre calibré à 20 °C (ASTM 152 H), de flacons de 500 ml et de rallonges de 1000 ml.

Pour le prélèvement des jeunes feuilles de palmier, un sécateur et une échelle ont été utilisés. Les feuilles ont ensuite été emballées et conservées dans du papier calque, du gel de silice, des enveloppes et des sacs en plastique. Pendant toutes les opérations, des gants et des lunettes de protection ont été portés par les personnes impliquées. Les techniques d'extraction, de génotypage et d'amplification de l'ADN ont été réalisées à l'aide d'une variété d'équipements et de réactifs.

## **II.2. MÉTHODES**

### **II.2.1. Évaluation du développement du palmier dattier dans les conditions édapho-climatiques oasiennes**

#### **II.2.1.1. Évaluation des conditions climatiques des palmeraies**

L'évaluation des conditions climatiques dans les palmeraies a été réalisée sur les données de la température et l'humidité des zones d'études. Les données de la température et de la pluviométrie des 10 dernières années (Annexe 3 et 4) ont été obtenues auprès de l'Agence Nationale de Météorologie (ANAM). La température et l'humidité des palmeraies des zones d'étude de l'année 2017 ont été utilisées pour déterminer les différentes phases de développement du palmier dattier sur la base de données d'enquête ; ceci pour comprendre les conditions climatiques de la production de dattes dans les deux zones agroécologiques du Tchad.

#### **II.2.1.2. Analyses des échantillons de sols**

Pour une caractérisation physico-chimique du sol, dix échantillons composites de cinq endroits d'un champ d'un sont été prélevés dans les palmeraies à une profondeur de 1 m. Il consistait à faire un échantillon composite de cinq endroits d'un champ mis dans des sachets en vue d'une analyse au laboratoire (Fig. 15). Le prélèvement de sol a été fait dans dix (10) villages, dont cinq au Sahara et cinq au Sahel. Les échantillons conditionnés ont été transférés au laboratoire Eau-Sol-Plants de l'ITRAD pour des analyses.



**Fig. 15.** Creusage et prélèvement de sol dans une palmeraie à Amoul (a : creusage de trous ;  
b : prise des échantillons)

#### **II.2.1.2.1. Préparation de l'échantillon de sol**

Les échantillons prélevés ont fait l'objet d'une préparation suivant les étapes ci-après (Fig. 16) :

Le processus débute par le séchage du sol à température ambiante. Ensuite, les agrégats de sol sont mécaniquement brisés à l'aide d'un marteau en caoutchouc. Le sol est ensuite tamisé à travers un tamis de maille numéro 10 (2 mm). La fraction de sol retenue sur le tamis est ensuite réduite à des particules individuelles à l'aide d'un pilon, et le sol est soumis à un nouveau tamisage et à une pesée. Les parties passant à travers le tamis sont conservées pour l'analyse ultérieure.



**Fig. 16.** Préparation de l'échantillon de sol. a : séchage des échantillons ; b : pesage des échantillons ; c : sol tamisé ; d : conditionnement des échantillons préparés.

#### II.2.1.2.2. Analyse granulométrie

Les analyses granulométriques à trois (03) fractions (sable, argile et limon) des échantillons de sol prélevés ont été réalisées selon la loi Stockes de 1851. La densité d'une suspension de terre à une profondeur donnée diminuait au fur et à mesure que les particules se déposaient. Sa valeur à des températures différentes était en relation empirique avec la dimension des particules, de sorte que, par le choix du temps de mesure, la densité observée fournissait une estimation soit de la fraction limon + argile soit de la fraction argile. La densité a été mesurée au moyen d'un densimètre effilé, calibré à 20 °C. La technique reposait sur la loi de Stockes  $V = Kr^2$  (Anonyme 6, 2012), où V : représente ..... K : ....., r : .....

Cette technique consistait à préparer le dispersant en pesant dans une fiole de 1000 ml, 40 g de hexamétaphosphate de sodium ( $\text{Na}_6\text{O}_{18}\text{P}_6$ ), plus 10 g carbonate de sodium anhydre ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) séché à 105°C et dissoudre les deux réactifs à l'eau distillée puis compléter le volume. Pour la dispersion des colloïdes, 51 g de sol argileux et 101 g des sols sableux ont été pesés et tamisés à 2 mm. Un volume de 50 ml de dispersant puis 250 ml d'eau déminéralisée ont été ajoutés aux échantillons. Après deux heures d'agitation la solution était transvasée dans une allonge de 1000 ml et compléter à l'eau déminéralisée.

**Mesure de la fraction argiles + limons (fraction A) :** la température de la solution a été prise ; ensuite la solution a été agité vigoureusement à l'aide d'un agitateur pendant 1 mn ; le densimètre a été plongé lentement dans la solution et le chronomètre est déclenché à 40 secondes exactement, la graduation du densimètre a été lue (1<sup>ère</sup> lecture) et le résultat est noté dans la colonne A du cahier de résultats.

**Mesure de la fraction argiles (fraction B) :** après la 1<sup>ère</sup> lecture, la solution est laissée au repos pendant 3 heures. La température de la solution prise, une deuxième lecture au densimètre était faite sans agitation préalable et le résultat noté dans la colonne B du cahier selon Anonyme 6 (2012).

### **II.2.1.2.3. Réaction du sol**

#### **II.2.1.2.3.1. Détermination du pH**

La détermination du pH du sol s'est faite par la prise d'une quantité déterminée de sols mélangée avec un volume approprié d'eau (rapport sol/solution= 1 : 5) et le pH de la suspension a été déterminé électroniquement au moyen d'un pH-mètre à lecture directe en utilisant une électrode en verre contenant une solution saturée de chlorure de potassium (Fig. 17) selon Anonyme 6 (2012).

#### **Mesure de pH eau (rapport sol/eau = 1 : 5) :**

Pour le dosage, 10 g de terre préalablement préparés étaient pris et introduit dans un bécher, 50 ml d'eau distillée ont été ajoutées à la préparation et la solution était agitée pendant 30 minutes. Cette solution a été laissée pendant 30-60 minutes pour se décanter. Le pH-mètre a été étalonné à l'aide des solutions tampons puis l'électrode du pH-mètre a été introduit dans la suspension sans que l'électrode ne touche le sol et la lecture du pH relevé après 1 mn ou après la stabilisation du pH-mètre. Ensuite, l'électrode a été rincée avec de l'eau distillée et séché avec du papier Joseph. Cette procédure a été répétée pour les autres échantillons et le pH-mètre étalonné après 10 échantillons ; le résultat était noté avec la mention « pH eau ».

### **Mesure de pH KCl (rapport sol/solution I : 5)**

Une suspension sol/KCl (IN), selon le rapport I : 5 était préparé dans un bécher de 50 ml, soit 10 g de terre pour 50 ml de solution de KCl IN. Agité et laissé reposer pendant 30 minutes ; puis le pH était relevé, et la valeur enregistrée avec la mention pH KCl IN.



**Fig. 17.** Mesure du pH du sol

### **II.2.1.2.3.2. Conductivité du sol, conductivité mélange Terre-eau**

La mesure de la conductivité du sol et du mélange terre-eau était effectuée selon le protocole suivant :

Le processus débute par l'introduction de 10 g de terre préalablement préparée dans un bécher. Ensuite, 50 ml d'eau distillée sont ajoutés et le couvercle est fermé hermétiquement. La suspension est minutieusement mélangée pendant 40 minutes à l'aide d'un agitateur. Par la suite, la suspension est laissée en repos jusqu'au lendemain. Pour mesurer la conductivité, la cuve de mesure contenant le liquide surnageant du mélange terre-eau est remplie, et la température du liquide est mesurée et ajustée sur le conductimètre. La lecture est ensuite effectuée directement en micromhos/cm en fonction de la constante spécifique de la cuve de conductivité.

### **II.2.1.2.4. Analyse de la matière organique**

La détermination de la matière organique du sol des palmeraies a été possible grâce à la méthode Thiourine. Le carbone organique était oxydé par le mélange de bichromate de potassium et d'acide sulfurique. Le bichromate oxyde le carbone en gaz carbonique. On a admis que l'oxygène consommé soit proportionnel au carbone que l'on veut doser. L'excès de bichromate inutilisé dans la réaction était ensuite titré par une solution de sel de Mohr

$\text{Fe}(\text{SO}_4)_2(\text{NH}_4)_2$  en présence de diphénylamine comme indicateur d'oxydo-réduction. La couleur de la solution passait du bleu foncé au bleu-vert selon Anonyme 6 (2012).

### **Mode opératoire :**

Le processus de réduction des échantillons de sol pour déterminer leur teneur en humus suit plusieurs étapes distinctes.

- 1. Préparation de l'échantillon :** Un poids spécifique de terre fine, noté "P" et variant en fonction du taux d'humus du sol à analyser, est placé dans un erlenmeyer. Les quantités de terre varient selon les niveaux d'humus, allant de 0,1 g à 0,5 g.
- 2. Réaction d'oxydation :** Dans l'erlenmeyer contenant l'échantillon de sol, une solution de bichromate de potassium à 0,4 % est ajoutée, en présence d'acide sulfurique. Si la teneur en humus dépasse 10 %, une quantité supplémentaire de solution est nécessaire. Le mélange est agité et chauffé doucement jusqu'à ébullition, puis bouilli pendant 5 minutes. Après refroidissement, le contenu est transféré dans un ballon plus grand et complété à 300 ml avec de l'eau. Du fluorure de sodium et quelques gouttes de diphénylamine sont ajoutés et mélangés.
- 3.** L'excès de bichromate de potassium dans le mélange est titré avec une solution de sel de Mohr. La couleur de la solution passe du brun au vert, indiquant la fin de la réaction, similaire au processus utilisé pour un blanc d'essai.
- 4. Calculs :** Pour déterminer la teneur en carbone organique (% C) et en matière organique (% MO), on utilise les formules suivantes :  $\% C = ((10 - V \cdot X) \times 0,39) / P$  et  $\% MO = \% C \times 1,724$ , où P est le poids de l'échantillon de sol (en grammes), V est le volume de sel de Mohr utilisé, et X est le terme correctif pour le sel de Mohr.

#### **II.2.1.2.5. Analyse chimique des éléments minéraux**

La détermination de la teneur des composés chimiques des sols (N total, P total, Al, Mg et Ca) des palmeraies considérées a été réalisée selon la méthode du système Palintest énoncé dans Anonyme 6 (2012).

Le processus de dosage du calcium et du phosphore comporte plusieurs étapes précises :

Pour le dosage du calcium, 50 ml d'eau distillée sont prélevés dans un tube approprié, puis 5 comprimés d'extraction A sont ajoutés et agités jusqu'à dissolution complète. Ensuite, 10 ml de solution de sol sont ajoutés et agités pendant deux minutes. Par la suite, 10 ml de filtrat sont recueillis et complétés à 50 ml, dans lequel un comprimé de calcium S est introduit et agité

jusqu'à dissolution complète. Dès l'apparition de la couleur violette, l'introduction de comprimés S est arrêtée. Le nombre de comprimés de calcium S ( $I_c = 250$ ) est noté, et la teneur en calcium est calculée selon la formule suivante : Calcium (mg/l) = Nombre de comprimés x 250.

Pour le dosage du phosphore, 50 ml d'eau distillée sont placés dans un tube, dans lequel 5 comprimés d'extraction A de phosphate sont ajoutés et agités. Ensuite, 2 ml de solution de sol sont ajoutés et le mélange est agité à nouveau. La solution est filtrée, puis 2 ml de filtrat sont recueillis et complétés à 10 ml avec de l'eau distillée. Puis 1 comprimé d'acidifiant introduit, écrasé et mélangé pour permettre une bonne dissolution du comprimé ; ensuite 1 comprimé de phosphate ajouté, puis écrasé et mélangé pour permettre une bonne dissolution du comprimé. 10 mn après, un développement complet de la couleur observé ; le photomètre réglé à 640 nm puis étalonnera avec de l'eau distillée. Ceci, en appuyant sur le bouton « ON » jusqu'à la lecture 100 nm. Ensuite l'étalon retiré rapidement et puis le tube contenant le filtrat mis. La teneur exacte était obtenue par extrapolation du chiffre lu dans le spectrophotomètre.

La détermination de la teneur du phosphore de nos échantillons de sol basée sur la valeur de 89 lue sur le photomètre. Ainsi, la valeur obtenue en projetant de manière orthogonale la valeur des ordonnées (80) et celle des abscisses 9, ces valeurs correspondent au 6 dans le tableau, donc la valeur 6 est la teneur de phosphore exprimée en mg/L.

Lorsque l'extrapolation a donné une valeur inférieure à 28, une dilution était faite par le prélèvement de 10 ml et complété à 100ml puis la même procédure d'analyse était reprise. Après l'obtention du résultat par extrapolation, cette valeur était multipliée par le facteur de dilution. Si l'extrapolation a donné une valeur supérieure à 95 la teneur du phosphore dans cet échantillon était considéré trace.

Le dosage de l'azote impliquait plusieurs étapes bien définies. Initialement, 10 ml d'extrait d'azote étaient versés dans un tube, suivi de l'ajout et de l'écrasement d'un comprimé de Nitricol N pour dissoudre le contenu. Ensuite, la suspension était laissée au repos pendant 10 minutes pour permettre un développement complet des couleurs. Le photomètre était réglé à 570 nm pour lire le pourcentage de transmission habituel. Enfin, le tableau d'étalonnage des nitrates était consulté pour déterminer la concentration d'azote nitrique dans le sol.

Le protocole de dosage du magnésium comprenait les étapes suivantes : dans un tube contenant 50 ml d'eau distillée, cinq comprimés d'extraction A étaient introduits et la solution était agitée pour permettre la dissolution. Ensuite, 10 ml de sol étaient ajoutés et le mélange

était agité pendant deux minutes. Après filtration, 1 ml de filtrat était recueilli et complété à 10 ml. Un comprimé de Magnecol S était ajouté, écrasé, puis la solution était laissée au repos pendant 2 minutes. Le photomètre était réglé à 520 nm pour lire le résultat.

Pour le dosage de l'aluminium, 1 ml d'extrait A était prélevé à l'aide d'une seringue en plastique et vidé dans un tube, qui était ensuite rempli jusqu'à 10 ml avec de l'eau distillée. Un comprimé d'aluminium No 1 S était ajouté, écrasé et mélangé pour dissoudre, suivi de l'ajout et de la dissolution soigneuse d'un autre comprimé d'aluminium No 2 S. La suspension était ensuite laissée au repos pendant 5 minutes pour permettre le développement complet de la couleur. Le photomètre était réglé à 570 nm pour lire le pourcentage de transmission habituel.

L'analyse physico-chimique des sols nous permettra de saisir les conditions de croissance du palmier dattier ainsi que son cycle biologique en réponse aux variations climatiques.

### **II.2.2. Évaluation de la biodiversité de l'agrosystème oasien**

Une enquête auprès des phœniciculteurs de la zone d'étude a été réalisée pour évaluer la diversité variétale du palmier dattier et les cultures associées, évaluer les pratiques culturelles liées à la culture du palmier dattier et aussi d'évaluer l'importance socio-économique de cette espèce. Afin de couvrir l'intégralité de la zone phœnicicole du Tchad, 30 producteurs ont été enquêtés dans dix villages de chaque zone agro-écologique (Sahara et Sahel) à raison de trois producteurs par village (agrosystème/bassin de production). Au total, 60 producteurs à raison de 30 producteurs par zone, répartis dans 20 villages ont fait l'objet de cette enquête.

L'approche consistait à faire un entretien en groupe et un entretien individuel. Les entretiens individuels, ont été réalisés dans la palmeraie du producteur enquêté et les entretiens en groupe ont été conduits au niveau du village sous le regard des chefs traditionnels et les agents du développement rural (Fig. 18).

Une fiche de collecte de données était soumise à l'endroit de producteur dans le but de recenser les cultivars du palmier dattier et des cultures associées. Les questionnaires s'articulaient essentiellement sur les noms de cultivars, les cultivars les plus précoces, les plus productifs et les cultivars les plus prisés par la population. Il a été aussi recensé les variétés importées, les critères utilisés pour l'identification des cultivars, etc. Une liste de cultures associées au palmier dattier a été établie dans les différentes palmeraies.

Des questionnaires autour de pratiques culturelles liées au palmier dattier telles que types de multiplication, écartement, types de pollinisation, l'irrigation et fertilisation du palmier dattier, l'élagage de palmes, proportion de pied femelle/champ, culture sous-jacente et technique de brûlis.

L'évaluation de l'aspect socioéconomique de l'agrosystème et son importance dans la vie de paysans a été faite grâce au questionnaire lié au rendement et usages de revenus qui en découle de la production des dattes. La fiche d'enquête a permis d'évaluer la productivité de palmiers et le prix de vente/kg des dattes. Les données sur les usages alimentaires et sociaux de palmier dattier ont été aussi collectées.



**Fig. 18.** Déroulement des enquêtes auprès des producteurs a. entretien avec un producteur au village Bourkoua ; b. entretien dans une palmeraie de Amoul ; c. entretien en groupe au village Aïloum ; d. remplissage des fiches d'enquête dans une palmeraie de Ounianga-Kebir.

## II.2.3. Caractérisation de la diversité génétique du palmier dattier

### II.2.3.1. Collecte et conservation du matériel végétal

Lors de l'enquête dans les palmeraies, des échantillons de jeunes feuilles d'un pied mâle et deux pieds femelles étaient prélevés dans des sachets séparément. Les feuilles de chaque plant étaient entourées des para-films et tous les échantillons d'un même village étaient mis ensemble dans un sachet et conditionnés avec du gel de silice (Fig. 19). Cent quarante-deux (142) échantillons des feuilles ont été collectés dans les deux zones d'enquête. Les noms des cultivars et leurs sites de collecte sont présentés en annexe.



**Fig. 19.** Prélèvement de jeunes feuilles, étiquetage et leurs conditionnements (a. prélèvement des feuilles ; b. étiquetage des échantillons ; c. emballage des échantillons ; d. échantillons conditionnés avec le silicagel).

### II.2.3.2. Marqueurs microsatellites utilisés dans cette étude

Un ensemble de 18 marqueurs ont été utilisés pour analyser la diversité génétique du palmier dattier. Parmi eux, dix microsatellites dinucléotidiques (GA)<sub>n</sub> ont été sélectionnés à

partir de régions non codantes, en se référant aux travaux de Bilotte (2004), tandis que deux autres marqueurs sélectionnés ont été décrits par Adam *et al.* (2010). En outre, quatre marqueurs microsatellites situés dans des régions codantes et développés par Aberlenc-Bertossi *et al.* (2014) ont été intégrés. Pour compléter l'ensemble des microsatellites, deux marqueurs supplémentaires, développés respectivement par Zehdi *et al.* (2015) et Ludeña *et al.* (2011), ont été ajoutés, ce qui a permis de génotyper les 142 individus de palmier dattier inclus dans cette étude (Tableau V).

**Tableau V.** Marqueurs utilisés dans la caractérisation moléculaire du palmier dattier

N°	Marqueurs	Nom Court	Taille (pb)	Références
1	mPdIRD013	P13	204	Aberlenc-Bertossi <i>et al.</i> , 2014
2	mPdIRD031	P31	198	Aberlenc-Bertossi <i>et al.</i> , 2014
3	mPdIRD033	P33	199	Aberlenc-Bertossi <i>et al.</i> , 2014
4	mPdIRD040	P40	193	Aberlenc-Bertossi <i>et al.</i> , 2014
5	PdAP3-ssr-F4	AP3	331	Zehdi <i>et al.</i> , 2015
6	mPdCIR010	Pd10	164	Bilotte <i>et al.</i> , 2004
7	mPdCIR015	Pd15	135	Bilotte <i>et al.</i> , 2004
8	mPdCIR016	Pd16	134	Bilotte <i>et al.</i> , 2004
9	mPdCIR025	Pd25	230	Bilotte <i>et al.</i> , 2004
10	mPdCIR032	Pd32	300	Bilotte <i>et al.</i> , 2004
11	mPdCIR035	Pd35	188	Bilotte <i>et al.</i> , 2004
12	mPdCIR057	Pd57	282	Bilotte <i>et al.</i> , 2004
13	mPdCIR063	Pd63	167	Bilotte <i>et al.</i> , 2004
14	mPdCIR078	Pd78	121	Bilotte <i>et al.</i> , 2004
15	mPdCIR085	Pd85	179	Bilotte <i>et al.</i> , 2004
16	PdAG1-ssr	AG1	260	Ludeña <i>et al.</i> , 2011
17	PdCUC3-ssr1	CUC3-1	330	Adam <i>et al.</i> , 2010
18	PdCUC3-ssr2	CUC3-2	330	Adam <i>et al.</i> , 2010

Ces 18 marqueurs microsatellites spécifiques au palmier dattier sont employés dans l'étude de la diversité moléculaire. Leur choix découle de leur grande variabilité, comme souligné par Pintaud *et al.*, (2010). Le Tableau VI fournit davantage de détails sur ces marqueurs.

**Tableau VI. Motifs et séquences de 18 microsatellites utilisés**

<b>Marqueurs</b>	<b>Motifs SSR</b>	<b>Séquence de l'amorce Forward (F) (5'3') et Reverse (R)</b>
<b>mPdIRD013</b>	(CAC) <sub>6</sub>	F: GCGGAGACAGGAGATGGTAA 7 R: CTTGACTGCTTCTGCTGCTG
<b>mPdIRD031</b>	(CCA) <sub>7</sub>	F: GCAGGTGGACTGCAAAATCT R: CTATTGGGGTGCTGATCCAT
<b>mPdIRD033</b>	(CAG) <sub>7</sub>	F: GGAGCATAACAGTGGGTTTGC R: CAGCCTGGGAATGAGGATAG
<b>mPdIRD040</b>	(CCAGTG) <sub>4</sub>	F: GAGAGATGCGTCAGGGAATC R: CCAGAATCTTCCAAGCAAGC
<b>PdAP3-ssr-F4</b>	(GA) <sub>25</sub>	GAG AAA TAG AGA GCT GTG CAAG CTG CAG TAC TCG GAG AAC TTG
<b>mPdCIR010</b>	(GA) <sub>22</sub>	F: ACCCCGGACGTGAGGTG R: GTCGATCTCCTCCTTTGTCTC
<b>mPdCIR015</b>	(GA) <sub>15</sub>	F: AGCTGGCTCCTCCCTTCTTA R: GCTCGGTTGGACTTGTTCT
<b>mPdCIR016</b>	(GA) <sub>14</sub>	F: AGCGGGAAATGAAAAGGTAT R: ATGAAAACGTGCCAAATGTC
<b>mPdCIR025</b>	(GA) <sub>22</sub>	F: GCACGAGAAGGCTTATAGT R: CCCCTCATTAGGATTCTAC
<b>mPdCIR032</b>	(GA) <sub>19</sub>	F: CAAATCTTTGCCGTGAG R: GGTGTGGAGTAATCATGTAGTAG
<b>mPdCIR035</b>	(GA) <sub>15</sub>	F: ACAAACGGCGATGGGATTAC R: CCGCAGCTCACCTCTTCTAT
<b>mPdCIR057</b>	(GA) <sub>20</sub>	F: AAGCAGCAGCCCTTCCGTAG R: GTTCTCACTCGCCCAAAAATAC
<b>mPdCIR063</b>	(GA) <sub>17</sub>	F: CTTTTATGTGGTCTGAGAGA R: TCTCTGATCTTGGGTTCTGT
<b>mPdCIR078</b>	(GA) <sub>13</sub>	F: TGGATTTCCATTGTGAG R: CCCGAAGAGACGCTATT
<b>mPdCIR085</b>	(GA) <sub>29</sub>	F: GAGAGAGGGTGGTGTATT R: TTCATCCAGAACCACAGTA
<b>PdAG1-ssr</b>	(GA)	F: TCTGATTTTCGTTTACTTCTTAGGA R : TTC ATA TTC AGT TGT CGG GTGTA
<b>PdCUC3-ssr1</b>	(GT) <sub>14</sub>	F : CGTGGACTCATGACTCGCATGTCC R : GGTCTTGCCGGTGGCCTTC
<b>PdCUC3-ssr2</b>	(GA) <sub>22</sub>	F : ACA TTG CTC TTT TGC CAT GGG CT R : CGA GCA GGT GGG GTT CGG GT

### II.2.3.3. Extraction, Génotypage et amplification de l'ADN

L'ADN génomique a été extrait à partir de 100 mg de jeunes folioles séchées en utilisant du MATAB, à l'aide du mini-kit Dneasy plant conformément à l'instruction du fabricant (Zehdi-Azouzi *et al.*, 2016 ; Zango *et al.*, 2017). Les ADN ont été mélangés avec 1 ml de 0,7 M NaCl, 50 mM Tris-HCl, 10 mM de tampon EDTA, pH 7,0.

La qualité et la concentration de l'ADN ont été vérifiées grâce au Nanodrop 2000c (Thermo Scientific, Willington, USA) et d'une électrophorèse sur gels d'agarose à 1 % d'un logeur d'onde de 260 nm.

Dix-huit (18) marqueurs microsatellites nucléaires « Simple sequence repeat » (SSR), développés pour *Phoenix dactylifera* L. ont été amplifiés à savoir les di-nucléotidiques répétitives (GA)<sub>n</sub> ainsi que les hexa nucléotidiques (Billotte *et al.*, 2004 ; Ludeña *et al.*, 2011 ; Aberlenc-Bertossi *et al.*, 2014 ; Zehdi-Azouzi *et al.*, 2015).

Les amplifications, par « Polymerase Chain Reaction » (PCR), des loci cibles, pour chaque accession étudiée, ont été réalisées en plaques de 96 puits. Les conditions de PCR étaient une dénaturation initiale à 95°C pendant 5 minutes, suivie par 35 cycles composés chacun d'une dénaturation à 95°C pendant 30 secondes, une hybridation pendant 60 secondes sous une température de 57°C et une élongation à 72°C 30 secondes. L'élongation est la dernière étape de la PCR, elle se fait sous une température de 60°C pendant une durée de 30 minutes.

Les produits amplifiés ont été analysés sur un analyseur génétique ABI 3130XL (Applied Biosystems, USA) et les allèles ont été évalués à l'aide du logiciel GeneMapper V3.7 (Applied Biosystems). Ce logiciel a permis de déterminer la taille des allèles de chaque locus microsatellite.

Pour le marqueur minisatellite chloroplastique (CpSSR), qui est un marqueur haploïde de 12 paires de bases (pb) au niveau de l'espaceur intergénique *psbZ-trnfM* a aussi été amplifié, pour identifier, au sein des populations du Tchad, les chlorotypes occidental et oriental (Henderson *et al.*, 2006 ; Pintaud *et al.*, 2010). En outre, les trois loci liés au sexe (mPdIRD50, mPdIRD52 et mPdIRD80) ont été utilisés pour identifier les marqueurs Y oriental et occidental (Cherif *et al.*, 2013).

### **II.2.3.3. Détermination de l'origine du pool génétique**

L'identification des chlorotypes occidentaux et orientaux dans 142 échantillons du Tchad a été faite par le génotypage avec des amorces *trnG-trnfM*. Le génotypage a été effectué grâce à l'analyseur QIAXCEL et un génotypage ABI de minisatellite (Pintaud *et al.*, 2010). L'identification des chlorotypes occidentaux et orientaux a été possible grâce au marqueur minisatellite chloroplastique (CpSSR) et les marqueurs Y occidental et oriental ont été réalisés par trois marqueurs liés au sexe (mPdIRDP50, mPdIRDP52 et mPdIRDP80) (Cherif *et al.*, 2013).

### **II.2.4. Identification des perspectives du développement de la production du palmier dattier**

Lors de l'enquête auprès des phœniciculteurs, les facteurs et les difficultés qui entravent le bon fonctionnement de l'agrosystème oasien, notamment la production du palmier dattier a été recensée. Une analyse des forces et des faiblesses de la phœniciculture a été réalisée dans le but de faire une projection sur l'évolution de la culture de palmier dattier au Tchad, afin d'identifier des perspectives de développement du secteur pouvant améliorer les conditions de vie des populations et la gestion durable et efficace du dit agrosystème face aux changements globaux.

### **II.2.5. Analyse des données**

Les données quantitatives et qualitatives obtenues de l'enquête ont été traitées et les moyennes, les écarts-types et les fréquences ont été calculées à l'aide du logiciel Excel. L'analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée grâce au logiciel R (R Core Team, 2020), pour déterminer les relations entre les pratiques culturelles et les zones (Sahara/Sahel).

Les données sur la diversité génétique ont été analysées par plusieurs logiciels. Les analyses descriptives des résultats obtenus sur les hétérozygoties observées ( $H_o$ ) et attendues ( $H_e$ ) ainsi que l'indice de fixation (coefficient de consanguinité) ( $F_{is}$ ), le nombre d'allèles par locus ( $N_a$ ), la fréquence allélique majeure, le « Polymorphism Information Content » (PIC), la diversité de gènes « Gene Diversity » (GD), le nombre de génotypes multilocus ( $N_g$ ) et l'indice de fixation  $F_{st}$ , ont été calculés par le logiciel GenAlEx v.6.502 (Peakall & Smouse, 2012). Ce même logiciel a permis aussi d'étudier les relations génétiques entre les populations, en calculant le nombre moyen d'allèles par locus ( $N_a$ ), le nombre d'allèles de fréquence

supérieure à 5 % (Nap), la richesse allélique par locus ( $R_a$ ), l'hétérozygotie observée, et le nombre d'allèles privés ( $A_r$ ) dans chaque population ont été aussi estimés. L'analyse de coordonnées principale (PCoA) a été réalisée sur la matrice de distance génétique des échantillons avec le logiciel GeneAlex v.6.502, afin de déterminer les relations génétiques entre les cultivars (Peakall & Smouse, 2012). GenAlex a été aussi utilisé pour calculer le polymorphisme des marqueurs. L'estimation et la répartition de la variance moléculaire (analyse de la variance moléculaire) ont été faites par la distance de Nei (Excoffier *et al.*, 1992). La détermination du nombre de clones au sein de la population a été faite par le logiciel Darwin.

L'analyse de la structuration de la population a été faite avec le logiciel Structure v. 2.3.4 (Pritchard *et al.*, 2000) et le logiciel Pophelper v.1.0.10 (Francis, 2016) a été utilisé pour tracer les résultats de K. L'approche du modèle utilisé est basée sur des méthodes bayésiennes de regroupement pour traduire les données génotypiques multilocus en structure de population et pour assigner, les individus aux sous-populations, sur des bases probabilistes. Cette méthode vise à considérer l'existence de valeur de K, allant de 1 à 5. Pour chaque exécution, une période de gravure de 10 000 itérations a été utilisée. Le nombre optimum de populations (K) a été déterminé en utilisant la statistique ad hoc  $\Delta K$  (Evanno *et al.*, 2005) basée sur le taux de changement dans le logarithme de vraisemblance des données entre valeurs successives de K.

**CHAPITRE III.  
RESULTATS ET DISCUSSION**

## CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

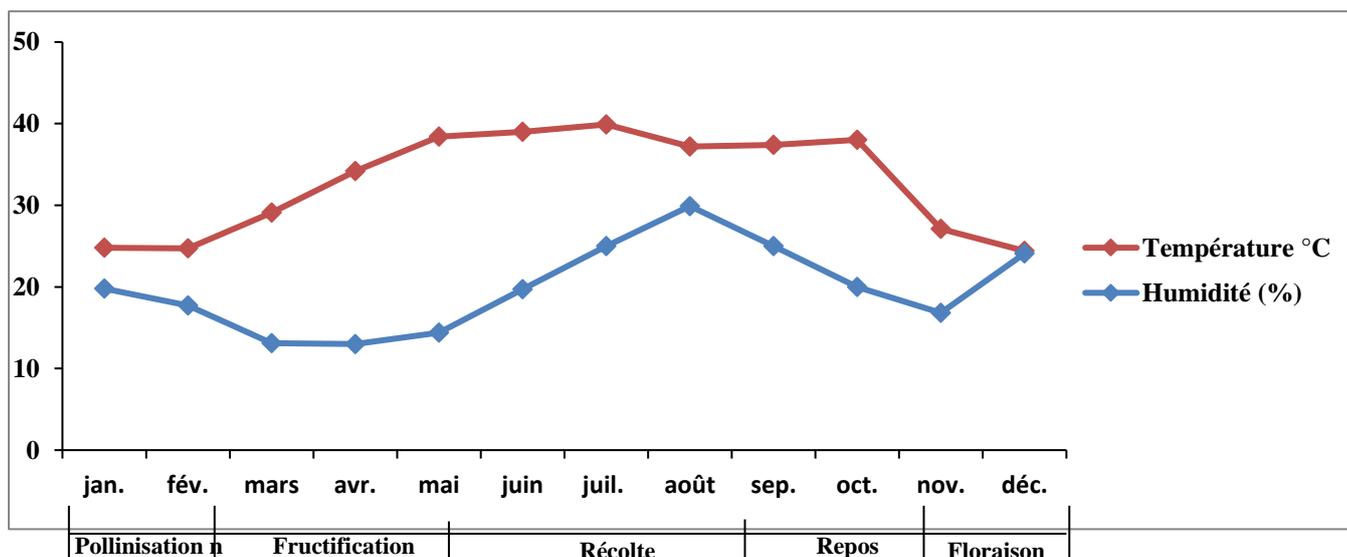
### III.1. RÉSULTATS

#### III.1.1. Développement du palmier dattier dans les environnements oasiens

##### III.1.1.1. Conditions climatiques oasiennes de développement des palmeraies étudiées

###### III.1.1.1.1. Cas de la zone saharienne

Les conditions climatiques au cours de l'année 2018 dans la zone saharienne, se caractérisent par une faible humidité allant de 13 % en avril et 30 % en mois d'août et une forte température 24,4 °C en (décembre) et 40 °C en (juillet) pendant la fructification et la récolte de dattes. La période de floraison de palmier dattier intervient en novembre-décembre chez la majorité de cultivars et la pollinisation de palmiers se fait entre janvier-février. Une très faible humidité (13 et 14,4 %) est observée pendant la période de fructification alors que la température dans cette même période autour de 25 ° à 39 °C voire jusqu'à 40 °C (Fig. 20).

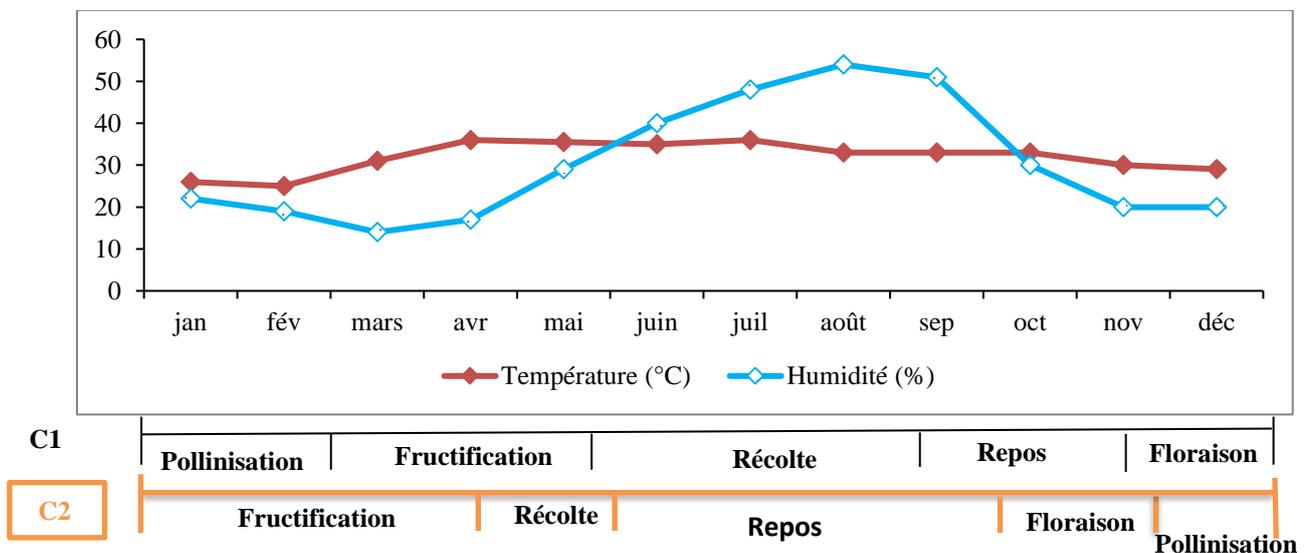


**Fig. 20.** Température et humidité en 2018 et stades du développement du palmier dattier en zone saharienne

###### III.1.1.1.2. Cas de la zone sahélienne

Le cycle biologique de palmier dattier se caractérise classiquement par une campagne annuelle de floraison et de production de fruits. La zone sahélienne est une zone marginale pour la culture du palmier dattier en raison des conditions climatiques. Au cours de l'année 2017, les

conditions climatiques dans cette zone sont caractérisées par une forte humidité (14 % en mars et 54 % en août) avec une température moyenne allant de 26 °C en janvier à 36 °C en avril. Ces conditions permettent à 20 % des palmiers à produire deux fois par an. La première campagne (C1) est équivalente à celle de la zone saharienne, mais dans le Sahel, les pluies intervenant pendant la maturation des fruits sous une forte humidité allant de 14 à 54 %, conduisent à la production des dattes de qualité inférieure. La deuxième campagne (C2) de production se déroule en campagne sèche, avec une humidité allant de 20 % lors de la pollinisation et à 29 % pendant la récolte de fruits (Fig. 21).



**Fig. 21.** Température et humidité intra annuel et stades de développement du palmier dattier en zone sahélienne (1<sup>ère</sup> C : première campagne ; 2<sup>e</sup> C : deuxième campagne)

Au sahel, la deuxième campagne de production (C2) ne concerne que 20 % des palmiers dattiers avec une période d'un mois récolte entre avril et mai. Ces individus à double floraison leurs campagnes de production s'interviennent successivement l'un après l'autre.

Dans les deux zones d'étude (Sahara et Sahel), la première campagne de production du palmier dattier est presque identique. La période du repos commence juste après la récolte et pour une durée de deux mois. Cette période s'étale entre août et début novembre en fonction de cultivar et de l'agrosystème. La floraison intervient entre décembre et février et voire mars pour les cultivars tardifs. La maturité (la récolte) de dattes commence en fin mai et se termine en septembre.

### III.1.1.2. Conditions édaphiques oasiennes et développement des palmeraies étudiées

Les analyses granulométriques des échantillons de sol prélevés dans la zone d'étude ont permis d'identifier sept types de sols distincts : Sablo-argileux (Gouro, Kirdimi et Kinintchi), Sablo-limoneux (Ounianga-Kebir), Argilo-sableux (Faya), Argilo-limoneux à Amoul, Argilo-sablo-limoneux (Nokou et Djougou), Limono-sableux (Koumogari), et des sols limono-argileux à Barraah. Le pH du sol se situe dans une plage modérément acide pour tous les types de sols, variant de 5,7 dans les sols sablo-argileux à 6,5 dans les sols argilo-sablo-limoneux (Tableau VII).

Concernant la conductivité électrique, qui indique le taux de salinité du sol, les résultats montrent des valeurs basses, allant de 14 à 423  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , bien en deçà du seuil critique de 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , indiquant ainsi une faible salinité des parcelles.

La teneur en carbone organique est uniformément faible dans les sept types de sols, oscillant entre 0,078 % (pour les sols argilo-sableux) et 0,095 % pour les sols limono-argileux. Les niveaux de matière organique varient entre 0,134 % et 0,164 % respectivement dans les sols (sablo-limoneux et Argilo-sableux) et limono-argileux.

Quant aux éléments minéraux, les niveaux d'azote total varient de 15 mg/l dans les sols argilo-sableux à 240 mg/l dans les sols sablo-limoneux. Pour le phosphore, les valeurs s'échelonnent de 30 mg/l (pour les sols limono-sableux) à 96 mg/l dans les sols argilo-sableux. Les concentrations de calcium (Ca) vont de 667 mg/l dans les sols sablo-argileux à 1500 mg/l dans les sols limono-argileux. Pour le magnésium (Mg), les valeurs vont de 50 mg/l dans les sols sablo-limoneux à 153 mg/l dans les sols sablo-argileux. Les proportions de calcium et de magnésium semblent être acceptables dans tous les échantillons de sol prélevés. En ce qui concerne l'aluminium, les analyses indiquent des traces (quantités très faibles) dans quatre types de sols, et une concentration de 5 mg/l dans les sols limono-argileux.

La productivité des palmiers dattiers varie considérablement selon le type de sol. Les sols sablo-limoneux et argilo-limoneux présentent les rendements les plus élevés, avec respectivement 68 et 80 kg de dattes par palmier. Les sols limono-sableux et sablo-argileux affichent des rendements relativement faibles, avec seulement 38 et 43 kg de dattes par palmier. Les sols argilo-sableux et limono-argileux présentent des rendements intermédiaires, avec respectivement 68 et 48 kg de dattes par palmier.

**Tableau VII. Conditions édaphiques oasiennes et développement des palmeraies**

Type du Sol	Réaction des sols		Matière organique		Eléments minéraux					
	pH	Conductivité ( $\mu$ S/cm)	carbone organique (%)	Matière organique (%)	azote (mg/l)	phosphore (mg/l)	aluminium (mg/l)	magnésium (mg/l)	calcium (mg/l)	Productivité dattes (kg/palmier)
Sablo-argileux	5,7	32	0,083	0,143	65	48	Traces	153	667	43
Sablo-limoneux	6	15	0,078	0,134	240	43	1,3	50	1250	68
Argilo-sableux	6	111	0,078	0,134	15	96	Traces	335	1000	68
Argilo-limoneux	6	14	0,085	0,147	25	43	Traces	165	100	80
Argilo-sablo-limoneux	6,5	112	0,084	0,144	115	41	2	113	375	43
Limono-sableux	6	423	0,085	0,147	77	30	Traces	55	750	38
Limono-argileux	6	29	0,095	0,164	35	86	5	85	1500	48

### **III.1.2. Biodiversité de l'agrosystème oasien**

#### **III.1.2.1. Présentation des exploitants enquêtés**

Les caractéristiques des cultivateurs de palmiers varient selon les différentes zones agroécologiques étudiées. Dans la région saharienne, en particulier dans la province d'Ennedi-Ouest, les exploitants sont exclusivement des hommes, avec une moyenne d'âge de 58 ans et un écart-type de 10. La majorité d'entre eux sont mariés (88 %) et ont en moyenne 16 ans d'expérience dans ce domaine. Environ 27 % ont hérité de leurs palmeraies, et la main-d'œuvre est principalement constituée de membres de leur famille (89 %). Leur exploitation moyenne couvre une superficie de 2,5 hectares. En revanche, dans la province de Borkou, l'âge moyen des exploitants est plus jeune, avec une moyenne de 46 ans et un écart-type de 11. La grande majorité d'entre eux sont également mariés (94 %), avec une expérience moyenne de 17 ans dans le domaine. Bien que la main-d'œuvre reste principalement familiale, avec une légère augmentation à 95 %, la superficie moyenne des champs est plus petite, à 1,4 hectares (Tableau VIII).

Dans la région sahélienne (province du Kanem), les exploitants sont principalement des hommes, représentant 97 % de la population, tandis que les femmes ne représentent que 3 %. L'âge moyen des exploitants dans cette zone est de 52 ans, avec un écart-type de 15, indiquant une certaine variabilité dans les tranches d'âge. Tous les exploitants interrogés dans cette région sont mariés. En ce qui concerne l'expérience agricole, les exploitants du Kanem ont une moyenne de 38 ans, avec un écart-type de 33, suggérant une grande variabilité dans les niveaux d'expérience. Une grande majorité d'entre eux (83 %) ont hérité de leurs palmeraies. La main-d'œuvre utilisée est principalement familiale, représentant 90 % de la main-d'œuvre totale, avec seulement 4,5 % des exploitants recourant à une main-d'œuvre spécialisée et 5,5 % utilisant d'autres types de main-d'œuvre. La superficie moyenne des champs exploités dans cette zone est de 0,7 hectares, ce qui suggère des exploitations relativement petites par rapport à la région saharienne.

**Tableau VIII.** Quelques caractéristiques des exploitants enquêtés

<b>Zone</b>	<b>Saharienne</b>		<b>Sahélienne</b>
<b>Province</b>	<b>Ennedi-Ouest</b>	<b>Borkou</b>	<b>Kanem</b>
<b>Sexe</b>			
- M	100 %	90 %	97 %
- F	0 %	10 %	3 %
<b>Age</b>			
-Moyenne ± Ecart type	58±10	46±11	52±15
<b>Situation matrimoniale</b>			
- Marié	88 %	94 %	100 %
- Célibataire	12 %	06 %	0 %
<b>Nombre d'année d'activité</b>			
-Moyenne ± Ecart type	16±10	17±12	38±33
<b>Palmeraie héritée ?</b>			
- Oui	27 %	48 %	83 %
- Non	73 %	52 %	17 %
<b>Main d'œuvre</b>			
- Familiale	89 %	95 %	90 %
- Spécialisé	11 %	03 %	04,5 %
- Autres	0 %	01 %	05,5 %
<b>Superficie moyenne de champs (ha)</b>	2,5	1,4	0.7

### III.1.2.2. Diversité variétale du palmier dattier et des cultures associées

#### III.1.2.2.1. Diversité des cultivars et nomenclatures du palmier dattier

Dans les zones étudiées, le recensement des noms des variétés locales de palmier dattier a permis de montrer que la diversité variétale de l'espèce varie d'une localité à une autre. Les noms sont attribués généralement par les populations en langue locale «Teda-Daza» dans la zone saharienne et en langue «Kanembou ou Daza» dans la zone sahéenne. La reconnaissance variétale au Sahara se fait généralement en relation avec la morphologie de la plante, le phénotype et les propriétés organoleptiques des fruits. On dénombre plus de 200 cultivars dans cette région (Tableau IX).

**Tableau IX.** Diversité ethnique et cultivars de palmier dattier de la zone saharienne

Province	Département	Ethnie	Cultivars (noms locaux)	Cultivars les plus précoces	Cultivars les plus productifs	Cultivars les plus prisés
Ennedi-Ouest	Gouro	Toubou, Anakaza, Toleh	Kouhou, Brounow, Anago, Martchano, Mezini, Kodow, Ozounow, Horeido, kouhidow, Kow, Mayaskor, Yesma, Ozina, Memodo, Korrido, Linguido, horeido, Fohanido, Foraida, Dalamalou, Gnogo, Kohada, Donali, Hassa, Firidow, hawarbellah, Horeido, Thordo, Hawarbellah	Anago, Kouhi	Horeido, Brounow, Mayesko, Anago	Anago, Brounow, Horeido, Martchano
	Ounianga-Kebir	Ouadjangué, Ougné	Djanneh, Kohani, Hadimideh, Kougoudow, Tahordeh, Wallao, Tafourdé, brounow, Adjam, Martchano, Okom, Anago, Kamani, Kohami, merdeh, konini, djamah, Djanneh, Kowlo, Andjah, Tchou, koini, matchego, Okononi, Kirbi, Kowda	Anago, Djanneh, merdeh, matchego	Hadimidideh, wallao, merdeh, Djanneh, Kamani, Anago	Djanneh, Djamah
Borkou	Kirdimi	Kamaya, Kamadja, Kameryo, Toubou, Doza	Anago, Brounow, Koidji, Koïdo, Waserdo, Kourdo, Wardangado, kaoulo, Palamala, Wardangado, waserdo, Kougoudow, Anago, tirtido, Kow, Koïdo, arbibo, bouhandjo, kokanga, wallao, wardangado, tirtido, kourdo, molingou, kolingadé, bouhandjo, koidji, zalao, milnuado, lahandjo, tourtoudo, Zalanga, koukagao, Kourdo, Waserdo, Tourtoudo, lohandji, namanga, sagour, Kodjibichanga, stingado, moulouro, bouhandjo, Keteché, Aribo, Kow manga	Anago, tirtido	Waserdo, Wardangado, Memedo, Bournow, Anago	Waserdo, Bournow, Anago, Memedo
	Faya	Anakaza, Kamaya	Zalao, Anago, Brounow, Koïdo, Asandow, Kougoudow, Tirtidow, Zalanga, Mohodow, Lahandjo, Kowlow, Konsowdow, Waserdo, Mengoul, Martchano, aribo, memedo, acolis, Koïdo, Arbow, Kow, kourdao, Moittoukouli, Kowdazinga, Kownow, meboum, mekodi	Anago, Kougoudow, Zalao	Bournow, Arbo, Zalao	Anago, Brounow, Zalanga, Zalao, Kougoudow

Au Sahara, la variété la plus répandue dans presque tous les bassins de production est "*Brounow*" en raison de sa bonne productivité, sa facilité à la conservation, la qualité de ses fruits pour la commercialisation (datte sèche) et son adaptation au climat. En deuxième position vient le cultivar "*Anago*" / "*Anaga*", qui est précoce, avec des dattes semi-molles, bien charnues et délicieuses. Ce sont ces caractéristiques qui déterminent la préférence des variétés par la population. Au niveau de chaque province, des cultivars spécifiques d'une localité sont aussi présents, par exemple de "*Yesma*", "*Horeido*", "*Mayesko*" et "*Hawarbellah*" dans le bassin du Gouro, "*Djanneh*", "*Hadimideh*" et "*Merdeh*" dans le bassin d'Ounianga-Kébir. En revanche, dans le Borkou (Faya et Kirdimi), on retrouve des cultivars spécifiques à la zone, comme "*Zalanga*" et "*Zalao*" (Fig. 22).



**Fig. 22.** Principaux cultivars de palmier dattier de la zone saharienne

Dans chaque localité, un bon nombre de cultivars précoces, plus productifs et plus prisés par la population ont été recensés. Les cultivars "*Bournow*" et "*Anago*" ont toujours une bonne place dans la zone saharienne, à cause de leurs caractères appréciés par les producteurs et les consommateurs.

Les palmiers dattiers mâles ne sont pas aussi bien caractérisés que les palmiers femelles, car les producteurs accordent peu d'importance à l'origine du pollen. Ce qui fait que dans certaines plantations, le nombre des individus mâles est faible ( $\leq 3$  individus/+ 100 individus femelles), dont les pollens sont recherchés dans des palmeraies voisines.

Au niveau du Sahel, bien qu'il ait été observé une importante diversité de formes, les producteurs révèlent ne faire la différence entre les morphotypes qu'à travers les caractéristiques des fruits. (Tableau X).

**Tableau X.** Diversité ethnique et cultivars de palmier dattier de la zone sahélienne

Province	Département	Ethnie	Cultivars (noms locaux)	Cultivars les plus précoces	Cultivars les plus productifs	Cultivars les plus prisés
	Noukou	Kouri, Kedelia, Keria, Gourane, Gogona, Magaye, Yadad, Nagalaza	Kifi, Bara et Lia, Blatatchi, Wourdeh, Wayala	Blatatchi, Wourdeh	Wayala	Wourdeh
Kanem						
	Mao	Kanembou, Gourane, Kogona, Bouloua, Koumborou, Touareg, Madelah	Bara, Kifi, Lia, Waleboul, Dougoula, Wourdeh, Blatatchi, Wallerom et Dougoula.	Waleboul, Dougoula, Wourdeh	Blatatchi, Wallerom	Dougoula, Wallerom

Les principaux critères de classification et de dénomination des morphotypes au Kanem sont la consistance (molle ou dure) et la couleur (*Bara, kifi, lia* respectivement rouge, jaune et blanc) qui déterminent les trois groupes de cultivars du Sahel et des quelques cultivars maîtrisés par certains producteurs les plus expérimentés (Fig. 23)



**Fig. 23.** Fruit des cultivars de dattier de la zone sahélienne

#### III.1.2.2.2. Richesse et diversité des cultures associées au palmier dattier

Le palmier dattier dans les oasis du Tchad, comme dans tous les agrosystèmes oasiens, offre des conditions idéales à l'association des cultures. Cette technique de production est une opportunité pour répondre aux besoins alimentaires de la population locale. Au Sahara, les cultures maraichères sont pratiquées généralement sous palmier (en sous-jacente) et en association avec le palmier dans les cuvettes du Sahel (Fig. 24).



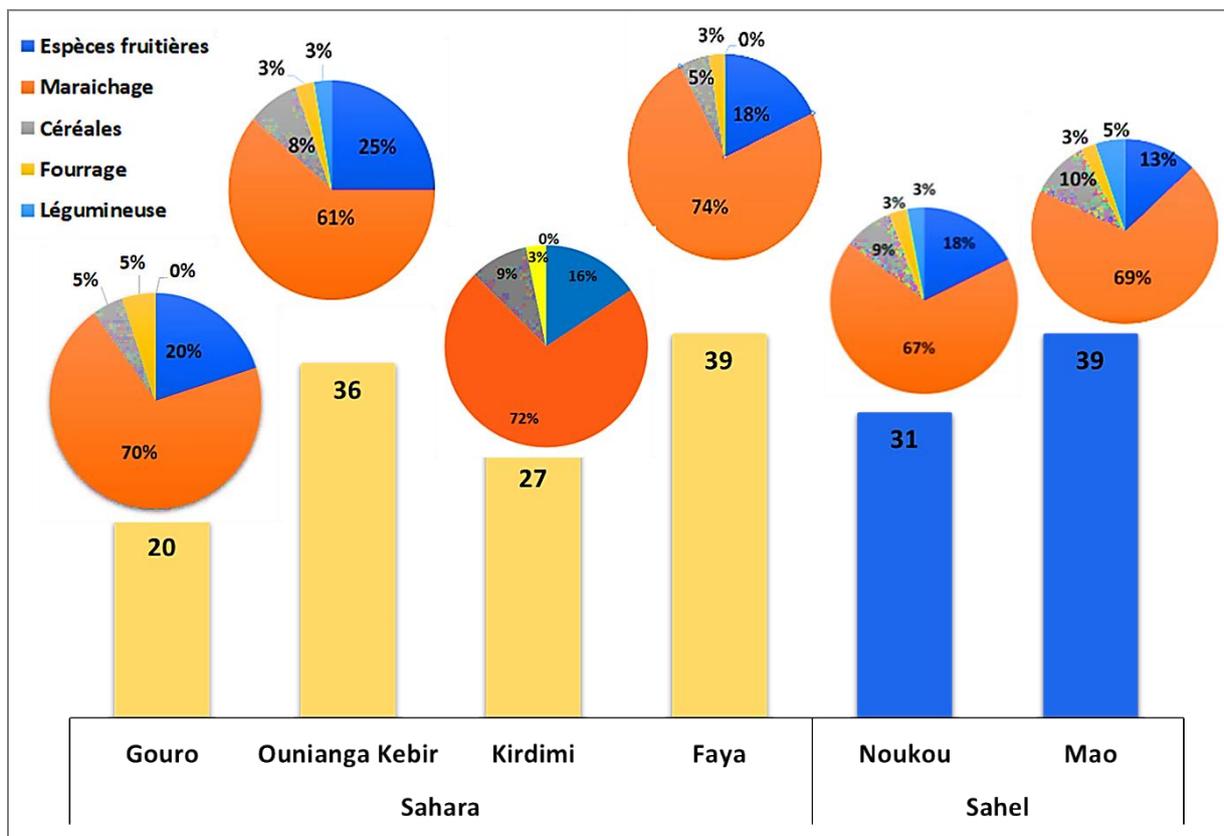
**Fig. 24.** Cultures associées au palmier dattier. a, b : luzerne et arachide en sous-jacente dans les palmeraies de Faya en zone saharienne ; c : production de raisin dans une palmeraie de Kirdimi (Sahara) ; d : goyavier en association avec le palmier à Ounianga-Kébir ; e : culture de maïs dans une cuvette à Mao dans la zone sahélienne ; f : production de manioc dans une palmeraie à Mao au Sahel.

Cette étude a permis d’inventorier un total de 42 cultures associées au Sahara, dont 29 espèces maraichères, 8 espèces fruitières, 3 céréales, une culture fourragère et une légumineuse (Tableau XI).

**Tableau XI.** Les cultures associées au palmier dattier en zone saharienne

<b>Zone</b>	<b>Département</b>	<b>Espèces fruitières/agrumes</b>	<b>Maraichage et tubercules</b>	<b>Céréales</b>	<b>Fourrage</b>	<b>Légumineuse</b>
<b>SAHARA</b>	<b>Faya</b>	Vigne, figuier, Bananier, Manguier, Goyavier, citronnier	carotte, betterave, gombo, aubergine, ail, pastèque, melon, oignon, oseille, roquette, corchorus, patate douce, gombo, betterave, tomate, concombre, concombre, piment, menthe.	Mil pénicillaires, blé	Luzerne	-
	<b>Kirdimi</b>	Vigne, Bananier, Manguier, Goyavier, citronnier	carotte, betterave, gombo, aubergine, ail, pastèque, melon, oignon, oseille, roquette, corchorus, patate douce, gombo, betterave, tomate, concombre, concombre, piment, roquette, laitue, pomme de terre, oseille, menthe.	Mil pénicillaires, blé	Luzerne	-
	<b>Ounianga_Kebir</b>	Manguier, Vigne, Goyavier, Citronnier, Figuier, Olivier, Pamplemoussier, Bananier	carotte, betterave, gombo, aubergine, ail, pastèque, melon, oignon, oseille, roquette, corchorus, patate douce, gombo, betterave, tomate, concombre, concombre, piment, oseille, courgette, menthe, manioc.	Mil pénicillaires, canne à sucre	Luzerne	Arachide,
	<b>Gouro</b>	Manguier, Goyavier, Citronnier, Bananier	aubergine, luzerne, corchorus, vigne, aubergine, oseille, patate douce, concombre, pastèque, menthe, oseille, oignon, tomate, patate douce	Mil	Luzerne	-

Dans le Sahara, au niveau du département de Gouro, 20 cultures sont pratiquées par les phœniciculteurs, dont la culture maraîchère représente 70 %, 20 % pour les espèces fruitières et 5 % pour les céréales et la culture fourragère. Au niveau du bassin d'Ounianga-Kebir, 36 cultures ont été recensées, avec 61 % pour le maraichage, 25 % espèces fruitières, 8 % les céréales et 3 % pour la culture fourragère et les légumineuses. Au niveau de Kiridimi, (27) cultures ont été recensées, dont le maraichage représente 72 %, 16 % pour les espèces fruitières, 9 % céréales et 3 % pour les fourrages. Au niveau de palmeraies de Faya, (39) cultures ont été recensé et les maraichers constituent 74 % de l'ensemble des cultures, les espèces fruitières représentent 18 %, 5 % pour les céréales et 3 % pour le fourrage Fig. 25.



**Fig. 25.** Fréquence des cultures associées au palmier dattier (les histogrammes correspondent au nombre total des cultures ; les camemberts correspondent aux fréquences des cultures dans les palmeraies des différents départements étudiés des zones du Sahara et du Sahel).

Au niveau du Sahel, 40 cultures associées aux palmiers dattiers ont été recensées. Soit 27 cultures maraichères, 6 espèces fruitières, 4 céréales, une culture fourragère et 2 légumineuses. Ces différentes cultures, considérées comme des cultures vivrières, couvrent les besoins quotidiens de la population. Dans quelques palmeraies de Gouro (Sahara), l'élevage de petits ruminants est pratiqué par les agriculteurs.

Dans cette zone, les cultures associées au palmier dattier dans les palmeraies de Noukou sont au total (31) cultures, dont 67 % pour le maraichage, 18 % espèces fruitières, 9 % céréales et 3 % pour les fourrages et légumineuses. Pour les palmeraies de Mao (39) cultures ont été recensées, et le maraichage représente 69 % ; 13 % pour les espèces fruitières ; 10 % céréales, 3 % fourrages et 5 % légumineuses (Tableau XII).

**Tableau XII.** Les cultures associées au palmier dattier en zone sahélienne

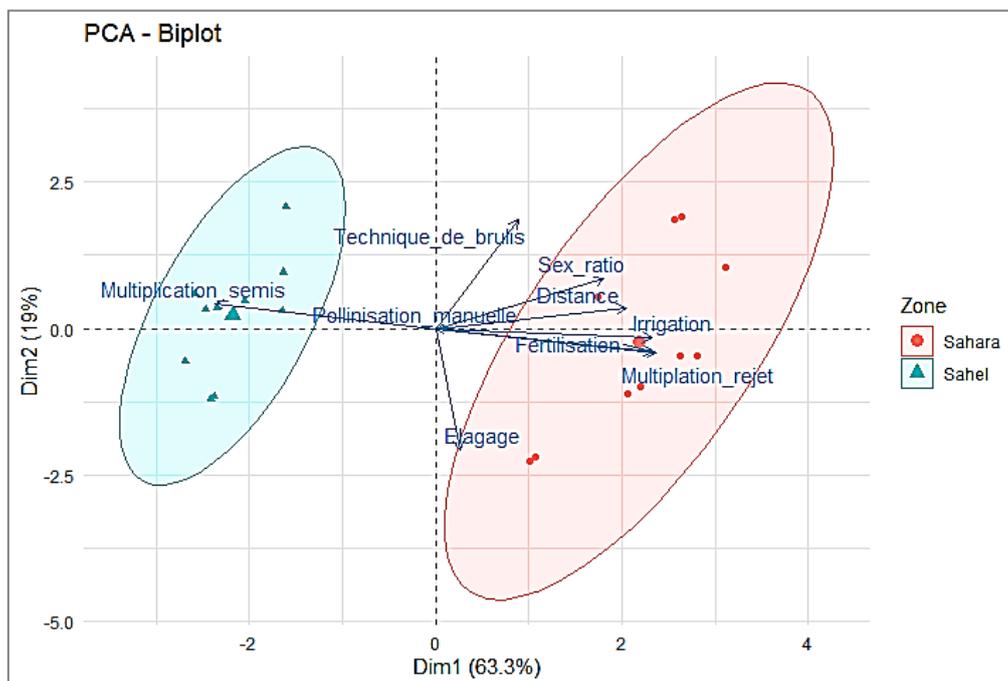
<b>Zone</b>	<b>Département</b>	<b>Espèces fruitières/agrumes</b>	<b>Maraichage et tubercules</b>	<b>Céréales</b>	<b>Fourrage</b>	<b>Légumineuse</b>	<b>Espèce cosmétique</b>
<b>SAHEL</b>	<b>Mao</b>	Manguier, Citronnier, Goyavier, Papayer	Corchorus, oseille, patate douce, manioc, laitue, concombre, pastèque, gombo, carotte, oignon, ail, laitue, tomate, pompe de terre, niébé, aubergine, gombo, betterave, patate douce, carotte, manioc, taro, piment, choux, aubergine, roquette..	Maïs, Mil pénicillaires, Sorgho, Blé,	Luzerne	Arachide, niébé	Henné
	<b>Noukou</b>	Manguier, Goyavier, Papayer, Citronnier, Bananier	oignon, ail ,manioc, gombo, oseille, carotte, laitue, aubergine, choux, piment, tomate, choux, gombo, oseille, carotte, aubergine, piment, manioc, concombre, pastèque, corchorus, melon, roquette...	Maïs, canne à sucre, Blé	-	-	Henné

### III.1.2.3. Pratiques culturelles et savoirs locaux liés au palmier dattier

#### III.1.2.3.1. Connaissances et pratiques culturelles du palmier dattier

Les systèmes de culture de palmier dattier au Sahara du Tchad sont basés sur les connaissances et pratiques ancestrales transmises de génération en génération. Ces pratiques sont évaluées au regard de leurs degrés de mise en œuvre par les producteurs dans les deux zones.

L'analyse en composantes principales montre deux groupes de pratiques culturelles : les pratiques exclusives au Sahara telles que la fertilisation, l'irrigation et la multiplication par rejet ; puis la multiplication par semis exclusive dans le Sahel. Certaines pratiques sont mises en œuvre dans les deux zones : la pollinisation manuelle, l'élagage de palmes pendant le repos et la technique de brulis. Au Sahara, la multiplication des palmiers se fait exclusivement par rejet et au Sahel, elle se fait en grande partie par semis, même si parfois des rejets sont plantés. La distance entre pieds est de 3 à 8 mètres avec une moyenne de 5,5 mètres au Sahara contre 2 à 4 mètres avec une moyenne de 3 mètres dans les palmeraies du Sahel. La proportion de pied femelle par champ est de 85 % au Sahara, contre 73 % au Sahel (Fig. 26)



**Fig. 26.** Mise en œuvre des pratiques culturelles au Tchad dans les provinces du Sahara et du Sahel (chaque point représente un village enquêté).

La pollinisation manuelle des palmiers dattiers se pratique chez tous les producteurs. Elle se fait par l'introduction de 3 à 6 épillets mâles dans l'inflorescence femelle. Aucun élagage

des épillets de l'inflorescence femelle n'est pratiqué par les producteurs ni avant ni après la pollinisation. Quant à l'élagage des palmes mortes, il se fait généralement pendant la période de production de dattes dans les deux zones. Dans la zone saharienne, les palmiers dattiers sont irrigués par les producteurs pendant la production des fruits. Le système d'irrigation par drainage est surtout utilisé dans la province de Borkou (78 %), alors que les motopompes pour remonter l'eau des puits sont plus utilisées à l'Ennedi-Ouest (83 %). Certains producteurs puisent l'eau des puits manuellement pour irriguer leurs palmiers dattiers. La fertilisation des sols destinés à la culture de palmier dattier n'est pratiquée que dans le Sahara. La fumure organique est plus utilisée dans l'Ennedi-Ouest, les engrais naturels, communément appelés «Tilli» par les autochtones de Provinces de Borkou sont ramassés dans les carrières pour fertiliser les sols. Par contre, au Sahel (Kanem), l'engrais chimique est utilisé à 6 % par les producteurs, dans le but d'enrichir le sol pour les cultures maraichères. L'utilisation de la technique de brûlis de même que les raisons de son utilisation varient peu d'une zone à un autre (33 % au Sahara et 23 % au Sahel). Elle est utilisée principalement pour nettoyer les champs selon les producteurs.

### **III.1.2.3.2. Multiples usages alimentaires et sociaux du palmier dattier au Tchad**

Dans les trois provinces étudiées (Borkou, Ennedi-Ouest et Kanem), les fruits du palmier dattier sont en partie utilisés pour la consommation et l'autre partie pour le commerce. Les rebuts de dattes (écarts de tri) sont généralement destinés pour l'alimentation du bétail. La proportion de dattes vendues par village est située entre 47 % à Djougou dans le Kanem (Sahel) et 90 % à Tchangsous dans le Borkou (Sahara). La proportion moyenne de dattes vendues est de 71 %, répartie entre 60 % au Sahel et 76 % au Sahara. Les dattes sont consommées à l'état fruit ou après transformation en pâtes, en bouillie et en boule africaine ou entrent dans la préparation du thé et sirop. Elles sont rarement utilisées pour produire de la bière ou de la liqueur.

Les dattes sont généralement consommées ou vendues sous forme fraîche dans la zone de production et les dattes sèches, sont transportées dans les grandes villes pour être commercialisées. Le type de consommation ou de vente de datte varie du Sahara au Sahel. Dans le Sahara, les dattes sont consommées au stade « *Bser* : jaune ou rouge », « *Rotab* : rouge » et « *Tamr* : rouge foncé ou noir ». Tandis qu'au Sahel, elles sont consommées aussi au stade « *Khalal* : vert vif ». Les revenus obtenus de cette activité servent entre autres pour les besoins

de la famille, la scolarisation des enfants, l'entretien du champ et le commerce ou le petit élevage (Tableau XIII).

Du Sahara au Sahel, le palmier dattier est une plante de grande importance, non seulement à cause de ses fruits qui constituent une ressource alimentaire importante, mais aussi à cause des usages multiples de toutes les parties, notamment le stipe, palmes, les fibres (lifs) ou encore les noyaux. Les principaux usages évoqués sont notamment le bois de chauffe, la fabrication de matériaux de construction de lit, des chaises, des armoires, des nattes, des cordes, des plateaux, des rideaux (stores), paniers et éventail, etc. Il est également utilisé dans la construction des toitures de bâtiments tels que les maisons, les hangars et autres (Fig. 27). Malgré cette diversité de transformation, cette activité reste encore traditionnelle et son utilisation couvre essentiellement les besoins des producteurs en milieu rural.

**Tableau XIII.** Les usages alimentaires et sociaux du palmier dattier en zone saharienne et sahélienne

<b>Zone</b>	<b>Province</b>	<b>Stades de consommation des dattes</b>	<b>Usages des dattes</b>	<b>Type de transformations</b>	<b>Autres usages (palmes, stipe, graine lif/fibre)</b>	<b>Usages du revenu phœnicicole</b>
<b>Saharienne</b>	<b>Ennedi-Ouest</b>	<i>Tamr, Rotab, Bser,</i>	Consommation, commerce	Bouillie, pâtes, la boule, thé, bière	Clôture (maison, hangar et champs), charpenterie, fabrication de (nattes, paniers, corde, éventail, meubles), lits, fourrage	Besoins familiaux, scolarité des enfants, entretien champ, commerce
	<b>Borkou</b>	<i>Tamr, Rotab, Bser</i>	Commerce, consommation, fourrage	Bouillie, pâte	Charpenterie, fourrage, bois de chauffage, clôture (champ, maison et hangar), graine pilée pour nourrir les animaux, fabrication des cordes, des meubles, fabrication de plateaux pour sécher les dattes, tissage de nattes ...	Besoins familiaux, scolarité des enfants, entretien champ, commerce, élevage
<b>Sahélienne</b>	<b>Kanem</b>	<i>Tamr, Rotab, Bser, loulou (verdâtre)</i>	Consommation, commerce, fourrage (pourries)	Pâte, bouillie, bière, liqueur, thé	Clôture (maison, hangar et champ), charpenterie, fabrication des nattes, lits et chaises, armoire, porte lit poulailler, rideaux (store)) bois de chauffage, fourrage. Soin : floraison mâle est utilisée pour soin de diabète.	Besoins familiaux, scolarité des enfants, entretien champ, commerce de bœufs, commerce besoins familiaux



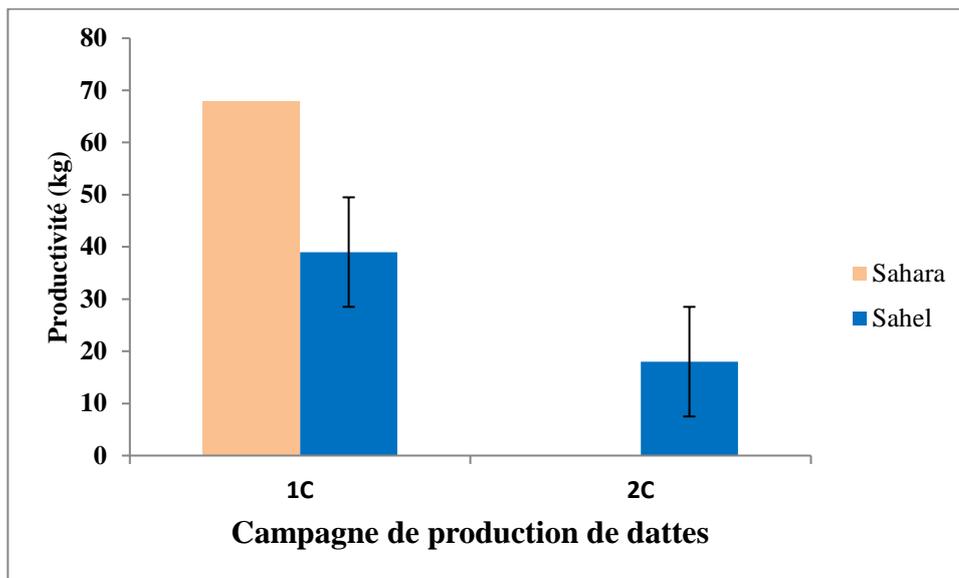
**Fig. 27.** Multiples usages de palmier dattier (a. case à base de palmes et des rachis ; b : palissade de maison ; c : toit d'une maison à base de stipes et des rachis ; d : clôture d'une palmeraie ; e : sacs, paniers et autres ; f : cordes à base de lifs).

### III.1.2.4. Importance socio-économique du palmier dattier

#### III.1.2.4.1. Productivité du palmier dattier

Les périodes de production des fruits sont différentes dans les régions du Sahara et du Sahel. Dans le Sahara, les palmiers dattiers ont une seule campagne de production de dattes qui commence généralement en fin de mois de mai et prend fin en septembre et qui est équivalente à celle rencontrée dans les pays du Maghreb. Dans le Sahel en revanche, les conditions climatiques favorisent deux campagnes de production. La grande campagne de récolte de dattes se situe de mai à septembre et correspond à celle qui a lieu au Sahara. La première période de production coïncide avec la saison sèche, la récolte de dattes ayant lieu entre avril et mai. Au Sahel, 20 % des individus ont une double floraison et connaissent donc deux campagnes de production.

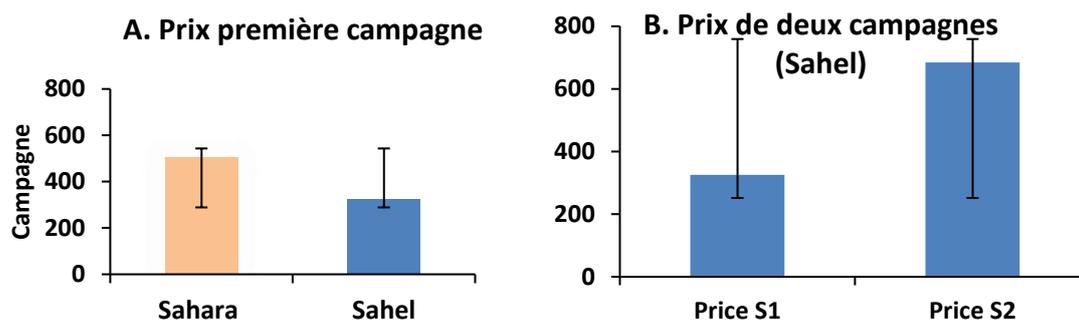
Pour la campagne 2017-2018, la productivité moyenne d'un pied de palmier dattier au Sahara variait de 38 kg/plante (Gouro/Ennedi-Ouest) à 100 kg dans le bassin de Faya/Borkou, avec une moyenne générale de  $68 \pm 19$  kg/plant en raison de 55 kg/plant à l'Ennedi-Ouest et 76 kg/plant dans la province de Borkou (Fig. 28). Au Sahel, la productivité est moins importante, elle se situe entre 19 et 55 kg/plant respectivement dans les villages de Kinintchi et de Djougou (Kanem), avec une moyenne de 39 kg/plant pour la première campagne et 18 kg/plant pour la deuxième campagne (Fig. 28).



**Fig. 28.** Productivité de dattes dans le Sahara et le Sahel. S1 : première campagne de production de fruits ; S2 : deuxième campagne de production.

#### III.1.2.4.2. Prix de vente des dattes

Le prix du kilogramme de dattes dans la zone saharienne varie peu d'un village à l'autre. Il se situe entre 407 F CFA à Gourma (Borkou-Yala) à 633 F CFA (Bourkoua/Ounianga-Kebir), avec un prix moyen de 506 FCFA/kg. Au Sahel, le prix du kilogramme de dattes pendant la première campagne varie entre 198 à 493 FCFA respectivement à Yilgui (Nord-Kanem) et Aïloum 1 (Kanem) et pour la deuxième campagne de production le prix varie de 350 F à 907 FCFA, respectivement à Yilgui et Djougou (Kanem). Le prix moyen d'un kilogramme de dattes est de 326 et 685 FCFA pendant respectivement la première et la deuxième campagne (Fig. 29).



**Fig. 29.** Prix du kilogramme de dattes dans les provinces du Sahara et du Sahel. A : **prix de la première campagne** de production de fruits (Sahara et Sahel) ; B : **prix des deux campagnes** de production de fruits au Sahel ; S1 : première campagne de production ; S2 : deuxième campagne de production

### III.1.3. Caractéristiques moléculaires du palmier dattier

#### III.1.3.1. Polymorphisme des marqueurs microsatellites

La collection de 18 marqueurs microsatellites qui a été utilisée pour analyser la variabilité génétique de 142 individus de palmier dattier du Tchad a permis de détecter un total de 134 allèles. Le nombre d'allèles par locus varie de 1 (PdCUC3-ssr1) à 15 allèles pour le marqueur PdAG1-ssr, avec une moyenne de 7,4. De plus, le nombre de génotypes par locus variait de 1 pour PdCUC3-ssr1 à 40 pour PdAG1-ssr avec une moyenne de 15,9 génotypes par locus.

Une forte variation allélique a été observée entre les locus marqueurs reflétés par des valeurs PIC élevé, allant de 0,000 pour le marqueur PdCUC3-ssr1 à 0,801 pour PdAG1-ssr, avec une valeur moyenne de PIC de 0,525, indiquant le fort potentiel d'informativité des marqueurs SSR utilisés. L'hétérozygotie attendue ( $H_e$ ) variait de 0 pour PdCUC3-ssr1 à 0,770 pour mPdCIR010 avec une moyenne de 0,537 par locus alors que l'hétérozygotie observée ( $H_o$ ) variait de 0 pour le marqueur PdCUC3-ssr1 à 0,838 pour mPdCIR078 avec une moyenne de 0,549 par locus. L'hétérozygotie observée de six loci est inférieure à 0,500 (mPdIRD031, mPdIRD013, PdCUC3-ssr1, mPdIRD033, mPdIRD040 et mPdIRD033). Alors que pour les loci restants, les valeurs de  $H_o$  sont plus de 0,500 indiquant une diversité moyenne à élevée des cultivars étudiés. En effet, des valeurs plus importantes de  $H_o$  comparées aux valeurs de  $H_e$  ont été notées pour tous les marqueurs SSR à l'exception de six loci (mPdIRD031, mPdIRD013, PdCUC3-ssr1, mPdIRD033, mPdIRD040 et mPdIRD033). La fréquence de l'allèle le plus

fréquent (Maf) est observée chez le loci PdCUC3-ssr1 avec 1.000 et le moins fréquent est le loci mPdCIR085 (0,296). La richesse allélique était presque identique pour les sous-groupes avec une moyenne de 2,72 allèles par locus (Tableau XIV).

**Tableau XIV.** Polymorphisme des marqueurs microsatellites

Marqueurs	Nombre d'Allèles (Na)	Nombre de génotypes (Ng)	Maf	PIC	He	Ho	Fis
mPdIRD031	3	6	0,722	0,396	0,388	0,000	1,000
mPdIRD033	4	6	0,796	0,318	0,433	0,433	-0,001
mPdIRD040	5	12	0,532	0,594	0,350	0,374	-0,070
PdCUC3-ssr2	13	27	0,549	0,584	0,572	0,519	0,092
PdAP3-ssr-F4	9	24	0,391	0,731	0,602	0,541	0,102
mPdCIR078	14	27	0,303	0,749	0,747	0,838	-0,121
mPdCIR015	7	18	0,440	0,693	0,742	0,762	-0,027
mPdCIR016	4	10	0,447	0,522	0,699	0,794	-0,137
mPdCIR032	8	17	0,394	0,638	0,567	0,580	-0,023
mPdCIR035	6	12	0,366	0,675	0,674	0,754	-0,118
mPdCIR057	7	10	0,532	0,466	0,658	0,485	0,263
mPdCIR085	10	27	0,296	0,772	0,526	0,564	-0,073
PdAG1-ssr	15	40	0,338	0,801	0,759	0,782	-0,031
mPdCIR010	13	19	0,711	0,455	0,770	0,655	0,149
mPdCIR025	8	18	0,419	0,666	0,439	0,465	-0,058
mPdCIR063	5	10	0,782	0,351	0,690	0,786	-0,139
PdCUC3-ssr1	1	1	1,000	0,000	0,000	0,000	#N/A
mPdIRD013	2	2	0,975	0,047	0,048	0,049	-0,021
<b>Moyenne</b>	<b>7,4</b>	<b>15,9</b>	<b>0,555</b>	<b>0,525</b>	<b>0,537</b>	<b>0,549</b>	<b>0,051</b>

(Na : nombre d'allèles par locus ; Ng : nombre de génotypes par locus ; Maf : fréquence de l'allèle le plus fréquent ; PIC : taux de polymorphisme ; He : taux moyen d'hétérozygotie attendu ; Ho : taux moyen d'hétérozygotie observé ; Fis : indice de fixation).

Le contenu d'information polymorphique (PIC) : c'est le pourcentage des loci polymorphes dans l'échantillon étudié. L'écart à la panmixie (F<sub>is</sub>) variait de -0,139 pour le marqueur mPdCIR063 à 1,000 pour mPdIRD031, avec une moyenne de 0,051 par locus. Des

valeurs Fis significatives ( $p < 0,05$  tableau XIV) n'ont été obtenues que chez six loci (mPdIRD031, mPdCIR057, mPdCIR010, PdAP3-ssr-F4, PdCUC3-ssr2 et PdCUC3-ssr1).

### III.1.3.2. Structure génétique du palmier dattier des six départements

Sur les 142 individus étudiés répartis en six départements, dont quatre départements issus de la zone saharienne et deux départements de la zone sahélienne, le nombre moyen d'allèles par locus variait de 4,00 pour les populations de Ounianga-Kebir à 5,89 pour les populations du département de Mao avec une moyenne de 4,56 allèles par locus pour chaque département. La richesse allélique était presque identique pour les cinq sous-groupes avec une moyenne de 2,72 allèles par locus (Tableau XV).

**Tableau XV.** Diversité génétique du palmier dattier par département

Populations	N	Na	Pa	Ra	He	Ho	Fis
<b>Ounianga Kebir</b>	14	4	3	2,64	0,51	0,47	0,08
<b>Gouro</b>	17	4,42	5	2,86	0,51	0,47	0,08
<b>Kirdimi</b>	21	4,11	1	2,59	0,51	0,47	0,08
<b>Faya</b>	27	4,47	6	2,64	0,50	0,53	-0,06
<b>Noukou</b>	22	4,47	4	2,59	0,51	0,47	0,08
<b>Mao</b>	41	5,89	15	3,00	0,51	0,47	0,08
<b>Moyenne</b>	<b>23,67</b>	<b>4,56</b>	<b>5,6</b>	<b>2,72</b>	<b>0,51</b>	<b>0,47</b>	<b>0,06</b>

(N : nombre d'individus ; Na : nombre d'allèles par locus ; Pa : allèle privé ; Ra : La richesse allélique ; He : taux moyen d'hétérozygotie attendu ; Ho : taux moyen d'hétérozygotie observé ; Fis : indice de fixation (coefficient de consanguinité))

L'hétérozygotie attendue était identique pour cinq départements (0,51) et 0,50 pour le département de Faya. De même pour l'hétérozygotie observée dans cinq départements est de (0,47). Mais dans le département de Faya, cette valeur est de 0,53, avec une moyenne de 0,47. L'indice de fixation (Fis) de tous les six départements était significativement positif ( $Fis > 0$ ). Il est 0,08 pour cinq départements et  $-0,06$  pour le département de Faya, avec une moyenne de 0,6.

L'analyse a permis d'obtenir au total 34 allèles privés sur les 134 allèles. Ils se situent entre 1 allèle pour département de Kirdimi et 15 allèles privés pour Mao. Ce type d'allèles résulte d'un isolement suffisant entre les populations qui aurait permis l'émergence, par

mutation, de nouveaux allèles, sans que ceux-ci soient répartis entre les différentes populations par l'action des flux de gènes.

### III.1.3.2.1. Diversité génétique du palmier dattier par province

Selon le Tableau XVI, la moyenne du nombre d'allèles par locus variait de 4,21 pour les populations de la province de l'Ennedi-Ouest à 5,18 pour celles de la province de Mao. La province du Kanem a enregistré 19 allèles privés, 8 pour Ennedi-Ouest et 7 allèles privés pour la province de Borkou. La richesse allélique était quasiment similaire pour les trois provinces. L'hétérozygotie attendue ( $H_e$ ) était identique pour les trois province (0,51) et l'hétérozygotie observée ( $H_o$ ) était de 0,47 pour Ennedi-Ouest et Kanem, tandis qu'elle était de 0,5 pour la province de Borkou. L'indice de fixation ( $F_{is}$ ) pour toutes les provinces était systématiquement positif ( $F_{is} > 0$ ).

**Tableau XVI** : Diversité génétique du palmier dattier par province

Province	N	Na	Pa	Ra	He	Ho	F <sub>is</sub>
<b>Ennedi-Ouest</b>	31	4,21	8	2,75	0,51	0,47	0,08
<b>Borkou</b>	48	4,29	7	2,62	0,51	0,5	0,01
<b>Kanem</b>	63	5,18	19	2,80	0,51	0,47	0,08

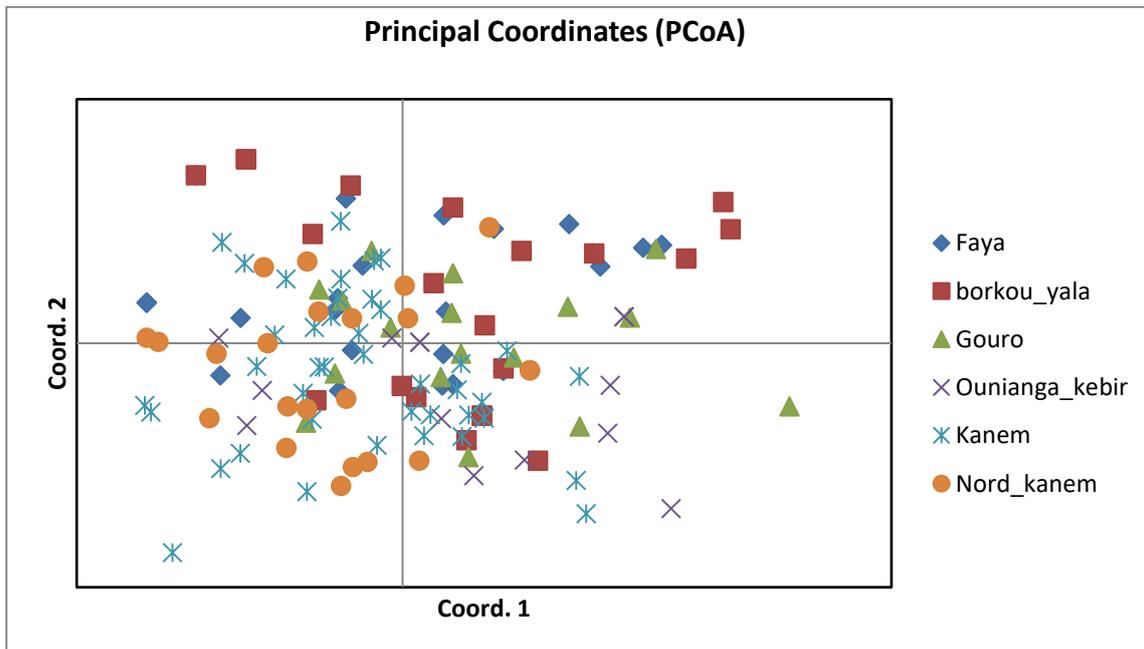
### III.1.3.2.2. Diversité génétique du palmier dattier par zone agroécologique

Le Tableau XVII révèle une diversité génétique entre les deux zones, avec un nombre moyen d'allèles par locus de 4,25 pour la zone saharienne et de 5,18 pour la zone sahélienne. L'hétérozygotie attendue est la même dans les deux zones (0,51), tandis que l'hétérozygotie observée est de 0,49 pour la zone saharienne et de 0,47 pour la zone sahélienne. Les nombres d'allèles privés sont légèrement supérieurs dans la zone sahélienne par rapport à la zone saharienne. La valeur de  $F_{is}$  est significativement positive ( $F_{is} > 0$ ), ce qui suggère que les individus des deux zones ne proviennent pas du même pool génétique.

**Tableau XVII :** Diversité génétique du palmier dattier par zone agroécologique

Zone	N	Na	Pa	Ra	He	Ho	F <sub>is</sub>
Sahara	79	4,25	15	2,68	0,51	0,49	0,04
Sahel	63	5,18	19	2,80	0,51	0,47	0,20

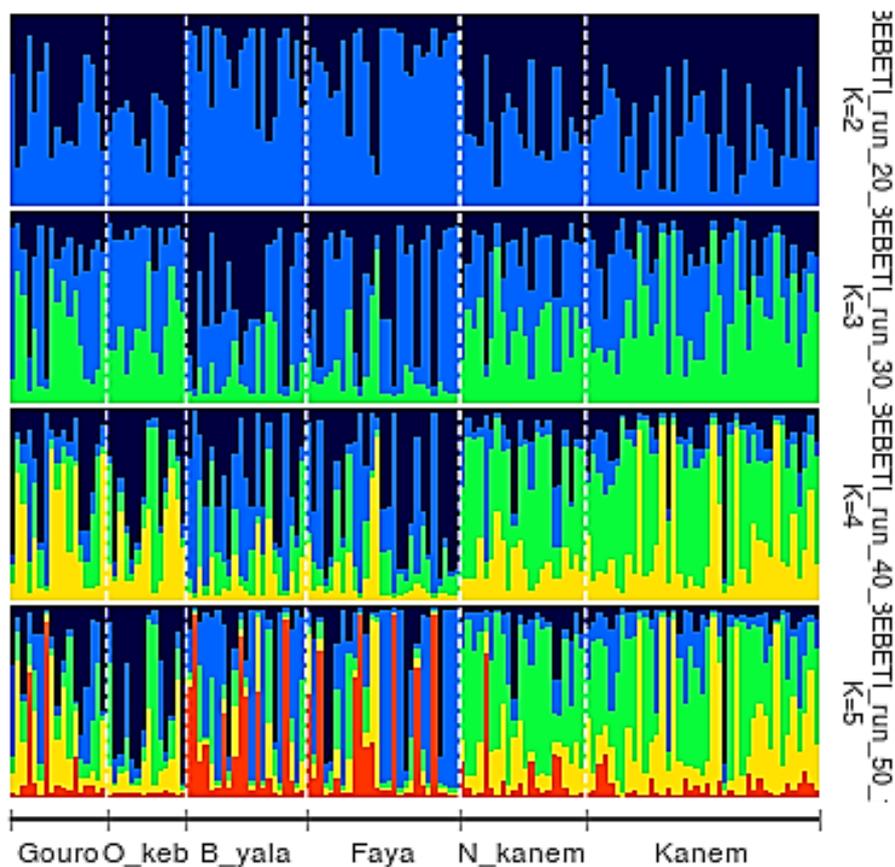
La distribution des variables sur les deux axes 1 (Zone saharienne) et 2 (Zone sahélienne) de la PCoA montre que la configuration des populations du Sahara (Faya, Borkou-Yala, Gouro et Ounianga-Kebir) sont proches et ne sont pas distantes des autres populations du Sahel (Kanem et Nord Kanem) (Fig. 30). Au niveau de l'axe 2, toutes les populations présentent une répartition plus homogène. Ainsi, l'analyse de coordonnées principales (PCoA) de 142 individus a montré une relation génétique entre les six populations (départements), aucun des groupes n'a été distingué a posteriori. Le centre de gravité de ces groupes étaient proches les unes des autres.



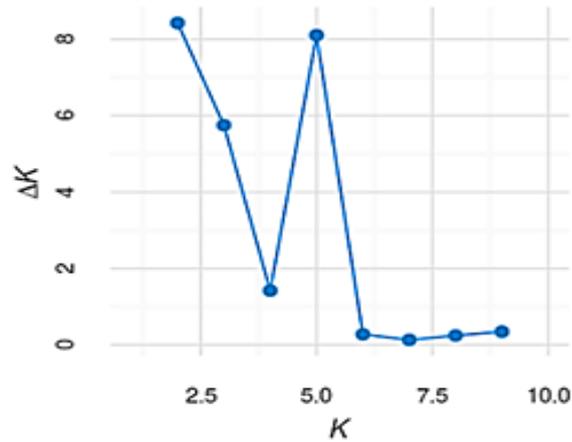
**Fig. 30.** Analyse de coordonnées principales (PCoA) de 142 individus.

### III.1.3.3. Structure des populations

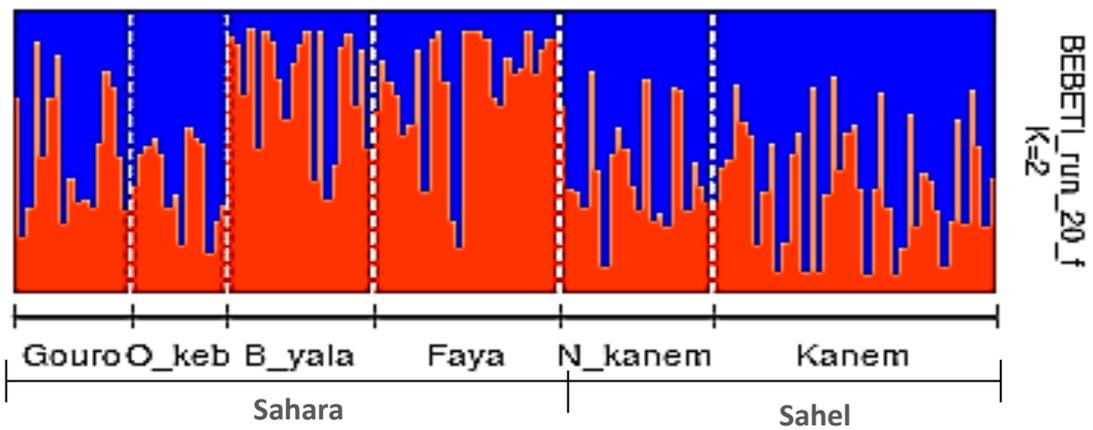
La courbe log-vraisemblance moyenne a atteint une valeur maximale autour de  $K=2$ , la cohérence entre différentes simulations au sein de chaque  $K$  (parmi 10 séries) est évaluée et visualisée à travers le coefficient de similarité (Fig. 31). Le changement du taux de log vraisemblance entre  $K$  valeurs successives ( $\Delta K = 225$ ) a révélé un premier niveau de regroupement à  $K = 2$  au niveau des accessions étudiées (Fig. 32). Les sous-groupes (six départements) n'ont montré aucun regroupement significatif de pools génétiques distincts ( $K = 2$ ), relevant ainsi une très faible structuration au niveau de population (Fig. 33).



**Fig. 31.** Résultats d'approche bayésienne de structure de population inférée pour  $K = 2$  à  $K = 5$  en tant que nombre présumé de sous-populations au sein des échantillons (chaque individu est représenté par une barre verticale ; les groupes de palmiers dattiers sont séparés par des lignes pointillées blanches).

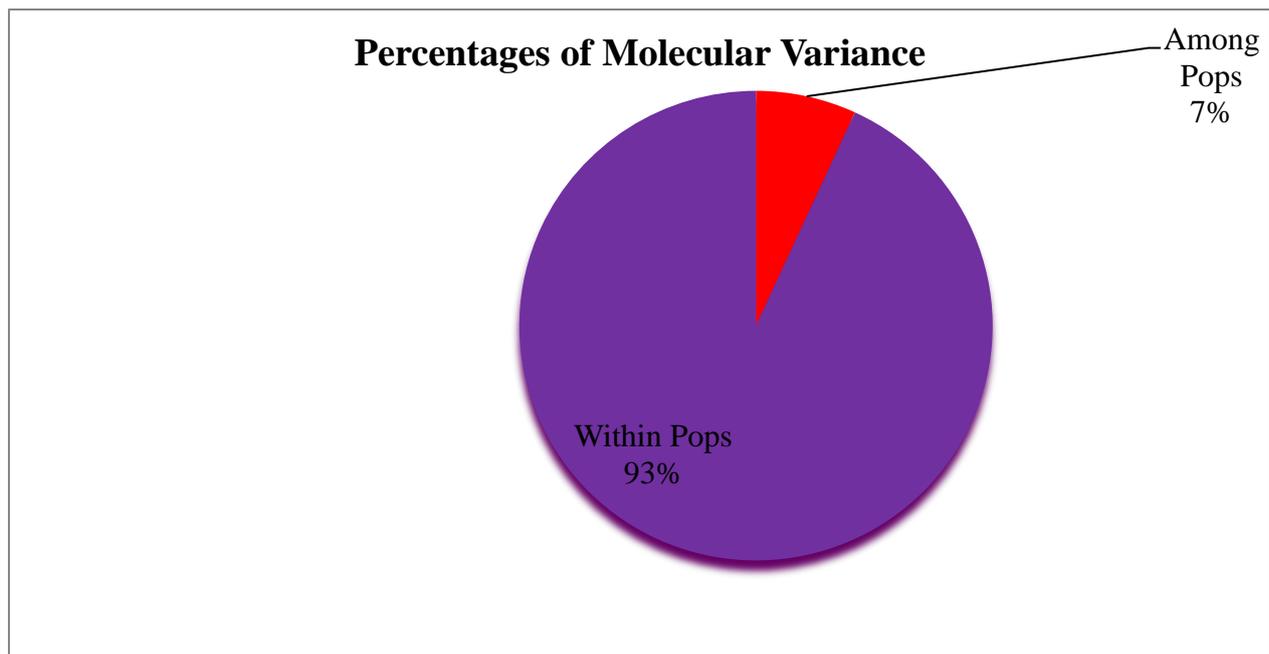


**Fig. 32.** Détermination de la valeur optimale de K,  $\Delta K = 2$  est considéré comme le nombre optimal de sous-populations.



**Fig. 33.** Sous-structuration de la population à  $K = 2$  (chaque couleur représente une sous-population génétique et la longueur de chaque segment coloré représente l'appartenance de chaque structure).

Quant à l'analyse de la variance moléculaire (AMOVA) a relevé une forte variabilité génétique intra populations (93%) et une faible variabilité entre les populations (7 %) S (Fig. 34).



**Fig. 34.** Analyse de la variance moléculaire (AMOVA) des populations.

### III.1.3.4. Origine géographique du palmier dattier du Tchad

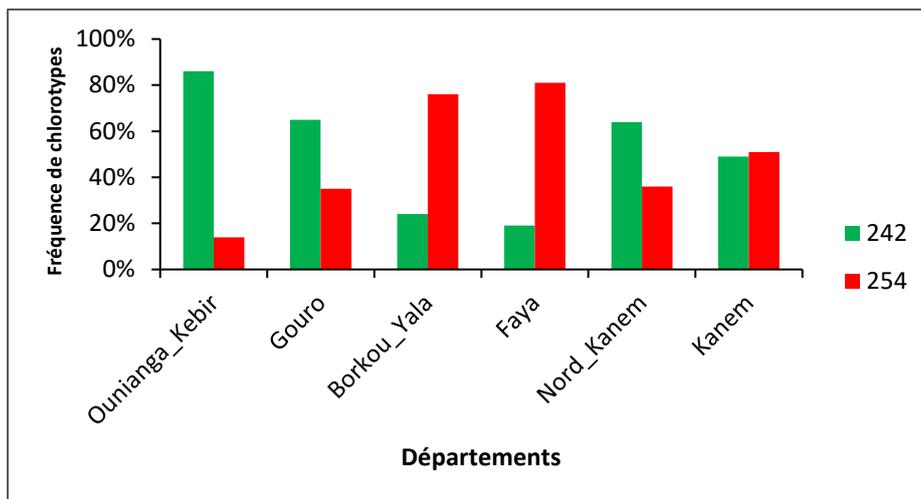
#### III.1.3.4.1. Chlorotypes maternels

Dans les 142 individus du palmier dattier de la zone saharienne et sahélienne du Tchad, les deux marqueurs mini satellites chloroplastique 242 et 254 d'origine maternelles, correspondant respectivement au pool occidental et le pool oriental ont été identifiés (Fig. 35).

Pour la zone saharienne, la fréquence des individus d'origine orientale varie de 14 à 81 % respectivement dans les départements d'Ounianga-Kébir et Faya. Par contre le chlorotype d'origine occidentale se situe entre 19 % à Faya et 86 % à Ounianga-Kébir. Cette variation au sein des populations de la zone saharienne, donne deux origines basées sur les provinces.

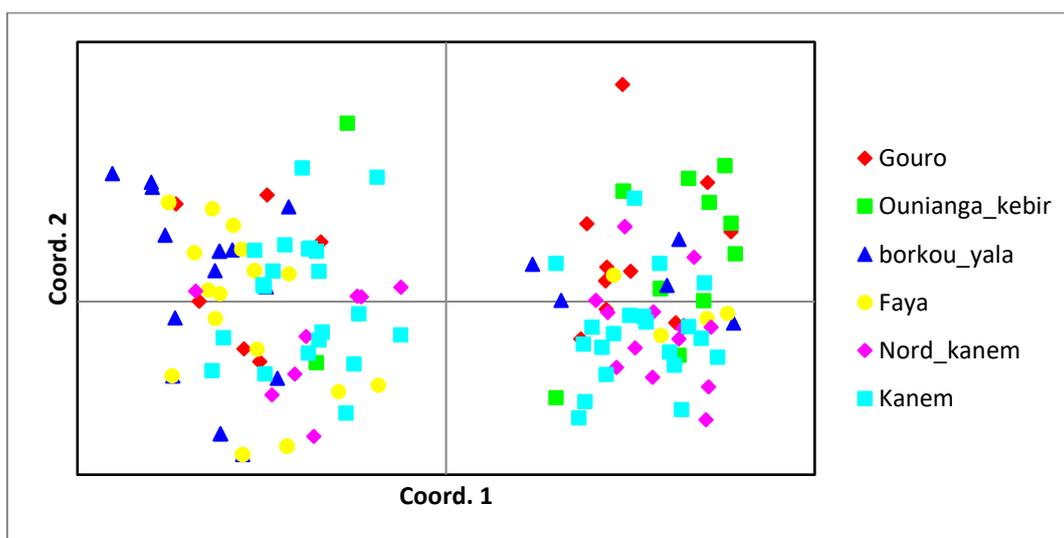
Dans la province de Borkou (départements de Borkou-Yala et Faya), 78,5 % des individus étudiés ont une origine orientale et 21,5 % ont une origine occidentale. Alors qu'au niveau de la province de l'Ennedi-Ouest (Ounianga-Kébir et Gouro), le chlorotype occidental est le plus représenté avec une fréquence de 76 %.

Au niveau de la zone sahélienne, la population d'origine orientale est de 36 % au Nord-Kanem et 51 % dans le département du Kanem. Tandis que le chlorotype occidental est à 49 et 64 % respectivement aux Kanem et Nord-Kanem. La fréquence de deux chlorotypes dans la province du Kanem (Sahel) est hétérogène, 56 % occidentale et 44 % orientale (Fig. 35).



**Fig. 35.** Origine géographique du palmier dattier lignée maternelle (oriental : 254 ; occidental : 242)

Les résultats d'analyse de coordonnées principale de deux chlorotypes montrent une nette séparation de ces deux chlorotypes (Axe 1 oriental et Axe 2 occidental) (Fig. 36).

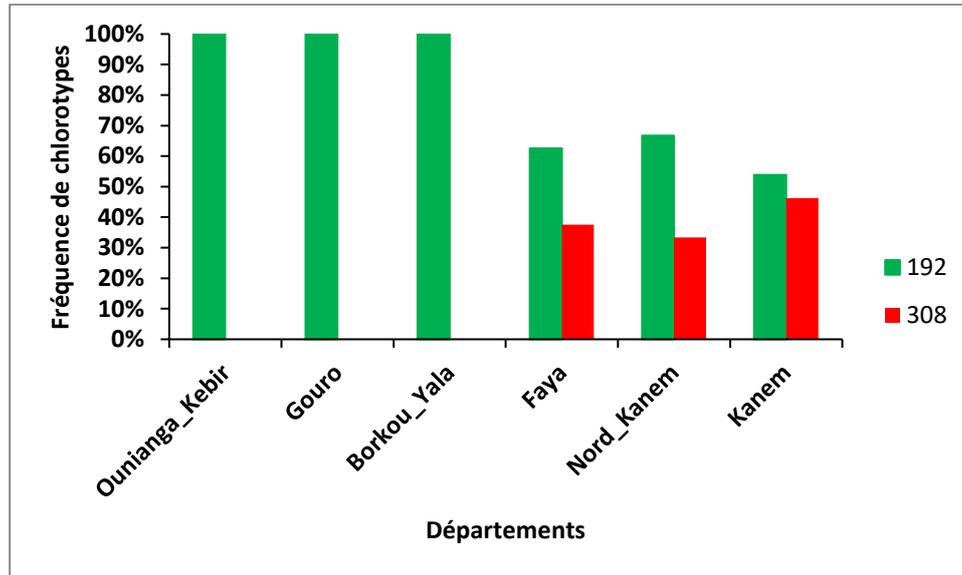


**Fig. 36.** Séparation de deux groupes de chlorotype maternelle

### III.1.3.4.2. Chlorotypes paternels

L'origine géographique des pools génétiques mâle a été identifiée dans les sous-groupes du Tchad, le marqueur 192 occidental et 308 oriental. La fréquence de marqueur occidental se situe entre 62,5 % pour Faya à 100 % aux Borkou-Yala, Gouro et Ounianga-Kébir dans la zone saharienne. Alors qu'au niveau du Sahel, est de 53,8 % au Kanem et 66,7 % au Nord-Kanem. Pour le marqueur oriental (308), il se situe entre 0 % Borkou-Yala, Gouro et Ounianga-Kébir (zone saharienne) à 37,5 % pour le département de Faya. Tandis qu'au Sahel, le Y oriental est

de 33,3 % au Nord-Kanem et 46,2 % pour les individus du département de Kanem (Fig. 37). La distribution de marqueur Y (P80) dans la population du Tchad par rapport aux zones agroécologiques, représente une introgression de marqueur oriental/occidental respectivement 42 % et 58 % dans la zone sahélienne. Alors qu'au Sahara, le marqueur occidental est à 87 % et l' marqueur oriental représente que 13 %.



**Fig. 37.** Origine géographique du palmier dattier lignée paternelle (occidental : 192 ; oriental : 308)

### III.1.4. Perspectives de développement du palmier dattier

#### III.1.4.1. Limites et solutions de la phœniciculture dans la zone saharienne

Les enquêtes réalisées dans les deux zones (Sahara et Sahel), ont permis de mettre en évidence que la phœniciculture est essentielle à la vie des populations et qu'elle est la principale source de revenus dans les zones étudiées. Cependant, plusieurs contraintes limitant la production ont été rapportées par les producteurs.

Dans la zone saharienne, les précipitations sont très faibles, mais une augmentation est observée ces dernières années provoquant ainsi des pluies dans plusieurs localités, notamment dans le département de Kirdimi, causant des dégâts énormes sur les dattes lors du séchage ou en inondant les magasins de stockage. D'autres impacts du changement climatique caractérisés par le retrait de la nappe d'eau et l'ensablement des palmeraies sont aussi fréquents dans les deux zones (Sahara et Sahel). Les ravageurs et maladies du palmier dattier ont un impact sur le rendement en quantité et en qualité.

Les savoir-faire traditionnels des agriculteurs du Sahara semblent satisfaisants par rapport au Sahel, cependant des défis restent à relever. L'apport en eau aux cultures est un élément déterminant qui impacte directement les rendements. Dans la zone saharienne, principalement dans les palmeraies de Faya où l'irrigation est pratiquée, les producteurs relèvent un manque d'approvisionnement en eau qui est dû à l'état de dégradation des systèmes d'irrigation datant de plusieurs décennies et souffrant d'un manque d'entretien. Les difficultés de conservation de dattes molles sont entre autres des facteurs limitant l'évolution de la phœniciculture.

Le défi le plus important pour la gestion du patrimoine du palmier dattier est de limiter les incendies d'origines diverses qui constituent une menace pour la phœniciculture. Aussi, l'exode rural, la faible implication des femmes et des jeunes, et le manque de suivi et d'encadrement des producteurs en matière d'itinéraires techniques, les techniques de production de semences des cultures associées au palmier dattier, d'amélioration de la fertilité des sols, de transformation et de la conservation des fruits constituent non seulement un frein au développement de la filière dattier, mais aussi une menace pour l'agrosystème oasien d'une manière générale (Tableau XVIII).

Face à ces multiples problèmes, de bonnes pratiques culturelles et les meilleures techniques de gestion des oasis doivent être diffusées en milieu paysan non seulement pour la préservation des palmeraies, mais aussi pour améliorer la production. Une gestion durable des ressources génétiques du Tchad doit prendre en compte la conservation *in situ* des ressources génétiques du palmier dattier par la création de nouvelles aires de production de cette espèce pour un développement durable de la phœniciculture.

**Tableau XVIII.** Limites et perspectives d'évolution de la phœniciculture au Sahara

<b>Défis</b>	<b>Problèmes</b>	<b>Solution/atténuation</b>
<b>Défis climatiques</b>	Ensablement	Lutte mécanique et biologique
	Augmentation des précipitations (pertes post-récolte)	- Ensachage des régimes des dattes - Construction de magasins de stockage.
<b>Défis anthropiques</b>	Pratiques culturelles peu performantes	Formation, transfert de savoirs et introduction des nouvelles technologies (ensachage de régime, réduction des inflorescences, ...)
	Vieillesse des palmiers	Extension et création de nouvelles plantations.
	Dégradation des systèmes d'irrigation	Renforcement de système d'irrigation
	Faible maîtrise d'eau	Construction de canal de drainage et une gestion rationnelle d'eau/système goûte à goûte
	Pourriture des dattes molles et semi-molles	Développement des techniques de conservation et de transformation (chaîne de valeur)
<b>Défis gestion des ressources génétiques</b>	Diminution des variétés (Incendie des palmeraies)	Conservation <i>in situ</i> des ressources génétiques du palmier dattier Renouvellement des palmiers
	Absence d'un catalogue national des variétés	Caractérisation des principaux cultivars en vue de leur homologation et leur conservation
<b>Défis ravageurs et bioagresseurs</b>	Maladies et ravageurs (baisse de production)	Lutte intégrée
<b>Défis infrastructurels</b>	Manque de routes d'accès	Construction des routes
	Insuffisance de structures socio-éducatives	Renforcement des structures existantes
<b>Défis démographiques</b>	Exode rural	Renforcement des structures socio-éducatives de base et implication des jeunes.
	Vieillesse des agriculteurs	Investissement des jeunes et des femmes
	Désaffection des jeunes et des femmes	

#### **III.1.4.1. Limites et solutions de la phœniciculture dans la zone sahélienne**

Pour la zone sahélienne du Tchad, où la phœniciculture est plus récente comparée au Sahara, les difficultés sont importantes. L'enquête a permis de discerner plusieurs points faibles au niveau des cuvettes, comme l'identification tardive de sexe de jeunes dattiers issus de semis

graine et par conséquent, le nombre élevé de géniteurs mâles dans les champs, la méconnaissance des pratiques culturales (irrigation, fertilisation, isolement de rejet, etc.), les attaques des fruits, notamment les dattes, par les chauves-souris et une réduction drastique de la superficie des cuvettes, liée en grande partie à l'ensablement. De plus, le changement climatique dans la zone sahélienne a entraîné la réduction des pluies, ce qui a pour conséquence la réduction de la production dans les palmeraies, d'autant que les palmiers dattiers de cette zone ne bénéficient que des eaux des pluies pour leur irrigation (Tableau XIX).

**Tableau XIX.** Limites et solutions pour le développement de la phœniciculture au Sahel

<b>Défis</b>	<b>Problèmes/ limites</b>	<b>Solution/atténuation</b>
<b>Défis climatiques</b>	Diminution des précipitations	Construction de forages
	Ensablement des cuvettes	Lutte mécanique et biologique
<b>Défis anthropiques</b>	Pratiques culturales mal maîtrisées	Formation, transfert de savoir et introduction de nouvelles technologies
	Vieillessement des palmiers	Création de nouvelles plantations.
	Sexage tardif des palmiers	- Sexage moléculaire - multiplication par rejet
	Absence d'irrigation des palmiers	Forages et canal de drainage d'eau
	Insuffisance des pollens lors de la 2e floraison	Mise en place d'un conservatoire de pollens
	Pourriture des dattes due à l'humidité	- Ensachage des régimes des dattes ; - valorisation de la 2 <sup>em</sup> floraison.
<b>Défis gestion des ressources génétiques</b>	Peu de palmiers à double floraison	- Création/sélection de nouvelles variétés - Création de nouvelles palmeraies
	Peu de palmiers à maturation précoce	- Création/sélection de nouvelles variétés ; - Création des nouvelles palmeraies
	Vieillessement des dattiers	Extension des palmeraies
<b>Défis ravageurs et bio-agresseurs</b>	Invasions de chauves-souris	Mise en place d'un programme de lutte
	Maladies	
<b>Défis infrastructureux</b>	Manque de routes d'accès	Construction de routes
	Insuffisance de structures socio-éducatives	Renforcement des structures
<b>Défis démographiques</b>	Exode rural	Renforcement des structures socio-éducatives de base
	Vieillessement des agriculteurs	Investissement des jeunes et des femmes
	Désaffection des jeunes et des femmes	

## **III.2. DISCUSSION**

### **III.2.1. Développement du palmier dattier et conditions édapho-climatiques**

Pendant la période de fructification et de récolte des dattes, le Sahara connaît des conditions marquées par une faible humidité et des températures élevées. Ceci est un climat idéal pour la production de palmier dattier avec une seule campagne de production. Par contre au niveau du Sahel, une forte humidité et une faible température pendant la première campagne de production jouent défavorablement sur la qualité et la quantité de dattes produites. Ce climat favorise une double floraison chez 20 % des individus en deuxième campagne de production). Cette période est caractérisée par un climat sec qui contribue à la production de dattes de qualité supérieure. Cette situation au niveau du Sahel, montre que le pool génétique du palmier dattier représente une très bonne acclimatation (Jahiel, 1996).

Le cycle biologique et de développement annuel du palmier dattier en première campagne de production tant en zone saharienne et sahélienne du Tchad, est presque identique chez les zones phœnicicoles (Maroc, Algérie, Lybie et le Niger) (Sedra, 2003 ; Zango *et al.*, 2016). Cependant, l'étalement de l'activité biologique du palmier dépend des variétés et de l'effet des conditions de l'environnement (Sedra, 2001 ; Sedra, 2003). L'extension et la création de nouvelles aires de palmier dattier au Sahel est possible, car cette zone dispose de conditions favorables (Ambouta, 2006).

Pour les conditions édaphiques du sol, le pH du sol est une mesure de son acidité ou de sa basicité. Les palmiers dattiers prospèrent généralement dans des sols légèrement acides à neutres, avec un pH compris entre 5,7 et 6,5. Tous les types de sols obtenus se situent dans cette plage, ce qui est favorable à la culture des dattiers. Un chaulage s'avère nécessaire pour ramener les pH vers la limite de la neutralité (pH allant de 6 à 6,5) (Anonyme 7, 2009). La conductivité électrique mesure la capacité d'un sol à conduire l'électricité, ce qui est souvent lié à sa teneur en sels dissous. Une conductivité électrique élevée peut indiquer une forte concentration de sels, ce qui peut être problématique pour les plantes si elle est excessive. Les sols avec une conductivité électrique plus élevée peuvent nécessiter une gestion appropriée de l'irrigation pour éviter l'accumulation de sels toxiques. Pour le paramètre conductivité électrique (taux de salinité de sol), les valeurs trouvées après analyses montrent que les palmeraies ne présentent pas de salinité, car les valeurs trouvées sont très inférieures à 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Un apport de matière organique (fumier ou compost) s'avère important pour une améliorer non seulement la teneur

de la matière organique, mais aussi les éléments minéraux de manière générale (Anonyme 7, 2009 ; Anonyme 8, 2010). La teneur en carbone organique et en matière organique est importante pour la fertilité du sol et la rétention d'eau. Cependant, les valeurs obtenues ne varient que légèrement d'un type de sol à l'autre et ne semblent pas être corrélées avec la productivité des palmiers dattiers. Les niveaux d'éléments nutritifs tels que l'azote, le phosphore, le magnésium et le calcium varient considérablement d'un type de sol à l'autre. Ces éléments sont essentiels à la croissance des plantes, et des niveaux adéquats sont nécessaires pour obtenir des rendements optimaux. Par exemple, le phosphore est important pour le développement des racines et des fruits, tandis que le calcium est crucial pour la formation des parois cellulaires et la résistance aux maladies. La présence d'aluminium en traces dans certains sols peut être un facteur limitant, car des niveaux élevés peuvent être toxiques pour les plantes. Les niveaux de phosphore varient considérablement d'un sol à l'autre, ce qui peut avoir un impact sur la croissance et la productivité des palmiers dattiers, car le phosphore est nécessaire à de nombreux processus métaboliques dans la plante. Un apport de matière organique (fumier ou compost) s'avère important pour améliorer non seulement la teneur de la matière organique, mais aussi les éléments minéraux de manière générale (Anonyme 7, 2009 ; Anonyme 8, 2010).

La productivité des palmiers dattiers varie considérablement d'un type de sol à l'autre, ce qui suggère que la qualité du sol peut jouer un rôle important dans le rendement des dattes. Les sols sablo-limoneux et argilo-limoneux présentent les rendements les plus élevés, avec respectivement 68 et 80 kg de dattes par palmier. Les sols limono-sableux et sablo-argileux affichent des rendements relativement faibles, avec seulement 38 et 43 kg de dattes par palmier. Les sols argilo-sableux et limono-argileux présentent des rendements intermédiaires, avec respectivement 68 et 48 kg de dattes par palmier. Alors que par rapport aux deux zones agro-écologiques, le rendement d'un palmier dattier est en moyenne 68 kg/pied dans le Sahara et 39 kg/pied dans le Sahel.

La qualité du sol, mesurée par divers paramètres tels que le pH, la conductivité électrique, la composition organique et les niveaux d'éléments nutritifs, peut avoir une influence significative sur le développement et la productivité des palmiers dattiers. D'autres facteurs peuvent jouer un rôle important dans le développement et de la production de cette espèce. Toutefois, les palmier dattier au Tchad, semble avoir une adaptabilité et un bon développement dans les différents types des sols, sablo-argileux, sablo-limoneux, argilo-

sableux, argilo-limoneux, argilo-sablo-limoneux, limono-sableux et dans les sols limono-argileux.

### **III.2.2. Biodiversité de l'agrosystème oasien**

La présente étude a montré que dans la zone saharienne, il y a une richesse variétale beaucoup plus importante que dans le Sahel. Plus de 200 cultivars au niveau de la zone saharienne et 3 groupes de cultivars basés sur les couleurs de fruits (vert, jaune et rouge) dans la zone sahélienne. Ces résultats sont proches de ceux obtenus par Barkaï en (2010), qui a recensé 149 cultivars dans le Sahara du Tchad (Borkou et l'Ennedi-Ouest). Belguedj en (2002), mention qu'il existe 940 cultivars dans la palmeraie algérienne et Almansoori *et al.* (2015), ont répertorié plus de 100 cultivars au Bahreïn. L'estimation de la diversité variétale pour le palmier dattier dans le monde est de l'ordre de 5 000 cultivars selon Jaradat et Zaid (2004) et 3000 cultivars d'après Johnson (2011). La grande diversité des cultivars de palmier dattier dans le Sahara du Tchad, s'explique par l'aspect ancestral de la culture des dattes dans cette zone (plus de 1000 ans) qui a permis une sélection empirique de variétés au cours du temps et a rendu possible la constitution d'un patrimoine de variétés adaptées aux conditions locales et aux besoins des populations. Le savoir-faire traditionnel des producteurs du Sahara a permis la multiplication clonale des variétés sélectionnées par la culture de rejets favorisant ainsi la conservation et la fixation de leurs caractéristiques transmises ainsi de génération en génération.

Dans la zone sahélienne du Tchad, on trouve principalement trois grands groupes de variétés qui sont multipliées par graines, identifiées par la couleur des fruits, ainsi que d'autres sous-groupes de cultivars moins connus. Cette faible diversité variétale pourrait être due à l'introduction plus récente du palmier dattier dans cette zone (200 à 300 ans). De plus, la nomenclature des cultivars est conservée d'un bassin à l'autre du fait d'une faible diversité ethnique des phœniciculteurs (Kanembou et Gourane). Les pratiques culturelles liées à la culture de cette espèce sont moins maîtrisées par les phœniciculteurs du Kanem (Sahel). La multiplication par graine, non clonale, conduit à une perte potentielle des caractéristiques des variétés sélectionnées. Dans cette région, ce sont donc plutôt des « variétés populations » que de véritables variétés clonales. Ces résultats sont conformes à ceux obtenus au Niger par Jahiel et Candelier (1991), qui ont fait mention de trois cultivars multipliés par graines dans la région du Manga au Niger. En revanche, Zango *et al.*, en 2016 ont répertorié 16 cultivars dans cette région. La particularité dans cette zone est que les cultivars multipliés par graines peuvent avoir plusieurs noms liés à l'ethnie des cultivateurs (Abdoussalam & Pasternak, 2015 ; Zango *et al.*,

2016). Les zones de production des dattes au Tchad sont similaires à celles du Niger, à savoir une zone traditionnelle dans le Sahara et une zone autre marginale dans le Sahel. La multiplication dans la zone traditionnelle du Tchad se fait aujourd'hui uniquement par rejet, contrairement au Niger où elle se fait également par graines (Ahmed *et al.*, 2011 ; Abdoussalam & Pasternak, 2015). Au Sahara, les noms des cultivars sont donnés par les producteurs en langue Têda-Daza/Gourane (Doza), ces noms peuvent avoir deux noms communs basés sur l'accent et la prononciation, comme cela est mentionnée par Tarrieux (1930).

Du Sahara au Sahel, les palmeraies offrent un milieu favorable pour la culture de nombreuses espèces associées au palmier dattier. Ces cultures (maraichères, fruitières et fourragères) sont généralement irriguées sauf pour les cultures saisonnières (Maïs, mil pénicillaire, Sorgho, Blé et Canne à sucre) et les légumineuses (arachide et Niébé) qui sont cultivées au Sahel pendant la saison des pluies. Le maraichage est la culture sous-jacente la plus utilisée dans l'environnement de la palmeraie. Les palmeraies de Faya sont favorisées par la disponibilité de système d'irrigation et la bonne position de ses palmeraies dans la ville. L'arboriculture dans les palmeraies d'Ounianga-Kebir, est plus représentée que dans les autres localités, grâce à la proximité du Lac Ounianga. Ce dernier fournit un approvisionnement en eau de manière régulière aux arbustes. En monoculture (sans culture associée), la production du palmier dattier varie largement de 35 à 100 kg/plante. Lorsqu'il est cultivé en association avec une autre culture (maraichage et arbres fruitiers), sa production est beaucoup plus stable avec des valeurs comprises entre 50 et 65 kg/plante. Cela pourrait s'expliquer par l'entretien apporté par les producteurs et l'irrigation des champs du fait de la présence des cultures sous-jacentes.

Dans la zone saharienne du Tchad, la culture sous-jacente est pratiquée par 91 % des exploitants, contre 71 % au Sahel. Les exploitants de la palmeraie de Ouargla au Sahara d'Algérie pratiquent également les cultures sous-jacentes à 94 % (Faci *et al.*, 2017). La pratique de cultures associées est caractéristique des zones de phœniciculture du Maghreb et fait partie de la conduite et de la valorisation traditionnelles des palmeraies. Cette diversité des cultures permet non seulement de couvrir les besoins alimentaires de la population, mais elle est également une source de revenus complémentaire pour les producteurs. Les produits issus des cultures sous-jacentes sont généralement consommés localement ou vendus dans les marchés environnants. Renard et Tilman (2019) ont aussi démontré que deux facteurs, l'irrigation et l'agrobiodiversité sont déterminants dans la stabilité des systèmes de production.

La comparaison des connaissances et de la maîtrise des techniques culturales mises en œuvre par les producteurs de palmiers dattiers au Tchad fait apparaître une nette différence entre les régions du Sahara et du Sahel. Des pratiques agricoles élaborées sont observées au Sahara, zone traditionnelle de production. En effet, la multiplication par rejet, l'écartement élevé entre les pieds, la pollinisation assistée, l'irrigation et la fertilisation de sols, sont considérés comme des facteurs indispensables à l'amélioration quantitative et qualitative de la production des dattes (Zaid, & Wet, 2002 ; Benziouche & Chehat, 2010). Ces observations sont confirmées par la productivité élevée de palmier dattier dans cette zone qui exclut toute sorte de produits chimiques dans le traitement de palmier dattier et l'absence de maîtrise d'eau d'irrigation dans certaines palmeraies de Borkou. Au niveau du Sahel, seule la pollinisation assistée est pratiquée par les producteurs, tandis que la multiplication par rejet, la fertilisation, l'irrigation et un écartement suffisant entre les pieds de dattiers, ne sont pas pratiqués. De même, l'élagage des épillets de l'inflorescence femelle n'est en revanche pas mis en œuvre par les producteurs ni avant ni après la pollinisation, alors que cette pratique contribue à l'amélioration des rendements. Au Niger, cette technique culturale est beaucoup plus mise en œuvre puisque 96,66 % des producteurs du Sahara et 57,14 % des producteurs du Sahel réduisent le nombre des inflorescences femelles (Ibrahim *et al.*, 2020).

La proportion des pieds femelles par champ dans les régions phœnicicoles (Maghreb et Moyen-Orient) est en moyenne de trois pieds mâles pour 100 pieds femelles (Zaid & Jiménez, 1999). Une proportion élevée de pieds femelles par champ permet l'optimisation de l'utilisation des surfaces cultivées pour la production des fruits. Le faible taux de pieds mâles requiert une pollinisation assistée pour assurer une pollinisation satisfaisante des pieds femelles. Un seul individu mâle permet de polliniser manuellement 50 à 60 individus femelles en plantation (Aberlenc-Bertossi *et al.*, 2010).

Cette étude a permis aussi de déterminer la proportion des pieds femelles qui est de 85 %, au Sahara et de 73 % au Sahel. Ces résultats correspondent au ratio recommandé qui est de 80 % de pieds femelles et 20 % de mâles (Maiga, 2010). Nos résultats sont légèrement différents de ceux obtenus par Zango *et al.*, (2016) dans la région de Manga au Niger qui est de 68 % femelle et 32 % mâle, et largement différents de ceux obtenus par Togo (1997) dans la région de Kidal au Mali, qui a recensé 47 % de femelle.

La fertilisation des sols des palmeraies est pratiquée au Sahara par le *tilli* (engrais naturels), mais dans le Sahel (province du Kanem), elle n'est appliquée que pour améliorer les cultures maraichères. De moindres soins sont donc apportés aux palmiers dattiers, tout comme

dans la région de Ouargla en Algérie, où la fertilisation se fait que dans le but d'amender les sols destinés aux cultures sous-jacentes (Faci *et al.*, 2017). L'écartement entre les pieds au Sahara est en deçà de la norme édictée dans le protocole de la culture de palmier dattier, qui se situe à environ 6 x 6 m (une moyenne de 5,5 m), celui-ci est plus important qu'au Sahel (3 m). Ces résultats sont plus élevés que ceux observés par Aregawi *et al.* (2018), où les 75 % des producteurs de la région de Afar en Éthiopie appliquent un faible écartement de  $\leq 6 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ . La technique de brûlis, qui est utilisée dans le but de nettoyer le champ n'est pas très appliquée par la majorité de producteurs, seulement 33 % au Sahara et 23 % au Sahel. Ces résultats sont équivalents à ceux observés au Niger (16,66 au Sahara et 23 % Sahel) par Ibrahim, *et al.* (2020).

Du Sahara au Sahel, les différents produits et sous-produits issus du palmier dattier sont largement utilisés. En complément des dattes sèches, production principale, ce sont aussi les noyaux et les palmes qui sont utilisés aujourd'hui dans l'alimentation humaine ou animale au niveau local ou sont vendus par l'intermédiaire de commerçants dans la quasi-totalité du pays. La commercialisation se fait grâce à la monnaie locale (FCFA), contrairement à l'époque coloniale où le commerce de dattes se faisait *via* des échanges avec du sucre, des moutons ou des vêtements (Baroin & Prêt, 1993). Dans la région du Sahel, les dattes sont peu transformées comparativement au Sahara, du fait de la forte demande de dattes fraîches. Divers sous-produits artisanaux sont réalisés avec des palmes (paniers, nattes, éventail, meubles rideaux (store)), des stipes (activités charpentes) et du fibrillum/lif (sorte de tissage végétal (cordes) de palmier dattier. Ces usages du palmier dattier sont pratiqués depuis longtemps dans le Sahara, notamment au Borkou (Baroin & Prêt, 1993), comme dans les zones phœnicicoles d'Afrique du Nord et du Moyen-Orient, mais elles sont moins développées dans la région sahélienne.

La zone saharienne avec 2 millions de pieds de palmier dattier fournissant des dattes de bonne qualité représente 97 % de ce revenu. Cependant l'enclavement de cette zone et son éloignement (plus de 1000 Km de la capitale tchadienne), entraînent des coûts élevés pour le transport de la production vers les provinces, les grandes villes et les pays voisins non producteurs de dattes. La zone sahélienne en revanche, ne représente que 3 % de la production totale et fournit des dattes de qualité inférieure, consommée généralement fraîche dans la zone de production ou acheminées à N'Djamena ou vers d'autres villes du pays.

Pendant la première campagne de production qui a lieu entre les mois de mai et septembre, le rendement d'un palmier dattier est en moyenne de 68 kg/pied dans le Sahara et de 39 kg/pied dans le Sahel. Ces rendements sont inférieurs à ceux rapportés par Baroin et Prêt (1993), qui ont estimé le rendement moyen à 100 kg/pied dans des palmeraies entretenues de

Faya dans le Sahara du Tchad dans les années 90. Ses chiffres sont inférieurs aux normes escomptées de la productivité de palmier dattier, qui est de 80 à 100 kg/pied (Benzouche & Chehat, 2010). La faible productivité constatée au Tchad pourrait être due aux effets du changement climatique, vieillissement des palmiers dattiers et aux ennemis de cette espèce.

La zone sahélienne est caractérisée par une deuxième campagne de production de dattes (avril et mai) dont le rendement est faible (18 kg/pied), mais les dattes produites sont de bonne qualité et ont un prix de vente élevé. Cette campagne pourrait faire de la zone sahélienne, une véritable zone phœnicicole en sélectionnant les cultivars qui fructifient à cette période. Les dattes sèches généralement sont vendues par Coro (un bol qui fait environ 2,5 kg). La proportion de dattes vendue est de 76 % au Sahara contre 60 % au Sahel.

Dans cette étude, une évaluation a été faite sur le prix auquel les dattes sont vendues par les producteurs dans la zone de production souvent dans leurs champs. Les dattes molles sont vendues par tas ou régime à un prix exorbitant (presque 50 F/fruit) (Anonyme 9, 2015) dans les zones de production, notamment à Faya (Sahara). Le prix de vente dans les différentes villes varie selon le circuit de grossiste et les commerçants. Par exemple à N'Djamena, le prix varie d'un cultivar à un autre, il se situe entre 1250 à 1700 F/kg. Ce prix est élevé comparé aux prix pratiqués au marché de Boutti au Niger, rapportés par Zango *et al.* (2016) soit 1060 F/kg pour les dattes sèches. Les revenus générés par les activités phœnicicoles couvrent les besoins quotidiens des populations qui sont dans la plupart de cas des exploitants temporaires dans les palmeraies.

### **III.2.3. Diversité génétique du palmier dattier**

La présente étude a permis d'observer une variabilité génétique élevée. Sur les 142 individus de palmier dattier analysés, au total 134 allèles ont été obtenus avec une moyenne de 7,4 allèles par locus. Ce résultat est plus élevé que celui obtenu au Niger par Zango *et al.* (2017) (6,9 allèles), mais faible que celui de Bedjaoui & Benbouza, 2018 en Algérie (15,78 allèles). L'hétérozygotie pour les loci SSRs ( $H_e = 0,555$  et  $H_o = 0,538$ ) est proche de celle obtenue dans d'autres études (Zehdi-Azouzi *et al.*, 2016 ; Zango *et al.*, 2017 ; Bedjaoui & Benbouza, 2018), respectivement en Tunisie, Algérie et Niger, mais reste inférieure à ceux obtenus en Libye par Racchi *et al.* (2014) et au Soudan par Elshibli et Korpelainen (2008). La moyenne de la valeur du contenu de l'information polymorphique (PIC) est élevée (0,525), ce résultat est presque similaire à celui obtenu par Zango *et al.* (2017). Ces résultats montrent une grande diversité génétique dans les populations étudiées. Sur les 134 allèles obtenus sur l'ensemble de la

population, l'analyse a révélé que 34 sont des allèles privés. Le département du Kanem a enregistré 15 allèles privés. Ce groupe semble plus isoler des autres populations. Car plus le nombre d'allèles privés dans une population est élevé plus cette population est isolée des autres. Cela pourrait due au type de multiplication (par semis de graines) obtenues par de dattes introduites d'ailleurs comme cela est mentionné par quelques producteurs. Un faible taux de clones au sein de 142 individus analysés qui est de 0,11 %. Ce résultat montre l'existence du transfert du matériel végétal de la zone saharienne vers les palmeraies du Sahel.

L'analyse de la variance moléculaire (AMOVA) a relevé une forte variabilité génétique intra population (93 %), cette variabilité n'a pas permis d'observer une structuration inter population sur les 18 marqueurs sans les chloroplastiques. Une très faible structuration au niveau de population issue de deux zones agroécologiques nettement différentes. Ces résultats sont différents de ceux obtenues par Zango *et al.*, (2017) sur le palmier du Sud-Est du Niger, qui ont révélé une sous-structuration de population.

L'analyse génétique des accessions du palmier dattier du Tchad a permis de déterminer l'origine géographique. Les pools génétiques de la zone saharienne sont introgressé au niveau de l'origine maternelle, la province de l'Ennedi-Ouest (occident : 75,5 %) et la province de Borkou (origine orientale : 78,5 %). Alors que ceux de la zone sahélienne sont homogènes. Les pools génétiques de Borkou appartiennent aux populations orientales, contrairement aux populations du Niger, du Maroc, de l'Algérie, de l'Égypte, de la Mauritanie et du Soudan qui appartiennent aux pools génétiques occidentales (Pintaud *et al.*, 2013 ; Zehdi-Azouzi *et al.*, 2015 ; Zango *et al.*, 2017).

L'origine paternelle des populations analysées attribue une même introgression des individus orientaux et occidentaux au niveau du Sahel. Alors qu'au Sahara, l'origine des pools génétiques mâles sont presque entièrement occidentale (87 %) et un faible pourcentage pour de pools orientaux. Ces résultats apportent une nouveaUniv. dans les pools génétiques du palmier dattier de l'Afrique du Nord et le Sahel (Niger), qui ont une origine occidentale. Ces résultats suscitent la voie pour mieux comprendre l'origine du palmier dattier au Tchad et ses relations avec les pools génétiques orientales.

#### **III.2.4. Perspectives d'évolution de la culture du palmier dattier au Tchad**

La présente étude a permis de définir des voies d'amélioration et de développement de la phoeniciculture dans la zone saharienne et sahélienne du Tchad. Dans la zone saharienne considérée comme propice à la culture de palmier dattier, les producteurs affichent une volonté

d'étendre et de créer de nouvelles palmeraies et leur besoin de renforcer leurs connaissances en termes de pratiques culturelles. Au niveau de la zone sahélienne, la volonté de créer des palmeraies est également présente chez les producteurs qui souhaitent bénéficier de variétés améliorées de palmier dattier ainsi que de l'introduction de nouvelles technologies agricoles. L'avenir de la phoeniciculture repose donc d'une part sur le renforcement et l'amélioration du secteur, par la mise en place d'un programme de lutte intégrée contre les ennemis des cultures, l'amélioration et la diffusion des bonnes pratiques culturelles et l'organisation de la filière ; et d'autre part, étendre les superficies plantées de palmier dattier bien dans la zone saharienne que sahélienne. Les femmes considérées comme un pilier du développement du monde rural, doivent être fortement impliquées pour un développement durable des activités oasiennes. Le Tchad vient en cinquième position en Afrique en matière d'eaux souterraines, avec un volume compris entre 26 600 et 112 000 km<sup>3</sup> (MacDonald *et al.*, 2012), alors que cette ressource est actuellement très peu exploitée. Le pays possède également un grand potentiel de terres cultivables dans toutes les zones (39 millions d'ha) et 5,6 millions d'ha de terres irrigables, dont 335 000 ha sont facilement irrigables (Anonyme 4, 2013). Malheureusement, seuls environ 3 millions d'ha sont exploités actuellement, dont quelques dizaines seulement destinés à la culture de palmier dattier. Une intention particulière doit prendre en compte la gestion durable de l'eau et sol, la lutte mécanique et biologique contre l'ensablement des oasis et les cuvettes et la reconstruction des palmeraies abandonnées pour une gestion durable de services écosystémiques. La création et le renforcement des services d'appui aux producteurs pour qu'ils puissent assumer pleinement leurs fonctions en matière d'organisation des producteurs, de conseil agricole et d'octroi de crédit. De même, le renforcement des infrastructures socio-éducatives et les infrastructures de base sont aussi importants pour le développement de la zone sahélo-saharienne.

## CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

### CONCLUSION

Cette étude sur l'agrobiodiversité du palmier dattier dans la zone saharienne et sahélienne du Tchad met en évidence le rôle crucial de cette plante dans la vie socioéconomique des agrosystèmes oasiens, en tant que principale source de revenus pour la population locale. Les variations climatiques entre le Sahara et le Sahel ont un impact significatif sur la production de dattes, soulignant l'importance de l'adaptation génétique des plantes aux conditions environnementales locales. Les conditions édapho-climatiques semblent jouer un rôle crucial dans la production oasienne. L'étude confirme la diversité variétale, les pratiques culturelles et les niveaux de développement de l'agrosystème qui varient entre le Sahara et le Sahel au Tchad, influençant ainsi la productivité et les revenus des producteurs de dattes dans ces zones. Elle a permis de recenser plus de 200 cultivars, mettant en évidence un agrosystème oasien traditionnellement plus développé au Sahara, avec des pratiques de transformation et des usages artisanaux plus avancés. Bien que les pratiques culturelles de la phœniciculture soient relativement bien maîtrisées au Sahara, d'autres défis persistent. Cependant, une productivité et des revenus satisfaisants sont générés, répondant aux besoins des producteurs et renforçant les liens sociaux. Il existe également un potentiel d'expansion des palmeraies non seulement au Sahara, mais aussi au Sahel, en dehors de leurs habitats habituels, notamment grâce à l'avantage de la double floraison dans cette zone. Les résultats de l'étude confirment l'hypothèse selon laquelle il existe une diversité génétique significative du palmier dattier au Tchad, sans structuration génétique secondaire claire. Le développement de la culture du palmier dattier dans l'Ennedi-Ouest, le Borkou et le Kanem dépend largement du niveau de compétence des producteurs, le Kanem étant confronté à des défis plus importants. Cette recherche représente une première contribution à l'étude de la diversité génétique et de l'origine géographique du palmier dattier au Tchad. Les résultats soulignent la nécessité d'étendre l'analyse à d'autres provinces, en évaluant également les aspects agromorphologiques et biochimiques de cette espèce et de ses fruits. Enfin, ces informations recueillies ouvrent la voie à l'optimisation des pratiques culturelles pour une utilisation durable et la conservation de l'agrobiodiversité locale du palmier dattier, contribuant ainsi aux Objectifs du Développement Durable, notamment en éliminant la pauvreté et la faim, assurant la sécurité alimentaire et promouvant une agriculture durable.

## RECOMMANDATIONS

Il est impératif que l'État tchadien et ses partenaires impliqués dans le développement rural accordent une priorité à la valorisation de l'agrobiodiversité du palmier dattier et de l'agrosystème oasien dans son ensemble. En améliorant les connaissances sur les pratiques culturelles et en renforçant les infrastructures, la promotion de la culture des dattes générera des emplois, ce qui contribuera à retenir les jeunes et les femmes et à lutter contre l'exode rural et la migration. Le maintien et le renforcement des connaissances traditionnelles des agriculteurs favorisent une gestion efficace et une conservation durable du patrimoine génétique. Il est donc essentiel de collecter et de conserver in situ les pools génétiques du palmier dattier.

## PERSPECTIVES

À la fin de cette étude, plusieurs pistes d'action pour l'avenir ont été dévoilées. Il pourrait ainsi être envisagé :

- ❖ d'étendre cette recherche sur l'agrobiodiversité dans la province de Tibesti et d'autres zones de production du palmier dattier au Tchad afin de compléter les données existantes sur ce sujet ;
- ❖ d'entreprendre une étude de caractérisation agro-morphologique, biochimique et moléculaire des principaux cultivars du palmier dattier dans le Sahara afin d'approfondir notre compréhension de la diversité génétique ;
- ❖ d'identifier et sélectionner des cultivars précoces et à double floraison du palmier dattier dans la zone sahélienne pour anticiper les défis climatiques à venir et renforcer la résilience de la phœniciculture au Tchad ;
- ❖ de cartographier les palmeraies existantes et les zones propices à l'expansion (Sahara et Sahel) et soutenir la création de nouvelles palmeraies afin d'accroître la production et promouvoir un développement durable de la phœniciculture.

# **BIBLIOGRAPHIE**

## BIBLIOGRAPHIE

- Abdoussalam, S. & Pasternak D., 2015. Date Palm Status and Perspective in Niger. In: Al-Khayri, J.M., Jain, S.M. and Johnson, D.V., Eds., Date Palm Genetic Resources and Utilization. *Springer Netherlands*, Dordrecht, 387-409.
- Aberlenc-Bertossi, F., Castillo, K., Tranchant-Dubreuil, C., Chérif, E., Ballardini, M., Abdoukader, S. & Pintaud, J. C., 2014. In Silico Mining of Microsatellites in Coding Sequences of the Date Palm (Arecaceae) Genome, Characterization, and Transferability. *Appli. in Pla. Sci.*, 2(1) : 1-5.
- Aberlenc-Bertoussi F., 2010. *Biotechnologies du palmier dattier*, actes du 3e séminaire du réseau. *AUF-BIOVEG, IRD*, Paris, 18-20 novembre 2008, 264 p.
- Abo-El-Nil, M., Al-Ghamdi A. S., & Turjoman A., 1986. Role of tissue culture in propagation and genetic tree improvement of date palm. A perspective review. Proceedings of the Second Symposium on Date Palm. In Saudi Arabia, March 3-6. Date Palm Research Center. *King Faisal University*. pp. 1-27.
- Adam H., Marguerettaz M., Qadri R., Adroher B., Richaud F., Collin M., Thuillet A. C., Vigouroux Y., Laufs P., Tregear J. W., Jouannic S., 2010. Divergent expression patterns of miR164 and CUP-SHAPED COTYLEDON genes in palms and other Monocots: Implication for the evolution of meristem function in Angiosperms. *Molec. Biolo. And Evolut.*, 28: 1439-1454.
- Ahmed J., Al-Jasass F. M. & Siddiq M., 2014. Date fruit composition and nutrition. Dates: Postharvest Science, Processing Technology and Health Benefits. *John Wiley & Sons*, 261-283.
- 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 (*Phoenix dactylifera* L.) Cultivars. *Sci. Hor. – cul.*, 127: 367-371.
- Ahmed T.A. & Al-Qaradawi A., 2009. Molecular phylogeny of Qatari date palm genotypes using simple sequence repeats markers. *Biote.*, 8: 126–131.
- Alahyane A., Elateri I., Alahyane H., Ayour J. Meddich A., Ait-Oubahou A., Benichou M., Elfatihi M., 2022. Assessment of Phenotypic Diversity of Some Local Moroccan Date Palm Varieties and Clones (*Phoenix dactylifera* L.) from the Zagora Region, Southern Morocco. *Jord. Jour. of Biol. Sci.*, (15): 4: 671-678.

- Al-Dous E. M., George B., Al-Mahmoud M. E., Al-Jaber M. Y., Wang H., Salameh Y. M., Al-Azwani E. M., Chaluvadi S., Pontaroli A. C., DeBarry J., Arondel V., Ohlrogge J., Saie I. J., Suliman-Elmeer K. M., Bennetzen J. L., Kruegger R. R. & Malek J. A., 2011. De novo genome sequencing and comparative genomics of date palm (*Phoenix dactylifera*). *Nat. Biotechnol.*, 29 : 521-527.
- Alexandre D. Y. & Ouedraogo S., 1993. Variations de la morphologie racinaire de *Faidherbia albida* en relation avec le sol et effets agronomiques de l'arbre dans les zones tropicales semi-arides d'Afrique de l'Ouest, Niamey, Niger, 107–110.
- Al-Farsi M. & Lee C. Y., 2008. Nutritional and Functional Properties of Dates: A Review. *Cri. Rev. in Food Sci. and Nut.*, 48 (10): 877-887.
- Al-Jibouri A. A. M. & Adham K. M., 1990. Biochemical classification of date palm male cultivars. *Jour.of Hort. Sci.*, 65 (6) : 725-729.
- Al-Khalifah N.S. & Askari E., 2003. Molecular phylogeny of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cultivars from Saudi Arabia by DNA fingerprinting. *Theo. Appl. Genet.*, 107: 1266-1270.
- Al-khayri J. M., 2001. Optimization of biotin and thiamine requirements for somatic embryogenesis of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) *In vitro* Cellular & Developmental. *Biol.ogy- Plant*, 37: 453-456.
- Allaith A. A. A., 2008. Antioxidant activity of Bahraini date palm (*Phaenix dactylifera* L.) fruit of various cultivars. *Inter. Jour. of Food Sci. & Techn.*, 43(6): 1033-1040.
- Almansoori T. A., Al-Khalifa M. A. & Abdulaziz M. A., 2015. Date Palm Status and Perspective in Bahrain, Chapter 11. Springer Science+Business Media Dordrecht. Date Palm Genetic Resources and Utilization. *Asia and Europe.*, 2: 353-386.
- Al-Mssallem I. S., Hu S., Zhang X., Lin Q., Liu W., Tan J., Yu X., Lui J., Pan L., Zhang T., Yin Y., Xin C., Wu H., Zhang G., Ba Abdullah M. M., Huang D., Fang Y., Alnakhli Y. O., Jia S., Yin A., Alhuzimi E. M., Alsaihati B. A., Al-Owayyed S. A., Zhao D., Zhang S., Al-Otaibi N. A., Sun G., Majrachi M. A., Li F., Tala, Wang J., Yun Q., Alnassar N. A., Wang L., Yang M., Al-Jelaify R. F., Liu K., Gao S., Chen K., Alkhaldi S. R., Liu G., Zhang M., Guo H. & Yu J., 2013. Genome sequence of the date palm *Phoenix dactylifera* L. *Nature Commu.*, 4: 2274.

- 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 psbAtrnH. *Intern. Jour. of Molec. Sci.*, 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. *Pla. Gene. Resou.*, 6(1) : 70-72.
- Ambouta K., 2006. Caractérisation des cuvettes et bas-fonds et possibilité d'exploitation agricole et de valorisation dans la zone d'intervention du projet de lutte contre l'ensablement des cuvettes oasiennes dans les départements de Gouré et de Maïné-Soroa. Edit. Pleco, rapport, Gouré et Maïné, Niger, 53 p.
- Anderson V. L., Slangar W. D., Boyles S. L. & Berg P. T., 1993. Crambe mea lis equivalent to soybean meal for backgrounding and finishing beef steers. *Jorn. Anim. Sci.*, 71(10) : 2608-2613.
- Anonyme 1, 2017. Plan National de Développement (Tchad) : 2017-2021. Ministère de l'Economie et de la Planification du Développement, PNUD, BP 906, N'Djamena, 125p.
- Anonyme 2, 2024. Crop Production 2020 des cultures. Statistics Division, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAOSTAT), consulté le 08 avril 2024. <https://www.fao.org/faostat/fr/?data/QC/visualize#data/QCL>.
- Anonyme 3, 2009. 4e Rapport National sur la Diversité Biologique. Ministère de l'Environnement et des Ressources Halieutiques, République du Tchad, N'Djamena, 81 p.
- Anonyme 4, 2013. Plan quinquennal de développement de l'agriculture au Tchad- document principal. Ministère de l'Agriculture et de l'Irrigation, FAO, 58p.
- Anonyme 5, 2019. Extrait de base de données climatiques du Nord et du Centre (Paramètres météorologiques relatifs à la période 1990 -2018), Agence Nationale de métrologie de Tchad (ANAM), Fiche de relevés climatiques-ANAM, 9 p.
- Anonyme 6, 2012. Méthodes d'analyses de Laboratoire d'Analyse de Sols-Eaux-Plants. LASEP-ITRAD, 180 p.

- Anonyme 7, 2009. Référentiel pédologique 2008. Association française pour l'étude du sol..., Denis Baize, Michel-Claude Girard, coordinateurs Éditions Quæ RD 10, ISBN : 978-2-7592-0186-0, Versailles, France, 435 p.,
- Anonyme 8, 2010. Pédologie. BING-F-302, version 2010. Th. DROUET. 81 p.
- Anonyme 9, 2015. Rapport d'étude de faisabilité du renforcement des chaînes de valeurs natron et dattes au Tchad. Cadre intégré renforcé, Etat tchadien, UNIDO., 92 p.
- Aregawi L., Melkamu A., & Mossa E., 2018. Date Palm Production Practices and Constraints in the Value Chain in Afar Regional State, Ethiopia. *Adv. in Agri.*, 1-10.
- Barkaï M., 2010. Inventaire de cultivars du palmier dattier du Borkou et de l'Ennedi-Ouest. Copération Suisse, N'Djamena, 165 p.
- Baroin C. & Prêt P. F., 1993. Le palmier du Borkou, végétal social total. *Jour. des afric.*, 63(1): 5-20.
- Barrow S. C., 1998. A monograph of phoenix L. (palmae: Coryphoideae). *Kew Bulletin*, 513-575.
- Battesti V., 2012. The Saharan oasis put to the test of its landscape, The Jerid in Virginie Lefebvre & Aziza Chaouni (eds). Desert tourism, Tracing the fragile edges of development. Cambridge, M. A., Harvard University, GSD: 104-117.
- Bedjaoui H. & Benbouza H., 2018. Assessment of phenotypic diversity of local Algerian date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cultivars. *Jour. of the Saudi Soci. of Agri. Sci.*, 19 (1): 65-75.
- Belguedj M., 2002. Les ressources génétiques du palmier dattier, caractéristiques des cultivars de dattiers dans les palmeraies du Sud-Est Algérien. Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie. 1, 289 p.
- Ben Abdellah A., 1990. La phœniciculture. In : Séminaires Méditerranéens : Les systèmes agricoles oasiens. Dollé V. & Toutain G. (Eds). CIHEAM, Montpellier, Série A (11 ): 105-120.
- Ben Salah, M., 2015. Date Palm Status and Perspective in Sub-Saharan African Countries. In: J. M. Al-Khayri, S. Jain, & D. Johnson (Eds.). *Date Palm Genetic Resources and Utilization*. Cincinnati: 369-386.

- Benchelah, A. C. & Maka M., 2006. Les dattes, de la préhistoire à nos jours. *Phytothérapie*, 4 (1) : 43–47.
- Benkadi S., 2013. *Le savoir-faire traditionnel dans le domaine de l'utilisation des produits de palmier dattier (Phoenix dactylifera L.) (Cas de la région de Ouargla)*. Diplôme d'Ingénieur d'Etat, Université Kasdi Merbah, Ouargla, 106 p.
- Bennaceur M., Lanaud C., Chevalier M. H. & Bounaga N., 1991. Genetic diversity of the date palm (*Phoenix dactylifera* L.) from Algeria revealed by enzyme markers. *Plant Breeding*, 107 : 56-57.
- Benziouche S. E. & Chehat F., 2010. La Conduite du Palmier Dattier Dans les Palmeraies des Zibans (Algérie) Quelques éléments d'analyse. *Euro. Jour. of Sci. Res.*, 42 (4) : .644-660.
- Bilotte N., Marseillac N., Brottier P., Noyer J. L., Jacquemound-Collet J. P., Moreau C., Couvreur T., Chevalier M. H., Pintaud J. C. & Risterucci A. M., 2004. Nuclear microsatellite markers for the date palm (*Phoenix dactylifera* L.): characterization and utility across the genus *Phoenix* and in other palm genera. *Mole. Ecolo. Not.*, 4: 256-258.
- Botstein D., White, White R. L., Skolnick M. & Davis R., 1980. Construction of a genetic linkage map in man using restriction fragment length polymorphisms. *Am. J. Hum. Genet.*, 32 (3) : 314-331.
- Boucherba N., 2015. *Valorisation des résidus agro-industriels*. Diplôme de Master, Université Abderrahmane Mira de Béjaïa, 73 p.
- Bouguedoura N., 1979. *Contribution à la connaissance du palmier dattier Phoenix dactylifera L'étude des productions axillaires*. Thèse de Doctorat Troisième Cycle, USTHB, Alger, 64p.
- Bouguedoura N., 1980. Morphologie et ontogenèse des productions axillaires du palmier dattier, *Phœnix dactylifera* L. *C. R. Acad. Sc. Paris*, Série D, 291 : 857-860.
- Bouguedoura N., 1991. *Connaissance de la morphogenèse du palmier dattier (Phoenix dactylifera L.). Etude in situ et in vitro du développement morphogénétique des appareils végétatif et reproducteur*. Thèse de doctorat d'Etat, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene (USTHB) d'Alger, 201 p.
- Bouguedoura N., 2012. Le palmier dattier : développement morphologique des appareils végétatifs et reproducteurs. Ed. Universitaire Européenne, 180 p.

- Bourgis F., Kilaru A., Cao X., Ngando-Ebongue G. F., Drira N., Ohlrogge J. B. & Arondel V., 2011. Comparative transcriptome and metabolite analysis of oil palm and date palm mesocarp that differ dramatically in carbon partitioning. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 108 (30) : 12527-12532.
- Castellana R., 1998. Culture, introduction et diffusion de plantes à usages rituels en Méditerranée occidentale. *In* : Actes des quatrièmees journées universitaires corses de Nice. Centre d'études corses de Nice. Nice, 176 p.
- Chandler W. H., 1958. Evergreen orchards, 2nd. Lea and Fibiger, Philadelphia, PA p. 205-228.
- Chao C. T., & Krueger R. R., 2007. The date palm (*Phoenix dactylifera* L.): overview of biology, uses, and cultivation. *Hort. Sci.*, 42 (5): 1077-1082.
- Cherif E., Zehdi S., Castillo K., Chabrillange N., Abdoukader S., Pintaud J.-C. & Aberlenc-Bertossi F., 2013. 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 Phytolo.*, 197(2) : 409-415.
- Chevalier A., 1930. Les Dattiers de l'Afrique Occidentale et de l'Afrique Équatoriale Françaises. *In* : *Revue de botan. Appli. et d'agricu. Colon.*, 110 (110) : 807-810.
- Chowdhury M. S. H., Halim M. A., Haque F. & Koike M., 2008. Traditionnal utilisation of wild date palm (*Phoenix sylvestris*) in rural bangladesh: an approach to sustainable biodiversity management. *Jour. of For. Rese.*, 19 (3): 245-251.
- Cornicquel B. & Mercier L., 1996. Identification of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cultivars by RFLP: partial characterization of a cDNA probe that contains a sequence encoding for a zinc finger motif. *Intern. Jour. of Plant Sci.*, 158: 152-156.
- 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 *Phaenix dactylifera*. *Annals of Botany*, 106(2): 255-266.
- Dawson V. H. W., 1982. Date production and protection with special reference to North Africa and the Near East. *FAO Technical Bull*, No. 35: 294 p.
- De Mason D. A., Stolte K. W., Tisserat B., 1982. Floral development in *Phoenix dactylifera*. *Cana. Jour. of Bota.*, 60: 1439-1446.

- De Meeûs T., 2012. *Initiation à la génétique des populations naturelles Application aux parasites et à leurs vecteurs*. Institut de recherche pour le développement. Collection Marseille, IRD Éditions, 338 p.
- De Riek J. Calsyn E., Everaert L., Van Bockstaele E. & De Loose M., 2001. AFLP based alternatives for the assessment of Distinctness, Uniformity and Stability of sugar beet varieties. *Theoret. and Appl. Geneti.*, 103 :1254-1265.
- De Vienne D., 1998. *Biotechnologies végétales. Les marqueurs moléculaires et leurs applications*. CNED,. Paris,. 118 p.
- 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. ISBN :9781842461822, 732 p.
- Drira N. & Benbadis A., 1985. Multiplication végétative du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) par réversion, en culture *in vitro*, d'ébauches florales de pieds femelles adultes. *Jor. Plant Physi.*, 119: 227-235.
- Elshibli S. & Korpelainen H., 2008. Microsatellite markers reveal high genetic diversity in date palm (*Phoenix dactylifera* L.) germplasm from Sudan. *Genetica*, 134: 251-260.
- El-Sohaimy S. A. & Hafez E. E., 2010. Biochemical and nutritional characterizations of date palm fruits (*Phoenix dactylifera* L.). *Jour. Appl. Sci. Res.*, 6: 1060-1067.
- Essa M., Braidy 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. *Jour. of Ayu. and Integ. Medi.*, 6 (2): 111-120.
- Evanno G., Regnaut S. & Goudet J., 2005. Detecting the number of clusters of individuals using the software Structure: A simulation study. *Molec. Ecolo.*, 14 (8) : 2611-2620.
- Excoffier L., Smoise P. E. & Quattro J. M., 1992. Analysis of molecular variance inferred from metric distances among DNA marqueur s: application to human mitochondrial DNA restriction data. *Genetics*, 131 (2) : 479-491.
- Faci M., Babahani S. & Senoussi A., 2017. Diagnostic des pratiques culturales dans l'agrosystème phœnicicole (Cas de la région de Ouargla). *Jour. Alg. des Rég. Arid.*, 14 : 10-24.

- Felsenstein J., 1989. PHYLIP: Phylogeny Inference Package (Version 3.2). *Cladistics*, 5: 164-166.
- Ferry M., 2001. Le palmier dattier et les systèmes de production en zones arides, recherche et expérimentation à Elche (Espagne), *INRA, mensuel* n° 110.
- Ferry M., Bouguedoura N. & Hadrami I., 1998. Patrimoine génétique et techniques de propagation *in vitro* pour le développement du palmier dattier. *Sécheresse*, 9 (2): 139-146.
- Fki L., Masmoudi R., Drira N. & Rival A., 2003. An optimised protocol for plant regeneration from embryogenic suspension cultures of date palm, *Phoenix dactylifera* L., cv. Deglet Nour. *Plant Cell. Rep.*, 21: 517-524.
- Goldstein D. B. & Schlötterer C., 1999. Microsatellites: Evolution and applications. *Genet. Res., Camb.*, 75: 123-125.
- Govaerts R. & Dransfield J., 2005. *World checklist of palms*. Kew, Royal Botanic Gardens, UK, 240 p.
- Greuter W., 1967. Beiträge zur Flora der Südägäis 8-9. *Bauhinia*, 3 (2) : 243-250.
- Gros-Balthazard M., 2013. Hybridization in the genus *Phoenix*: A review. *Emir. Jour. Food Agric.*, 25 (11) : 831-842.
- Gros-Balthazard M., Newton C., Ivorra S., Tengberg M., Pintaud J.-C., & Terral J.-F., 2013. Origines et domestication du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.). *Revue d'ethnoécologie*, 4 : 1-15.
- Guo S. W. & Thompson E. A., 1992. Performing the exact test of Hardy-Weinberg proportion for multiple alleles. *Biometrics*, 48: 361-372.
- Habib H. M. & Ibrahim W. H., 2009. Nutritional quality evaluation of eighteen date pit varieties. *Inter. Jour. of Food Sci. and Nutri.*, 60 (1): 99-111.
- Hardy G. H., 1908. Mendelian proportions in a mixed population. *Science, N. S.*, 208: 49-50.
- Hardy O. J. & Vekemans X., 1999. Isolation by distance in a continuous population: reconciliation between spatial autocorrelation analysis and population genetics models. *Heredity*, 83: 145-154.
- Hardy O. J., Charbonnel N., Fréville H. & Heuertz M., 2003. Microsatellites allele sizes: a simple test to assess their significance on genetic differentiation. *Genetics*, 163: 1467-1482.

- Hazzouri K. M., Flowers J. M., Hendrik J. V., Khierallah H. S. M., Rosas U., Pham G. M., Meyer R. S., Johansen C. K., Zoe" A. F., Masmoudi K., Haider N., El Kadri N., Idaghdour Y., Malek J. M., Thirkill D., Markhand G. S., Krueger R. R., Zaid A. & Purugganan M. D., 2015. Whole genome re-sequencing of date palms yields insights into diversification of a fruit tree crop. *Nature Commun.*, 6: 8824.
- Helentjaris T., King G., Slocum M., Sidenstrang C. & Wegman S., 1985. Restriction fragment length polymorphism as probes for plant diversity and their development as tools for applied plant breeding. *Plant Mol. Bio.*, 5: 109-118.
- Henderson S. A., Billotte N. & Pintaud J. C., 2006. Genetic isolation of Cape Verde Island *Phoenix atlantica* (Arecaceae) revealed by microsatellite markers. *Conser. Gene.*, 7 (2): 213-223.
- Houssni M., El Mahroussi M., Kassout J., Ben Sbih H., Kadiri M. and Ater M., 2022. Pratiques traditionnelles et valorisation des dattes par des produits de terroir : Cas du sirop de dattes dans les oasis du Sud du Maro. *Intern. Jour. of Innov. and Applied Studies*: 36 (3): 678-690.
- Ibrahim M. L., Zango O., Inoussa M. M., Rafiou A., Abba Mahmoud O. H., Chabrillange N., Aberlenc-Bertoss F. & Bakasso Y., 2020. Impact of Cultural Practice, Socio-economic Level and Environment on the Profitability of the Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) in Niger (West Africa). *Asian Jour. of Rese. in Agri. and Fores.*, 5(3): 42-52.
- Jahiel M. & Candelier P., 1991. Le palmier dattier dans le Sud-Est du Niger (cas des cuvettes de Maine-Soroa). *Fruits*, 46 : 83-92.
- 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 Ecologie, Université de Montpellier 2, INRAN-Niger et CIRAD-Flhor, 268 p.
- Jain S. M., Al-khayri, J. M. & Johnson D. V., 2011. *Date palm biotechnology*. Dordrecht: Springer, Berlin, 743 p.
- Jaradat A. A. & Zaid A., 2004. Quality traits of date palm fruits in a center of origin and center of diversity. *Jour. of Food Agric. And Envi.*, 2: 208-217.
- Jaradat A. A., 2014. Synthesis and assessment of date palm genetic diversity studies. *Emira. Jour. of Food and Agricu.*, 26 (11): 934-952.

- Jeffreys A.J., Wilson V. & Thein S.L., 1985. Hypervariable 'minisatellite' regions in human DNA. *Nature*, 314: 67-73.
- Johnson D.V., 2011. Date palm biotechnology from theory to practice. In: Jain S. M. & Al-Khayri J. M. (eds). *Date Palm Biotechnology*, Springer Dordrecht :Dordrecht: 1-11.
- Jubrael J. M., Udupa S. M., & Baum M., 2005. Assessment of AFLP-based genetic relationships among date palm (*Phoenix dactylifera* L.) varieties of Iraq. *Jour. of the Ameri. Soci. for Hortic. Sci.*, 130 (3): 442-447.
- Kamal-Eldin A. & Ghnimi S., 2018. Classification of date fruit (*Phoenix dactylifera*, L.) based on chemometric analysis with multivariate approach. *Jour. of Food Measu. and Characte.*, 12: 1020-1027.
- Khanam S., Sham A., Bennetzen J. L. & Mohammed A. M. A., 2012. Analysis of molecular marker-based characterization and genetic variation in date palm (*Phoenix dactylifera* L.). *Aust. Journ. Crop Sci.*, 6: 1236-1244.
- Kumar S., Tamura K. & Nei M., 2004. MEGA3: integrated software for Molecular Evolutionary Genetics Analysis and sequence alignment. *Brief Bioinform*, 5 : 150-163.
- Lazarev G., 1989. L'oasis : une solution à la crise des pastoralismes dans le sahel ? *Les cahi. de la recher. Dévelop.*, 22 : 69-81.
- Linné C. V., 1753. *Species Plantarum*, tome 2. Stockholm, Impensis Laurentii Salvii, 776 p.
- 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.
- MacDonald A. M., Bonsor H. C., Dochartaigh B. E. O. & Taylor R. G., 2012. Quantitative maps of groundwater resources in Africa. *Environ. Res. Lett.*, 7 (2) : 1-7.
- Maiga A. S., 2010. Synthèse des résultats de travaux de recherche sur le palmier dattier au Mali. In. *Biotechnologies du palmier dattier actes du 3e séminaire du réseau AUF-BIOVEG*. Aberlenc-Bertossi F. (Ed). Paris, 18-20 novembre 2008, 33-44.
- Mantel N., 1967. The detection of disease clustering and a generalized regression approach. *Cancer Research*, 27 : 209-220.

- Moussouni S., 2017. *Caractérisation moléculaire de cultivars de palmier dattier (Phoenix dactylifera L.)*. Thèse de Doctorat, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, 214 p.
- Munier P., 1973. *Le palmier-dattier*. Maisonneuve et Larose, Paris, 221 p.
- Musselman L. J., 2003. Les arbres dans le Coran et la Bible. *Unasylva*, 213 (54): 45-52.
- Neel M. C. & Ellstrand N. C., 2001. Patterns of allozym diversity in the threatened plant erigeron parishii (Asteraceae). *Ameri. Jour. of Bota.*, 88 (5): 810-818.
- Nei M. & Chesser R., 1983. Estimation of fixation indices and gene diversities. *Anna. of Hum. Gene.*, 47 (3): 253-259.
- Nei M., 1973. Analysis of gene diversity in subdivided populations (population structure/genetic variability/heterozygosity/gene differentiation). *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 70 (12): 3321-3323.
- Nei M., Tajima F. & Tateno Y., 1983. Accuracy of estimated phylogenetic trees from molecular data. *Jour. Mol. Evol.*, 19: 153-170.
- Newton A. C., Allnut T. R., Gillies C. C. M., Lowe A. J., Ennos R. A., 1999. Molecular phyllogeography, intra-specific variation and the conservation of tree species. *Trend. Ecol. Evol.*, 14: 140-145.
- Newton A. 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 into their complex relationships. *Palms*, 57 (1): 37-50.
- Nixon R. W. & Carpenter J.B., 1978. *Growing date in the United States*, 3rd ed. Agric Info Bull 207. US Dept Agr. Washinton DC, 66 p.
- Nixon R. W., & Wedding R. T., 1956. Age of date leaves in relation to efficiency of photosynthesis. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 67 : 265-269.
- Odyssé J., 2015. Le palmier dattier [Page web]. Retrieved April 21, 2015, from [http://www.relais-sciences.org/odj/index.php?page=palmier\\_dattier](http://www.relais-sciences.org/odj/index.php?page=palmier_dattier).
- Oihabi A., 1991. *Etude de l'influence des mycorhizes à vésicules et arbuscules sur le Bayoud et la nutrition minérale du palmier dattier*. Thèse de Doctorat d'Etat. Université Cadi Ayyad Marrakech, Maroc. 117 p.

- Peakall R., & Smouse P. E., 2012. GenAIEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research an update. *Bioinformatics*, 28(19): 2537-2539.
- Petit R. J., Duminil J. & Fineschi S., 2005. Comparative organization of chloroplast, mitochondrial and nuclear diversity in plant populations. *Mol. Ecol.*, 14 (3): 689-701.
- Petit R. J., Ell Moussadik A. & Pons O., 1998. Identifying populations for conservation on the basis of genetic markers. *Conservat. Biolo.*, 12 (4) : 844-855.
- Peyron G., 2000. *Cultiver le palmier dattier, Guide illustré de formation*. Groupe de Recherche et d'Information pour le Développement de l'Agriculture d'Oasis, 109 p.
- Pintaud J. C., Zehdi S., Couvreur T., Barrow S., Henderson S., Aberlenc-Bertosi F., Tregear J., & 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.). 2010. In: Seberg O., Petersen G., Barfod A., Davis J. (eds.). *Diversity, phylogeny, and evolution in the Monocotyledons*. Aarhus University Press, Denmark, 267-286.
- 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. *Intern. Soci. for Horticu. Sci.*, 994: 19-38.
- Popenoe W., 1938. *Manual of tropical and subtropical fruits*. The Macmillan Company, New York, 544 p.
- Pritchard J. K., Stephens M. & Donnelly, P., 2000. Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics*, 155(2): 945-959.
- Provan J., Powell W. & Hollingsworth P. M., 2001. Chloroplast microsatellites: new tools for studies in plant ecology and evolution. *Trends in Ecolo. and Evol.*, 16 (3): 142-147.
- R Core Team. (2020). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- 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.

- Raimond C., Ouedraogo L. T. & Garine E., 2020. Agrobiodiversité sous les tropiques, débats et controverses en marge du concept d'Anthropocène. *Belgi. Journ. of Geogr.*, 261(3): 23-38.
- Renard D. & Tilman D., 2019. National food production stabilized by crop diversity. *Nature*, 7764 (571): 257-260.
- Reynolds J., Weir B. S. & Cockerham C. C., 1983. Estimation of the coancestry coefficient: Basis for a short-term genetic distance. *Genetics*, 105 (3) : 767-779.
- Rhiss A, Poulain C. & Beauchesne G., 1979. La culture in vitro appliquée à la multiplication végétative du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.). *Fruits*, 34 (9) : 551-554.
- 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 date palms (*Phoenix dactylifera* L.) as assessed by random amplified microsatellite polymorphism markers (RAMPOs). *Scient. Horticul.*, 117 (1) : 53-57.
- Rochat D., Chapin E., Ferry M., Avand-Faghih A., & Brun L., 2006. Le charançon E., Ferouge du palmier dans le bassin Mmvand-Faghih. C. *Phytoma*, 59: 20-24.
- Saitou N. & Nei M., 1987. The neighbour-joining method: a new method for reconstructing phylogenetic trees. *Molec. Biolo. and Evolu.*, 4 (4): 406-425.
- Sané D., Aberlenc-Bertossi F., Gassama-Dia Y. K., Sagna M., Trouslot M. F., Duval Y. & Borgel A., 2006. Histological analysis of callogenesis and somatic embryogenesis on cell suspension of date palm (*Phœnix dactylifera* L.). *Anna., of Bota.*, 98 (2): 301-308.
- Santoni V., Kieffer S., Desclaux D., Masson F. & Rabilloud T., 2000. Membrane proteomics: use of additive main effects with multiplicative interaction model to classify plasma membrane proteins according to their solubility and electrophoretic properties. *Electrophoresis*, 21 (16): 3329-3344.
- Sawaya W. N., Khalil J. K., & Safi W. J., 1984. Chemical composition and nutritional quality of date seeds. *Jour. of Food Scie.*, 49 (2): 617-619.
- Sedra M. H., 2001. Descripteurs du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.). Editions-INRA Maroc, Imprimerie Al-Watania-Marrakech Maroc, 135 p.

- Sedra M. H., 2003. *Le Palmier Dattier base de la mise en valeur des oasis au Maroc Techniques phoénicoles et Création d'oasis*. INRA-Editions, ISBN: 9981-1994-3-5, Rabat-Instituts Maroc, 265 p.
- Sedra M. H., Lashermes P., Trouslot P., Combes M. C. & Hamon S., 1998. Identification and genetic diversity analysis of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) varieties from Morocco using RAPD markers. *Euphytica*, 103 (1) : 75-82.
- Si Bennasseur A., 2015. Référentiel pour la Conduite Technique du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.). In. Si Bennasseur A. & Ajiro Y. (eds). *Référentiels pour la Conduite Technique des Principales Cultures*. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat : 102-112.
- Smouse P. & Peakall R., 1999. Spatial autocorrelation analysis of individual multiallele and multilocus genetic structure. *Heredity*, 82: 561-573.
- Smouse P., Long J., & Sokal R., 1986. Multiple regression and correlation extensions of the Mantel test of matrix correspondence. *System., Zool.*, 35 (4) : 627-632.
- Tarrieux J., 1930. Contribution à l'étude du Dattier au Borkou-Ennedi et au Tibesti. *Rev. de botani. Appli. et d'agricu. Colon.*, 112 : 922-926.
- Tengberg M., Newton C. & Battesti V., 2013. "L'arbre sans rival". Palmiers dattiers et palmeraies au Moyen-Orient et en Égypte de la préhistoire à nos jours. *Revue d'ethnoéco.*, 4 : 1-5.
- Togo I., 1998. Inventaire des palmeraies et évaluation de la variabilité génétique des cultivars de palmiers dattiers (*Phoenix dactylifera* L.) dans la région de Kidal au nord du Mali. Synthèse de travaux, 15 p.
- Vos P., Hogers R., Bleeker M., Reijans M., Van de Lee T., Homes M., Frijters A., Pot J., Peleman J., Kupier M. & Zabeau M., 1995. AFLP: a new technique for DNA fingerprinting. *Nucl. Acids. Res.*, 23 (21): 4407-4414.
- Weinberg W., 1908. Über den Nachweis der Verebung beim Menschen. Jahresh. *Verein f. Vaterl. Naturk in Wüttemberg*, 64: 368-382.
- Weir B. & Cockerham C., 1984. Estimating F-statistics for the analysis of population structure. *Evolution*, 38 (6): 1358-1370.

- Williams J. G. K., Kubelik A. R., Livak K. J., Rafalski J. A. & Tingey S. V., 1990. DNA polymorphisms amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. *Nucl. Acids Res.*, 18 (22): 6531-6535.
- Wright S., 1951. The genetical structure of populations. *Ann. Eugen.*, 15: 323-354.
- Wright S., 1969. *Evolution and the genetics of populations: a treatise in four volumes. Theory of Gene Frequencies*. Chicago Press, USA, 520 p.
- Zaid A. & Wet D. P. F., 2002. *Pollination and Bunch Management*. In: Zaid A., Arias-Jimenez E. *Date Palm Cultivation, Chapter 8*, FAO Plant Production and Protection Papers, Rome, 287 p.
- Zaid A., & Jiménez A. E. J., 1999. Date palm cultivation. FAO Plant Production and Protection Paper, 287 p.
- Zaid A., 1987. Morphogenetic variation in palm embryos *in vitro*. In: Shri M. J., Al-Khayri J. M. & Johnson D. V. (eds). *Date palm Biotechnology*. Springer Dordrecht Heidelberg, London New York, 36-47.
- Zaid A., 2002. *Date palm cultivation*. FAO Plant production and protection, Rome, FAO, 156 (1): 292 p.
- Zango O., Emira C., Nathalie C., Zehdi-Azouzi S., Muriel G. B., Summar A. N., Alain L., Hervé R., Yacoubou B. & Aberlenc-Bertoussi F., 2017. Genetic diversity of Southeastern Nigerien date palms reveals a secondary structure within Western populations. *Tree Geneti. & Genom.*, 13 (75): 1-11.
- 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. *Agricul. Scien.*, 7: 586-603.
- Zehdi S., Pintaud J. C., Billote N., Ould Mohamed A., Sakka H., Rhouma A., Marrakchi M. & Trifi M., 2006. Etablissement d'une clé d'identification variétale chez le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) par les marqueurs microsatellites. *Plant Genet. ic Resources. Newsletter*, 145: 11-18.
- Zehdi S., Trifi M., Billote N., Marrakchi M. & Pintaud J. C., 2004. Genetic diversity of Tunisian date palms (*Phoenix dactylifera* L.) revealed by nuclear microsatellite polymorphism. *Hereditas*, 41: 278-287.

- 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.
- 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. *Anna. of Bota.*, 116(1): 101-112.
- Zohary D. & Hopf M., 2000. *Domestication of plants in the Old World*. Oxford University Press, New York, 316 p.

# **ANNEXES**

## Annexe 1 : Cadre logique de la thèse

Objectifs		Matériel et Méthodes	Résultats
Général	Spécifiques		
Améliorer la connaissance de l'agrobiodiversité du palmier dattier pour une gestion durable des oasis au Tchad.	Analyser le développement du palmier dattier dans les conditions édapho-climatiques oasiennes	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Donnée pluviométrique/température</li> <li>- Productivité des palmiers ;</li> <li>- caractérisation physico-chimiques du sol.</li> <li>- identification de types de sols.</li> </ul>	Les analyses granulométriques des échantillons de sol prélevés dans la zone d'étude ont permis d'identifier sept types de sols distincts : Sablo-argileux (Gouro, Kirdimi et Kinintchi), Sablo-limoneux (Ounianga-Kebir), Argilo-sableux (Faya), Argilo-limoneux à Amoul, Argilo-sablo-limoneux (Nokou et Djougou), Limono-sableux (Koumogari), et des sols limono-argileux à Barraha. Les sols sablo-limoneux et argilo-limoneux présentent les rendements les plus élevés, avec respectivement 68 et 80 kg de dattes par palmier. Les sols limono-sableux et sablo-argileux affichent des rendements relativement faibles, avec seulement 38 et 43 kg de dattes par palmier. Les sols argilo-sableux et limono-argileux présentent des rendements intermédiaires, avec respectivement 68 et 48 kg de dattes par palmier.
	Évaluer la biodiversité de l'agrosystème oasien	Une enquête a été réalisée auprès de 60 producteurs à raison de 30 producteurs par zone agro-écologique, répartis dans 20 villages pour recueillir les informations relatives aux cultivars, aux cultures associées et aux pratiques culturales liées au palmier dattier.	Dans cette zone, les palmiers dattiers ont une seule saison de production de fruits par an (juin à septembre), avec une productivité satisfaisante ( $68 \pm 19$ kg/plant), un prix moyen de 506 FCFA/kg, par ailleurs les agriculteurs ont une bonne connaissance des pratiques culturales. Au sahel, on trouve seulement trois groupes de cultivars du palmier dattier maîtrisés par tous les agriculteurs basés sur la couleur de fruits (rouge, jaune et vert), très souvent multipliés par graines. Les conditions climatiques favorisent deux saisons de production (une production en avril et mai et l'autre de juin à septembre) de dattes chez 20 % de palmiers dattiers et les revenus issus de la vente des dattes de la deuxième saison de production de fruits

			sont plus importants que ceux de la première saison de production.
	Caractériser la diversité génétique du palmier dattier ;	L'ADN de 142 cultivars a été génotypé et amplifié grâce aux 18 marqueurs microsatellites pour une caractérisation moléculaire de la diversité génétique. L'identification des chlorotypes occidental et oriental a été possible sur la base du marqueur chloroplastique CpfM12.	L'analyse de la variance moléculaire (AMOVA) a relevé une forte variabilité génétique (polymorphisme) intra population (7%) ; Faible structuration inter population sur les 18 marqueurs SSR ; L'origine géographique des pools génétiques au niveau de la zone saharienne une introgression de deux chlorotypes (Oriental et Occidental), la province de l'Ennedi-Ouest est à 75,5 % d'origine occidentale et la province de Borkou 78,5 % d'origine orientale. Alors qu'au niveau de la zone sahélienne on observe une hétérogénéité de chlorotypes, 56 % occidentale et 44 % orientale.
	Proposer un schéma du développement de la production du palmier dattier.	L'enquête auprès des producteurs a permis de recenser les problèmes limitant le développement de la phœniciculture et l'agrosystème oasien.	Une analyse de force et faiblesse de la phœniciculture et des solutions ont été proposées : Transfert des technologies ; création des nouvelles palmeraies ; promotion de la 2 <sup>e</sup> campagne de production ; amélioration des pratiques culturelles ; conservation in situ des pool génétiques ; luttés contre l'ensablement et les incendies des palmeraies ; renforcement des structures socio-éducatives et faire la promotion des jeunes et des femmes, etc.

## Annexe 2 : 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 \_\_\_\_\_

4. Citez les espèces fruitière que vous cultivez \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

5. Nombre d'année d'activité \_\_\_\_\_ Est elle hérité ? \_\_\_\_\_

### Situation des palmeraies

6. Nombre de producteurs dans la palmeraie \_\_\_\_\_

7. Nombre de champ du producteur enquêté \_\_\_\_ Nombre de pieds total champ enquêtée \_\_\_\_

8. Nombre de pieds femelle en production \_\_\_\_ Nombre de pieds males en production \_\_\_\_

9. Age adulte moyen d'un palmier \_\_\_\_\_ Nombre de pied non adulte \_\_\_\_\_

### Variétés ou cultivars

10. Citez vos variétés (noms locaux) \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

11. Citez les variétés importées \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

12. Critères utilisés pour identifier les variétés \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

13. Variété la plus précoce \_\_\_\_\_

14. Variété la plus tardive \_\_\_\_\_

15. Variété la plus productive \_\_\_\_\_

16. Variété la moins productive \_\_\_\_\_

17. Variété la plus prisée \_\_\_\_\_ raisons \_\_\_\_\_

18. De toutes ces variétés, lesquelles préférez-vous au mieux \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ raisons \_\_\_\_\_

### Architecture des plantes

19. Faites-vous de différence de formes de couronne ? \_\_\_\_\_ oui  on

Si oui, les noms : \_\_\_\_\_

Forme produisant en quantité : \_\_\_\_\_ Forme produisant en qualité : \_\_\_\_\_

20. Faites-vous de différence de formes de palmes ? \_\_\_\_\_ oui  non

Si oui, les noms \_\_\_\_\_

Forme produisant en quantité : \_\_\_\_\_ Forme produisant en qualité : \_\_\_\_\_

21. Faites-vous de différence de formes d'inflorescences ? \_\_\_\_\_ oui  non

Si oui, les noms \_\_\_\_\_

Forme produisant en quantité : \_\_\_\_\_ Forme produisant en qualité : \_\_\_\_\_

22. Entre un palmier touffu et aéré, lequel produit plus \_\_\_\_\_ touffu  aéré

### Traitements

23. Multiplication des palmiers \_\_\_\_\_ semis  \_\_\_\_\_ rejet  naturelle

24. Quel est l'écartement entre les semis \_\_\_\_\_

25. faites vous des techniques de brulis \_\_\_\_\_

Si oui pourquoi ? \_\_\_\_\_

26. A quel moment élaguer les plantes ? \_\_\_\_\_ au repos  \_\_\_\_\_ en production  \_\_\_\_\_

27. 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 ♀  \_\_\_\_\_

28. Réduisez-vous les inflorescences ou les épillets sur la plante \_\_\_\_\_ oui  \_\_\_\_\_ non  \_\_\_\_\_

Si oui, pourquoi ? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

29. Nombre d'inflorescences ou d'épillets à laisser sur la plante \_\_\_\_\_

30. Que devient les inflorescences ou les épillets enlevés \_ fourrage  \_\_\_\_\_ combustible  \_\_\_\_\_  
autres  (préciser) \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

### Production

31. Nombre de récoltes par an \_\_\_\_\_ 1  \_\_\_\_\_ 2  \_\_\_\_\_

32. Mois de début \_\_\_\_\_ moi de fin \_\_\_\_\_ de 1ère campagne de production

33. Mois de début \_\_\_\_\_ mois de fin \_\_\_\_\_ de 2ème campagne de production

34. Durée de la floraison \_\_\_ 1ère C  \_\_\_\_\_ 2ème C  \_\_\_\_\_ (mois)

35. Nombre d'inflorescences produites/ \_\_\_ 1ère C  \_\_\_\_\_ 2ème C  \_\_\_\_\_

36. Quantité moyenne produite/plante/ (kg) \_\_\_ 1ère C  \_\_\_\_\_ 2ème C  \_\_\_\_\_

37. Quelle est la période la plus productive \_\_\_ en quantité ? \_\_\_\_\_ en qualité ? \_\_\_\_\_

38. Nombre de palmiers/10 qui font la 1C et 2C \_\_\_\_\_

39. A quelle stade les dattes sont consommé ou vendu \_\_\_\_\_ bien mûr  \_\_\_\_\_ fruit  
jaune  \_\_\_\_\_ fruit vert  \_\_\_\_\_

### Usages du palmier dattier

40. Quelles sont les usages des dattes \_\_\_ consommation  \_\_\_\_\_ commerce  \_\_\_\_\_  
fourrage  \_\_\_\_\_ culturel  \_\_\_\_\_

41. Proportion de dattes vendues (/10kg) \_\_\_\_\_

42. Transformez-vous les dattes avant la consommation \_\_\_ Oui  \_\_\_\_\_ Non  \_\_\_\_\_

Si oui, type de transformations \_\_\_\_\_ sirop  \_\_\_\_\_ bouillie  patte  
 autres (précisez)  \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

43. Prix d'un sac de 100kg de date au cours de la 1<sup>ère</sup> campagne \_\_\_\_\_

44. Prix d'un sac de 100kg de date au cours de la 2<sup>ème</sup> campagne \_\_\_\_\_

45. Usages du revenu phénicicole \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

46. Quelle sont les autres usages du palmier dattier à part la production des dattes \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

### Menace sur les palmiers

47. Connaissez-vous des maladies sur les palmiers ? \_\_\_\_\_ oui  \_\_\_\_\_ non  \_\_\_\_\_

Si oui, noms des maladies \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

48. Noms des ennemis naturels du palmier et type d'attaque \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

49. Solutions en cas de maladie ou d'attaque ? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

50. Quelles est la solution la plus efficace \_\_\_\_\_ contre maladie ? \_\_\_\_\_  
contre attaque ? \_\_\_\_\_

### Environnement palmeraies

51. Type de sol \_\_\_\_\_ sableux  \_\_\_\_\_ argileux \_\_\_\_\_  limoneux \_\_\_\_\_  sablo-  
argileux \_\_\_\_\_  limono-argileux \_\_\_\_\_  latéritique \_\_\_\_\_  autres  
(préciser)  \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

52. Profondeur du sol \_\_\_\_\_ très profond  \_\_\_\_\_ profond  \_\_\_\_\_ peu profond  \_\_\_\_\_

53. Existe-il un problème de salinité \_\_\_\_\_ oui  \_\_\_\_\_ non  \_\_\_\_\_

Si oui, Teneur du sel \_\_\_\_\_ forte  \_\_\_\_\_ moyenne  \_\_\_\_\_ peu  \_\_\_\_\_

54. Profondeur de la nappe \_\_\_\_\_

55. Irrigation \_\_\_\_\_ oui  \_\_\_\_\_ non  \_\_\_\_\_

Si oui, le système d'irrigation utilisé \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

56. Fertilisation \_\_\_\_\_ oui  \_\_\_\_\_ non  \_\_\_\_\_

Si oui, \_\_\_\_\_ fumure organique  \_\_\_\_\_ fertilisant chimique  \_\_\_\_\_

57. Où trouve-t-on le fertilisant \_\_\_\_\_ payé \_\_\_\_\_ ramassé \_\_\_\_\_

58. Faites-vous des cultures sous-jacentes des palmeraies \_\_\_\_\_ oui  \_\_\_\_\_ non  \_\_\_\_\_

Si oui, \_\_\_\_\_ fruitières  \_\_\_\_\_ légumières  \_\_\_\_\_ céréalières  \_\_\_\_\_

Noms des légumières \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Noms des céréales \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

59. Les animaux parcourent-ils les palmeraies \_\_\_\_\_ oui  \_\_\_\_\_ non  \_\_\_\_\_

si oui, quels avantages \_\_\_\_\_

et/ou quels inconvénients \_\_\_\_\_

### Autres activités

60. Faites-vous l'agriculture sous pluies \_\_\_\_\_

61. 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 \_\_\_\_\_ phoeniciculture  \_\_\_\_\_  
maraichage  \_\_\_\_\_ main d'œuvre  \_\_\_\_\_ exode  \_\_\_\_\_ autre (préciser)  \_\_\_\_\_

62. Classer ces activités agricoles par ordre d'importance dans votre village \_maraichage

phoeniciculture  \_\_\_\_\_ agriculture  \_\_\_\_\_ élevage  \_\_\_\_\_ commerce  \_\_\_\_\_

### Intérêts sociaux et perspectives d'avenir

63. Impact de la phoeniculture sur la vie sociale  renforcement des liens sociaux   
sources de conflit  autres (précisez)

64. Selon vous que faut-il faire pour sauvegarder et promouvoir la filière phoenicole ?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

65. Existe-il des organisations qui vous appuient  oui  non   
si oui, noms des organisations \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

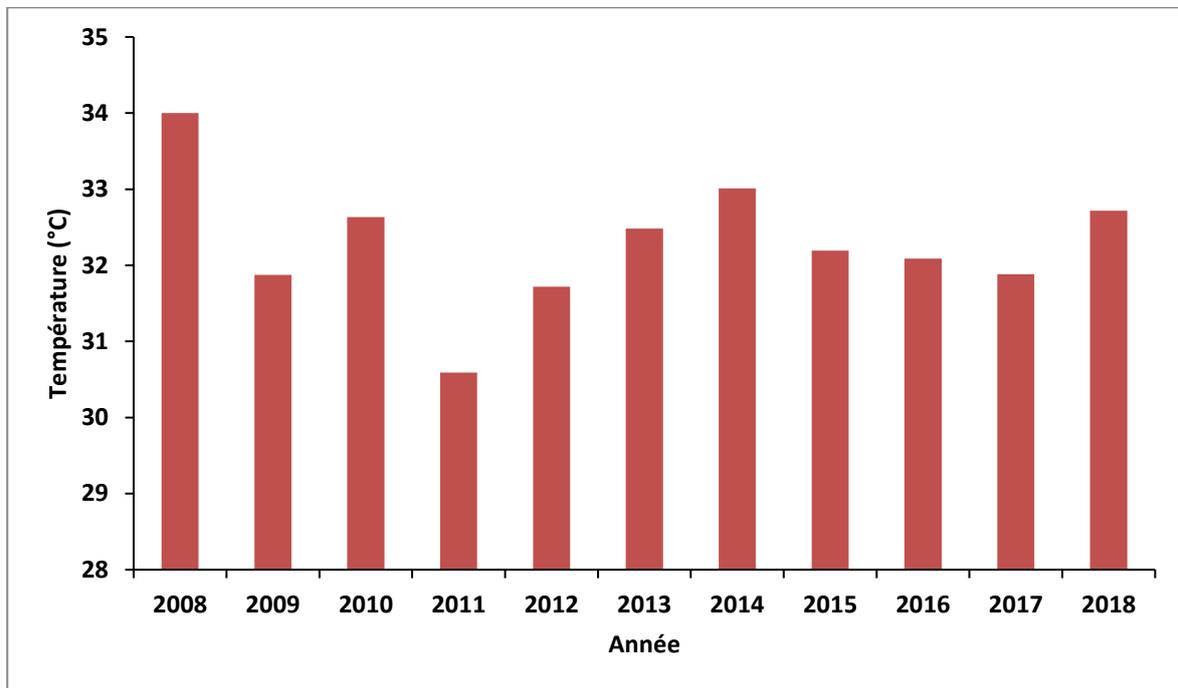
Si oui, types d'appuis \_\_\_\_\_ appuis techniques  appuis conseilles   
appuis financiers  autre (préciser) \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

66. Questions ou commentaires \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

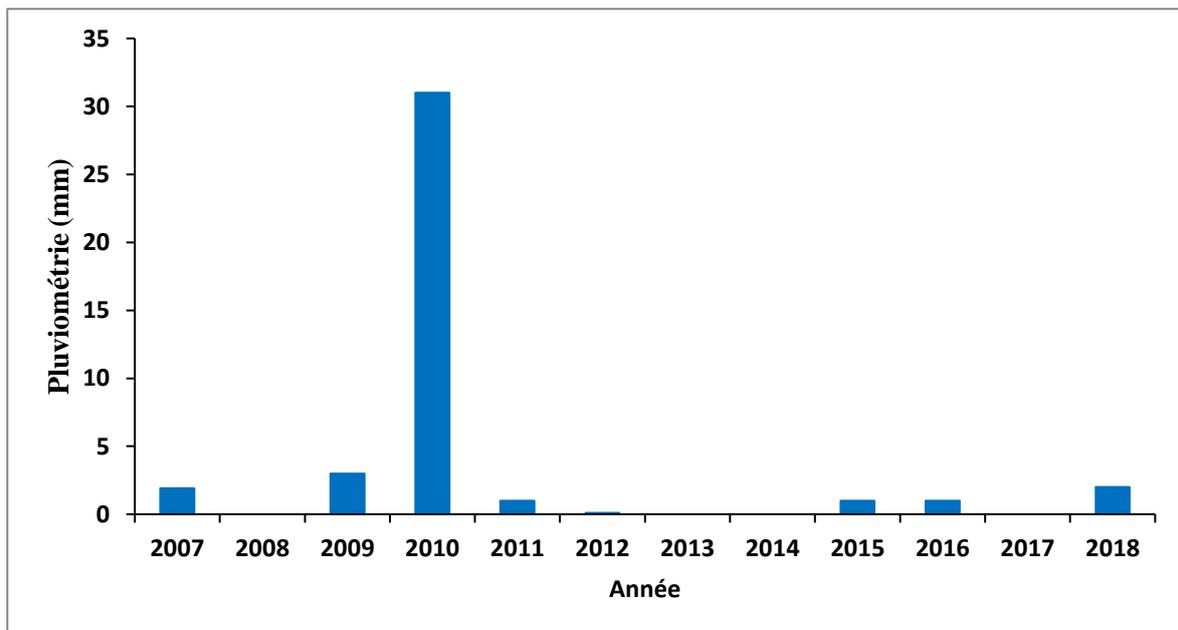
**Merci pour votre collaboration**

### Annexe 3. Données météorologiques sur dix ans dans la zone saharienne

Températures interannuelles

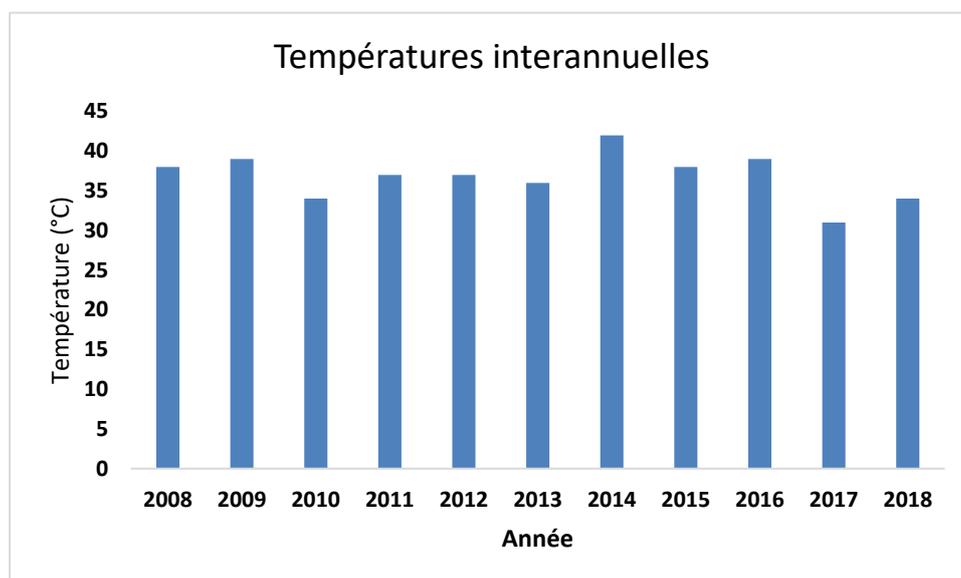


Pluviométrie interannuelle

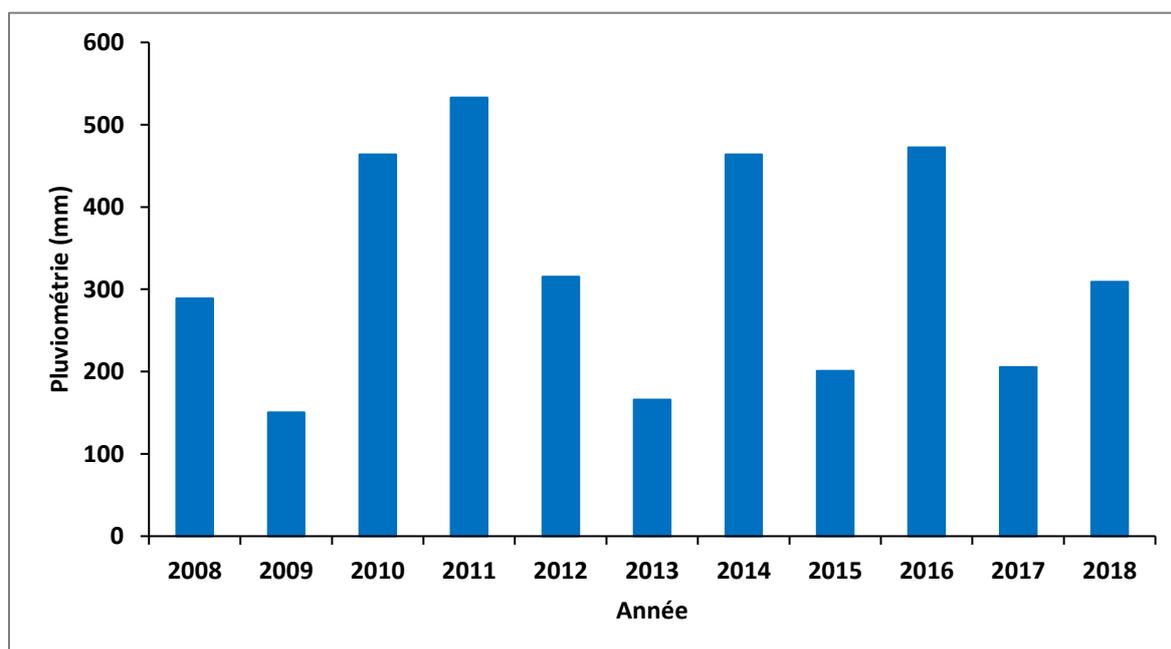


## Annexe 4. Données météorologiques sur dix ans dans la zone sahélienne

### Températures interannuelles



### Pluviométrie interannuelle



## Annexe 5. Cultivars des dattes identifiés lors de l'étude



**Annexe 6. Dattes transformées en pattes (Abba Mahmoud, 2018)**



## Annexe 7 : Liste de 142 cultivars utilisés dans la caractérisation génétique

Zone	Région	Département	Village	Cultivar
Saharienne	Ennedi-Ouest	Gouro	Wildjaho	Male 18
				Male 19
				Male 20
				Marchano 1
				Kohi
				Yasma
				Bourno
				Marchano 2
				Mayaskow
			Houkoubodo	Male 21
				Male 22
				Male
		Har Kemida		
		Marthanda		
		Dedili		
		Kouhi		
		Hara		
		Foureido		
		Ounianga kebir	Eteh	Male 24
				Tafourdé
				Djanneh
				Adimideh
				Tohordeh
				Adimideh
	Bourkoua		Male 28	
			Male 29	
			Variété ?	
			Adimideh	
			Djanneh	
			Martchano	
	Kow 1			
	Kow 2			
	Borkou	Borkou Yala	Kirdimi	Male 10
				Male 11
				Male 12
				Kow
				Kodi
				Arbibo
				Wardangado
				Kaolo
			Yen	Male 13
				Male 14
Male 15				
Lohandji				
Arbido				
Wassordo				
Tutido				
Wallao				

**Annexe 8 : Liste de 142 cultivars utilisés dans la caractérisation génétique**

<b>Zone</b>	<b>Région</b>	<b>Département</b>	<b>Village</b>	<b>Cultivar</b>	
Saharienne	Borkou	Borkou Yala	Gourma	Male 16	
				Male 17	
				Kétégé	
				Koïdi bichanga	
		Faya	Koukourou	Male 4	
				Male 5	
				Male 6	
				Kougoudo	
				Kourdo	
				Kaolo	
				Mokori	
				Arsado	
				Kaw	
				Tchangsous	Male
					Male
					Male
			Zalanga		
			Mainmaindou		
			Arbo		
			Bourno		
			Koïdo		
			Anago		
			Amoul		Male 7
				Male 8	
				Male 9	
				Mekidi	
				Bourno	
				Kougoudo	
				Mekoidi	
				Koïdo 1	
			Koïdo 2		
			Sahélienne	Kanem	Nokou (Nord-Kanem)
Male 45					
Lia					
Kifi 1					
Yilgui	Kifi 2				
	Male 46				
	Male 47				
	Male 48				
	Bara 1				
	Bara 2				
	Lia				
	Kifi 1				
Kifi 2					
Kifi 3					

**Annexe 9 : Liste de 142 cultivars utilisés dans la caractérisation génétique**

Zone	Région	Département	Village	Cultivar
Sahélienne	Kanem	Nokou (Nord-Kanem)	Andrah	Male 49
				Male 50
				Male 51
				Lia 1
				Lia 2
				Tantanosh 1
				Tantanosh 2
				Tchougouni
		Mao	Kinitchi	Kifi
				Benboyrong
			Aïloum 1	Male 30
				Male 31
				Dougoula
				Bara
				Kifi
				Lia
			Kouloula	Male 32
				Male 33
				Lia 1
				Lia 2
				Kifi 1
				Kifi 2
			Bara	
			Barrah 1	Male 34
				Male 35
				Kifi
				Bara 1
			Koumogari	Bara 2
				Male 36
				Male 37
				Walbourom
				Lia 1
				Lia 2
			Bara	
			Djougou	Male 38
				Male 39
				Male 40
				Kifi
				Kifi
				Variété ?
		Lia 1		
		Lia 2		
Mobeye	Male 41			
	Male 42			
	Bara 1			
	Kifi			
	Lia 1			
	Lia 2			
Bara 2				

## Annexe 10 : Caractéristiques des marqueurs microsatellites utilisés

Locus SSR	Nom court	Séquence de l'amorce Forward (5' - 3')	Séquence de l'amorce Reverse (5' - 3')	Motifs SSR	Taille (pb)	Tm (C°)	Référence	Accession GeneBank
mPdCIR010	Pd10	ACCCCGGACGTGAGGTG	CGTCGATCTCCTCCTTGTCTC	(GA) <sub>22</sub>	164	56	Billotte <i>et al.</i> 2004	AJ571673
mPdCIR015	Pd15	AGCTGGCTCCTCCCTTCTTA	GTCGGTTGGACTTGTCT	(GA) <sub>15</sub>	135	52	Billotte <i>et al.</i> 2004	AJ571674
mPdCIR016	Pd16	AGCGGGAATGAAAAGGTAT	ATGAAAACGTGCCAAATGTC	(GA) <sub>14</sub>	134	52	Billotte <i>et al.</i> 2004	AJ571675
mPdCIR025	Pd25	GCACGAGAAGGCTTATAGT	CCCCTCATTAGGATTCTAC	(GA) <sub>22</sub>	230	49	Billotte <i>et al.</i> 2004	AJ571676
mPdCIR032	Pd32	CAAATCTTTGCCGTGAG	GGTGTGGAGTAATCATGTAGTAG	(GA) <sub>19</sub>	300	52	Billotte <i>et al.</i> 2004	AJ571677
mPdCIR035	Pd35	ACAAACGGCGATGGGATTAC	CCGCAGCTCACCTCTTCTAT	(GA) <sub>15</sub>	188	54	Billotte <i>et al.</i> 2004	AJ571678
mPdCIR057	Pd57	AAGCAGCAGCCCTCCGTAG	GTTCTCACTCGCCAAAAATAC	(GA) <sub>20</sub>	282	55	Billotte <i>et al.</i> 2004	AJ571682
mPdCIR063	Pd63	CTTTTATGTGGTCTGAGAGA	TCTCTGATCTTGGGTCTGT	(GA) <sub>17</sub>	167	50	Billotte <i>et al.</i> 2004	AJ571683
mPdCIR078	Pd78	TGGATTCCATTGTGAG	CCCGAAGAGACGCTATT	(GA) <sub>13</sub>	121	50	Billotte <i>et al.</i> 2004	AJ571685
mPdCIR085	Pd85	GAGAGAGGGTGGTGTATT	TTCATCCAGAACCACAGTA	(GA) <sub>29</sub>	179	50	Billotte <i>et al.</i> 2004	AJ571686
PdAG1-ssr	AG1	TCTGATTTCGTTACTTCTTAGGA	TTCATATTCAGTGTGCGGGTGA	(GA)	260	52	Ludeña <i>et al.</i> 2011	
PdCUC3-ssr1	CUC3-1	CGTGACTCATGACTCGCATGTCC	GGTCCTTGCCGGTGGCCCTC	(GT) <sub>14</sub>	330	60	Adam <i>et al.</i> 2010	HM622273
PdCUC3-ssr2	CUC3-2	ACATTGCTCTTTGCCATGGGCT	CGAGCAGGTGGGGTTCGGGT	(GA) <sub>22</sub>	350	59	Adam <i>et al.</i> 2010	HM622273
PdAP3-ssr	AP3	GAGAAATAGAGAGCTGTGCAAG	CTGCAGTACTCGGAGAACTTG	(GA) <sub>25</sub>	331	57	Zebdi <i>et al.</i> 2015	KC188337
mPdIRD013	P13	GCGGAGACAGGAGATGGTAA	CTTGACTGCTTCTGTGCTG	(CAC) <sub>6</sub>	204	60	Aberlenc-Bertossi <i>et al.</i> 2014	PKD_20s149 6731g002
mPdIRD031	P31	GCAGGTGGACTGCAAAATCT	CTATTGGGGTGTGATCCAT	(CCA) <sub>7</sub>	198	60	Aberlenc-Bertossi <i>et al.</i> 2014	PKD_20s141 9261g003
mPdIRD033	P33	GGAGCATACAGTGGGTTTGC	CAGCCTGGGAATGAGGATAG	(CAG) <sub>7</sub>	199	60	Aberlenc-Bertossi <i>et al.</i> 2014	PKD_20s156 9281g001
mPdIRD040	P40	GAGAGATGCGTCAGGGAATC	CCAGAATCTTCCAAGCAAGC	(CCAG TG) <sub>4</sub>	193	60	Aberlenc-Bertossi <i>et al.</i> 2014	PKD_20s132 7401g002

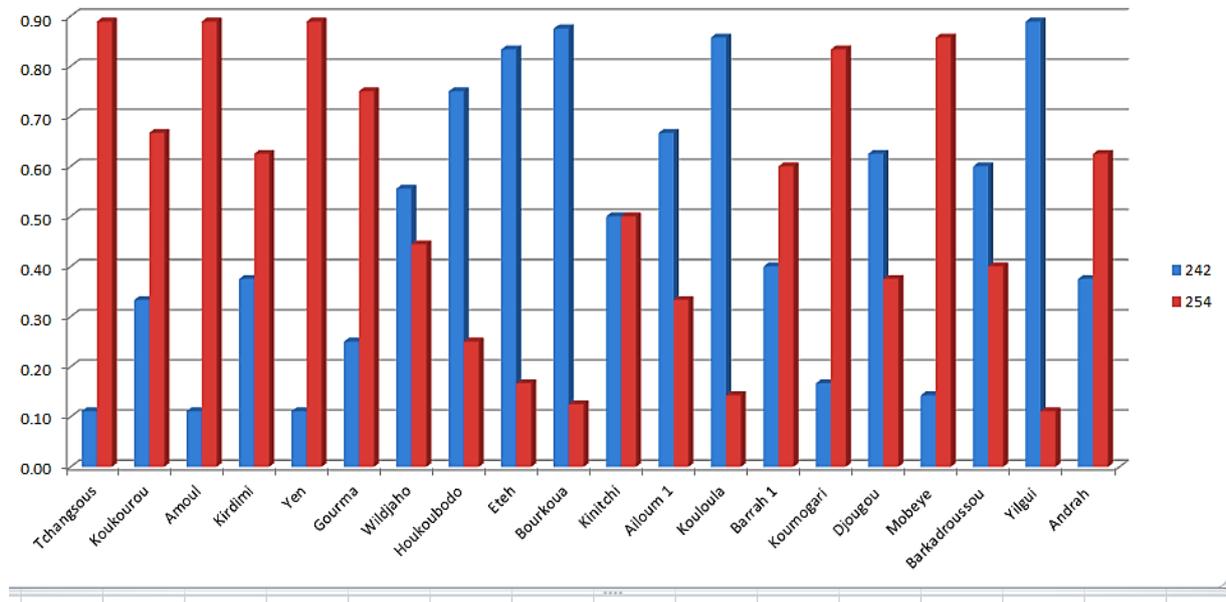
## Annexe 11 : Résumé des allèles privés par population

Pop	Locus	Allele	Freq	
Gouro	mPdCIR032		284	0.029
Gouro	mPdCIR032		297	0.029
Gouro	mPdCIR035		999	0.059
Gouro	PdAG1-ssr		265	0.029
Gouro	mPdCIR010		145	0.029
Ounianga_kebir	mPdCIR078		152	0.036
Ounianga_kebir	mPdCIR032		289	0.071
Ounianga_kebir	mPdCIR010		136	0.036
borkou_yala	PdCUC3-ssr2		321	0.024
Faya	PdCUC3-ssr2		309	0.019
Faya	mPdCIR078		120	0.037
Faya	mPdCIR078		137	0.019
Faya	mPdCIR057		262	0.056
Faya	mPdCIR085		181	0.019
Faya	mPdCIR025		203	0.019
Nord_kanem	mPdCIR078		148	0.023
Nord_kanem	mPdCIR078		149	0.023
Nord_kanem	PdAG1-ssr		277	0.023
Nord_kanem	mPdCIR010		156	0.023
Kanem	PdCUC3-ssr2		317	0.037
Kanem	mPdCIR078		123	0.024
Kanem	mPdCIR078		135	0.012
Kanem	mPdCIR032		294	0.037
Kanem	mPdCIR035		191	0.012
Kanem	mPdCIR057		252	0.012
Kanem	mPdCIR057		256	0.012
Kanem	mPdCIR085		179	0.037
Kanem	PdAG1-ssr		268	0.012
Kanem	PdAG1-ssr		274	0.024
Kanem	mPdCIR010		122	0.012
Kanem	mPdCIR010		132	0.012
Kanem	mPdCIR025		216	0.037
Kanem	mPdCIR025		219	0.012
Kanem	mPdCIR063		179	0.037

## Annexe 12 : Matrice de population par paires de la distance génétique de Nei

Gouro	Ounianga_Kebir	Kirdimi	Faya	Nord_kanem	Kanem
0.000					
0.093	0.000				
0.075	0.155	0.000			
0.081	0.156	0.029	0.000		
0.069	0.117	0.107	0.090	0.000	
0.075	0.108	0.077	0.075	0.037	0.000

## Annexe 13 : Répartition par village des chloros maternel (occidental et oriental)



**PUBLICATION**