



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université des Frères Mentouri Constantine 1
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة الاخوة منتوري قسنطينة 1
كلية علوم الطبيعة و الحياة

Département : Biologie et Ecologie Végétale

قسم : البيولوجيا و علم البيئة النباتية

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Biotechnologies

Spécialité : *Biotechnologie et Génomique Végétale*

Intitulé :

**Détermination du sexe chez le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L) :
approches cytogénétiques, biochimiques et moléculaires**

Présenté et soutenu par : BENKAIDIA ISMAHANE

Le : 07/07/2020

Jury d'évaluation :

Présidente du jury : Mme KACEM S. N. (MCB.- UFM Constantine)

Encadrant : Melle BOUCHEMAL K. (MAB - UFM Constantine)

Examinatrice : Mme HAMMOUDA D. (MCA - UFM Constantine)

Année universitaire
2019 – 2020

Dédicaces

Avec un grand plaisir, un cœur ouvert et une immense joie, je dédie ce travail à mes très chers respectueux et magnifiques parents KAMEL et BENAMGHAR ROUFIA qui m'ont soutenu toute au long de ma vie.

À mes grands-parents adorés LOIDFEL HABIBA et BENAMGHAR MOHAMED, pour tout l'amour et l'affection dont vous m'avez toujours entouré.

À ma sœur JASMINE et à son mari HOUSEM et le petit KHALIL

À mes sœurs MERIEM et la petite ALAE, à qui je souhaite un avenir radieux plein de réussite.

À mon fiancé MOHAMED BOUDCHICHA qui m'a soutenu durant mes années d'études et à toute sa famille.

À mes très chères amis et camarades de la promo : SABRINE , RANIA ,SARAH , NADJMA , RANDA, ASMA ,HANA et MORTADA : vous qui avez toujours été là pour me soutenir et m'encourager. Je vous dédie ce travail en témoignage de ma grande affection et en souvenir des agréables moments passés ensemble. Vous êtes les meilleurs.

À tous mes proches et mes amis.

Remerciements

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance et mon respect à l'égard de mon encadrante M^{elle} BOUCHEMAL KARIMA maître assistante à l'université des frères Mentouri Constantine 1, pour avoir accepté de diriger mon travail et pour ses précieux conseils, sa disponibilité, sa gentillesse, sa patience, sa modestie tout comme l'intérêt bienveillant qu'elle a manifesté envers moi. Qu'elle trouve ici le témoignage de ma profonde gratitude. J'adresse mes plus sincères remerciements au Pr. DJEKOUN Abdelhamid responsable de l'équipe pédagogique de Biotechnologie Végétale et Amélioration des plantes au sein du laboratoire de Génétique, Biochimie et Biotechnologies Végétales (GBBV) où j'ai été affilié à la thématique du palmier dattier durant mon stage de M2.

Je tiens à remercier les membres du jury : Mme KACEM SANDRA Maître de conférences à l'Université des Frères Mentouri Constantine 1, pour avoir accepté d'évaluer ce travail et me faire l'honneur de présider le jury de soutenance et Mme HAMMOUDA DOUNIA Maître de conférences à l'Université des Frères Mentouri Constantine 1, qui m'a fait l'honneur d'être membre de ce jury et d'accepter de juger ce travail.

Il m'est également agréable d'exprimer ma profonde gratitude et mes plus sincères remerciements à tous mes enseignants de la filière de Biotechnologie et génomique végétale qui ont contribué dans ma formation universitaire et ont enrichi mes connaissances, je cite : Mme Ykhlef Nadia, Mme. Hamouda Dounia, Mme Bousbaa Ratiba, Mme Kacem Nadia Sandra, Mr Kellou Kamel, Mr Temagoult Mahmoud et Mme Benabdoun Meriem Faiza.

Enfin, je remercie tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin par un geste, une parole ou un conseil avisé.

Merci à tous....

Résumé

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L) est une plante monocotylédone, ligneuse, pérenne et dioïque avec une durée de vie de plusieurs générations. C'est l'une des plus anciennes cultures fruitières cultivées dans les régions arides de la péninsule Arabique, de l'Afrique du Nord et du Moyen-Orient. Dans le désert algérien, les oasis se caractérisent par la présence de cette plante qui produit des fruits mais aussi crée un microclimat favorable pour d'autres cultures. En plus de ses rôles écologiques et sociaux importants, cet arbre joue un rôle significatif dans la nutrition humaine et l'alimentation animale, et est utilisé pour produire une large gamme de produits finaux. Le palmier dattier est traditionnellement multiplié par voie végétative à partir de ramifications produites par des arbres élites individuels et, plus récemment, par des plantes issues de la culture de tissus. Chez le palmier dattier, un mode dioïque (individus mâles et femelles séparés) et l'âge reproductif tardif (5–10 ans) sont des contraintes pratiques majeures pour l'amélioration génétique. De plus, la reproduction sexuée permet d'introduire une plus grande diversité mais engendre une descendance composée de 50% de plantes mâles et 50% de plantes femelles, alors que seules les plantes femelles produisent des fruits. L'identification précoce du sexe des jeunes plants pourrait améliorer les programmes de sélection et générer des stocks génétiques expérimentaux mâles et femelles qui contribueront à l'amélioration génétique du palmier dattier. Ici, la biotechnologie, en tant que nouvel outil dans la sélection du palmier dattier, peut être utile. Le présent document fera le point sur les approches génétiques, biochimiques et moléculaires développées chez le palmier dattier pour la détermination du sexe des semis à un stade précoce.

Mots clés : Palmier dattier, détermination du sexe, marqueurs moléculaires, isoenzymes, dioécie, chromosomes sexuels.

Abstract

The date palm (*Phoenix dactylifera* L), $2n = 36$, is a monocotyledoneous woody perennial and dioecious plant with a long generation life time. It is one of the oldest fruit crops grown in the arid regions of the Arabian Peninsula, North Africa, and the Middle East. In Algerian desert, oases are characterized by the presence of this plant which gives fruit but also creates a favourable microclimate for other crops. In addition to its important ecological and social roles, this tree plays a significant role in human nutrition and animal feed, and is used to produce a wide range of end-products. The date palm has traditionally been propagated vegetatively from offshoots produced by elite individual trees and more recently by plants derived from tissue culture. In the date palm, a dioecious mode (separate male and female individuals) and the late reproductive age (5–10 years) are major practical constraints for genetic improvement. In addition, sexual reproduction can introduce greater diversity but results in 50% male plants and 50% female plants, while only female plants produce fruits. Early sex identification of young seedlings could enhance breeding programs and generate experimental male and female genetic stocks that will help the genetic improvement of the date palm. Here, Biotechnology, as a new tool in date palm breeding, can be useful. This document will take stock of the genetic, biochemical, and molecular approaches developed in date palm for the determination of sex at an early stage of seedlings.

Key words : Date palm, Sex determination, Molecular markers, Isoenzymes, Dioecy, sex chromosomes.

ملخص

النخيل هو نبات أحادي الفصيلة ، خشبي ، معمر ومضاد للحبوية مع عمر عدة أجيال. وهو من أقدم محاصيل الفاكهة المزروعة في المناطق القاحلة من شبه الجزيرة العربية وشمال أفريقيا والشرق الأوسط. وتتميز الواحات في الصحراء الجزائرية بوجود هذا النبات الذي ينتج ثمارًا ولكنه أيضًا يخلق مناخًا مواتًا لثقافات أخرى. بالإضافة إلى أدوارها البيئية والاجتماعية الهامة ، تلعب هذه الشجرة دورًا مهمًا في تغذية الإنسان وتغذية الحيوانات ، وتستخدم لإنتاج مجموعة واسعة من المنتجات النهائية. يتم نشر نخيل التمر تقليديًا نباتيًا من الفروع التي تنتجها أشجار النخبة الفردية ، ومؤخرًا من النباتات التي تزرع في زراعة الأنسجة. في نخيل التمر ، يعتبر الوضع المؤذي (الأفراد الذكور والإناث المنفصلين) وتأخر سن التكاثر (5-10 سنوات) من القيود العملية الرئيسية للتحسين الوراثي. بالإضافة إلى ذلك ، فإن التكاثر الجنسي يجعل من الممكن إدخال تنوع أكبر ولكنه يولد نسلاً يتكون من 50 ٪ من النباتات الذكور و 50 ٪ من النباتات الأنثوية ، في حين أن النباتات الأنثوية فقط تنتج الفاكهة. يمكن أن يؤدي التحديد المبكر لجنس النباتات الصغيرة إلى تحسين برامج التكاثر وتوليد مخزون جيني ذكور وإناث تجريبي من شأنه أن يساهم في التحسين الوراثي لنخيل التمر. هنا ، يمكن أن تكون التكنولوجيا الحيوية ، كأداة جديدة في اختيار نخيل التمر ، مفيدة. ستقوم هذه الوثيقة بتقييم الطرق الوراثية والكيميائية الحيوية والجزئية التي تم تطويرها في نخيل التمر لتحديد جنس الشتلات في مرحلة مبكرة.

الكلمات المفتاحية: الكروموسومات الجنسية ، ثنائية المسكن ، انفصال الجنس ، متشابهات الانزيم ، تحديد الجنس ، نخيل التمر ،

Liste des figures

Figure 1 : Figure schématique des différentes parties d'un palmier dattier adulte	6
Figure 2 : Schéma d'une palme	8
Figure 3 : Inflorescence mâle et femelle	10
Figure 4 : Stades d'évolution du fruit et ses appellations en Algérie	11
Figure 5 : Morphologie et anatomie du fruit et de la graine du palmier dattier	12
Figure 6 : Carte de répartition du genre <i>Phoenix</i> : La distribution de <i>P. dactylifera</i> correspond à l'aire de culture traditionnelle.....	14
Figure 7 : Production de dattes dans le monde (A) : Part de la production de dattes par région, (B) : les dix principaux producteurs de dattes.....	15
Figure 8 : Carte de l'Algérie indiquant les différentes zones de culture du palmier dattier	16
Figure 9 : Inflorescences femelle (A) et mâle (B) du palmier dattier	25
Figure 10 : Plaques de métaphase et d'interphase montrant des combinaisons fluorescentes de chromomycine XX et XY chez <i>Phoenix dactylifera</i> : Deux chromosomes homomorphes (A) ou chromocentres (C) sont apparus sur les plantes femelles, et une paire de chromosomes hétéromorphes (B) ou chromocentres (D) sont apparus sur les plantes mâles.....	28
Figure 11 : Principe de la FISH	30
Figure 12 : Hybridation in situ par fluorescence du cultivar Zaghoul (a & b: avec sonde ADNr 45S verte) et le cultivar Siwi (c & d: avec des sondes ADNr 45S vertes et des sondes ADNr 5S rouges), dans les chromosomes du palmier dattier en métaphase. Les flèche en b & d indiquent des sites d'ADNr 45S suggérés pour être situés sur un chromosome Y.....	31
Figure 13 : Profil d'isozymes de peroxydase dans cinq géotypes mâles et cinq femelles de <i>H. rhamnoides</i> L.	33
Figure 14 : Les marqueurs les plus populaires de détermination du sexe chez les plantes en fonction des espèces étudiées (fréquence d'application en pourcentage)	34
Figure 15 : Principes de la RAPD	36
Figure 16 : Profiles de RAPD de palmiers dattiers (Mâles : M et femelle : F), révélés par les amorces OP-A11, OP-M11, OPO07 et OP-S07.....	37
Figure 17 : Schéma de la procédure SCAR	38
Figure 18 : Criblage des plantes mâles et femelles de palmier dattier avec un marqueur SCAR développé. La présence d'une bande indique des semis mâles et l'absence d'une bande indique des semis femelles	39
Figure 19 : Principe de la AFLP	40

Figure 20 : Profil d'AFLP obtenue par électrophorèse capillaire	41
Figure 21 : Principe des microsatellites	42
Figure 22 : Analyse par SSR des parents mâles et femelles de palmier dattier et de leurs semis	43

Liste des tableaux

Tableau 1 : Inventaire variétal dans les trois régions phoenicoles d'Algérie	18
---	----

Liste des abréviations

ADN : Acide **D**ésoxyribonucléique

AFLP : Amplified **F**ragments **L**ength **P**olymorphism

pb : paire de **b**ases

FISH : Fluorescence **I**n **S**itu **H**ybridization

PCR : Polymerase **C**hain **R**eaction

RAPD : Random Amplified **P**olymorphic **D**NA

SCAR : Sequence Characterized Amplified **R**egion

SSR : Simple Sequence **R**epeats

Table des matières

Introduction générale.....	1
Chapitre I. Généralités sur le palmier dattier	4
1. Origine du palmier dattier	4
1.1. Historique et actuelle du dattier	4
1.2. L'ancêtre sauvage du dattier cultivé.....	5
2. Description botanique du palmier dattier	5
2.1. L'appareil végétatif.....	6
2.1.1. Le stipe	6
2.1.2. Les palmes.....	7
2.1.3. Les bourgeons	8
2.2. L'appareil reproducteur	8
2.2.1. Les Inflorescences	8
2.2.2. Le fruit.....	11
2.3. Le système racinaire	12
3. Taxonomie	13
4. Importance du palmier dattier	15
4.1. Répartition du palmier dattier et les principaux cultivars en Algérie.....	15
4.2. Importance socio-économique.....	18
4.3. Importance écologique	19
Chapitre II. La reproduction et la détermination du sexe chez le palmier dattier	20
1. La multiplication sexuée (par semis des noyaux).....	20
2. La multiplication asexuée (ou végétative).....	21
2.1. Par rejets (ou rkebs).....	21
2.2. Par culture in vitro	22
3. Détermination du sexe chez le palmier dattier.....	23
3.1. Problème de la dioécie.....	23
3.2. Les chromosomes sexuels	24
Chapitre III. Techniques de détection du sexe chez le palmier dattier	26

1. Marqueurs chromosomiques	26
1.1. Coloration à la chromomycine A3.....	27
1.2. La FISH (Hybridation par Fluorescence In Situ)	28
2. Marqueurs biochimiques (isoenzymes).....	31
3. Marqueurs moléculaires.....	34
1.3. Les marqueurs RAPD	35
1.4. Les marqueurs SCAR	37
1.5. Les marqueurs AFLP.....	39
1.6. Les marqueurs SSR	41
Conclusion et perspectives.....	44
Références bibliographiques	

Introduction

Introduction générale

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L., $2n = 36$) est un arbre monocotylédone, dioïque, hétérozygote et pérenne qui appartient à la famille des Arecaceae. Il constitue une activité génératrice de revenus et une source d'approvisionnement alimentaire pour des millions de personnes, principalement dans les régions arides et chaudes du Moyen-Orient et de l'Afrique du Nord, qui sont favorisées par des conditions subtropicales sèches et des températures élevées appropriées (Masmoudi-Allouche *et al.*, 2011). En Algérie, cette culture occupe une place de premier rang dans l'agriculture saharienne (emploi, sédentarisation des populations, produits) (Benzouche, 2008).

Le palmier dattier est traditionnellement propagé par voie sexuée (graines) ou par voie végétative (ramifications = rejets). La propagation végétative, avec un nombre très limité de ramifications (environ 10 à 15 par arbre) est moins efficace par rapport aux procédures de micropropagation *in vitro* (Bouguedoura *et al.*, 1990). La reproduction sexuée donne une descendance comprenant environ 50 % de pieds femelles, producteurs de fruits et 50 % de pieds mâles, improductifs. Or, il est nécessaire d'attendre plusieurs années (5 à 8 ans) avant l'induction des premières floraisons pour connaître le sexe des plants, ce qui constitue un frein à l'exploitation raisonnée de ces palmiers. Un mode dioïque et un âge reproducteur tardif sont des contraintes pratiques majeures pour l'amélioration génétique. Un mâle est utilisé pour polliniser à la main environ 90 à 100 femelles (Bounaga, 1993) et pendant des siècles, l'accent a été mis sur la propagation clonale des femelles. Cela réduit la diversité génétique des cultivars, accélérant la vulnérabilité aux stress biotiques et abiotiques.

L'identification précoce des sexes mâle et femelle chez le palmier dattier revêt un intérêt primordial. Des marqueurs spécifiques du sexe ont été recherchés chez de nombreuses espèces dioïques, afin d'identifier précocement le sexe des plantes et faciliter la mise en œuvre de programmes de sélection (Khosla et Kumari, 2015). Chez le palmier dattier, peu de données sur le déterminisme du sexe sont disponibles. Cependant, des approches en cytologie moléculaire et des tentatives de détermination de marqueurs de sexe par des marqueurs moléculaires ont été mises en œuvre chez *Phoenix dactylifera* L., afin de faciliter l'identification précoce du sexe pour les programmes d'amélioration génétique et le maintien de la diversité de l'espèce. Dans ce contexte, nous avons résumé dans cette synthèse bibliographique l'état des connaissances actuelles sur ces techniques de marquage moléculaire du sexe chez le palmier dattier. Le présent document fera le point sur les approches

génétiques, biochimiques et moléculaires développées chez le palmier dattier pour la détermination du sexe des semis à un stade précoce. Il abordera aussi quelques travaux antérieurs réalisées sur le palmier dattier pour la sélection précoce des individus mâles et femelles.

Chapitre I

Généralités sur le palmier dattier

Chapitre I. Généralités sur le palmier dattier

1. Origine du palmier dattier

1.1. Historique et actuelle du dattier

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera L.*) a longtemps été l'une des plus importantes cultures fruitières dans les régions arides de la péninsule Arabique, l'Afrique du Nord et au Moyen-Orient. Au cours des trois derniers siècles, des dates ont été également introduites dans de nouvelles zones de production en Australie, en Inde/ Pakistan, au Mexique, en Afrique australe, en Amérique du Sud et aux États-Unis. Les dattes sont une principale source de revenus et un aliment de base pour les populations locales dans de nombreux pays où elles sont cultivées et jouent un rôle important dans l'économie, la société et l'environnement de ces pays (Chao et Kruger, 2007).

La datte est l'une des plus anciennes cultures fruitières connues et a été cultivée en Afrique du Nord et au Moyen-Orient depuis au moins 5000 ans (Zohary et Hopf, 2000). Des anciennes archives trouvées en Irak (Mésopotamie) montrent que la culture de la datte a probablement été établie dès 3000 ans avant notre ère. En raison de la longue histoire de la culture des dattes et de la large distribution et des échanges de cultivars, l'origine exacte de la datte reste inconnue, mais elle provient très probablement de l'ancienne région de Mésopotamie (sud de l'Irak) ou l'ouest de l'Inde (Wrigley, 1995).

De son centre d'origine, la culture des dattes s'est répandue à travers la péninsule Arabique, l'Afrique du Nord et le Moyen-Orient. Elle s'est apparemment répandue par la suite en Égypte au milieu du deuxième millénaire avant notre ère. La propagation de la culture des dattes a ensuite accompagné l'expansion de l'islam et a atteint le sud de l'Espagne et le Pakistan. Les Espagnols ont été les premiers à introduire des palmiers dattiers en dehors de la péninsule arabe, de l'Afrique du Nord et du Moyen-Orient/Asie du Sud, en les transportant en Amérique (Nixon, 1951).

La culture des dattes a eu une influence très importante sur l'histoire du Moyen-Orient. Sans dattes, aucune grande population humaine n'aurait pu être soutenue dans les régions désertiques. Les routes caravanières ont existé depuis des siècles principalement pour le transport de dattes. Très tôt, la culture des dattes est devenue un symbole sacré de la fertilité, d'une agriculture prospère et de renouvellement de la végétation. Les dattes avaient aussi une

grande importance spirituelle et culturelle pour les peuples du Moyen-Orient. Le palmier dattier et sa culture sont représentés dans les anciennes tablettes assyrienne et babyloniennes, y compris le célèbre Code de Hammurabi, qui contenait des lois relatives à la culture et aux ventes des dattes. On trouve également des références aux palmiers dattiers dans les anciens écrits égyptiens, syriens, libyens et palestiniens (Nixon, 1951 ; Popenoe, 1973).

La propagation du palmier dattier au pays du Maghreb s'est effectuée en suivant plusieurs voies : par les navigateurs arabes, qui utilisaient le commerce caravanier à travers le Sahara et introduisaient des noyaux de dattes par des esclaves ; par les anciennes transactions commerciales où les dattes étaient utilisées comme monnaie d'échange et par la colonisation qui favorisait la plantation de la variété Deglet Nour (Ouennoughi et Dubost, 2005).

1.2. L'ancêtre sauvage du dattier cultivé

Les difficultés à distinguer les espèces de *Phoenix* et à identifier les parents proches du dattier ont longtemps entravé les recherches sur son origine. De nombreuses hypothèses ont été avancées pour lui attribuer un ancêtre sauvage (Munier, 1973). Certains auteurs affirment que le dattier cultivé proviendrait d'une ou plusieurs formes sauvages de la même espèce (Zohary et Spiegel-Roy, 1975). D'autres stipulent qu'il dériverait d'une autre espèce du genre *Phoenix* : *P. sylvestris*, *P. canariensis*, *P. atlantica* et *P. reclinata* ont été proposées (Munier, 1973). Enfin, une dernière hypothèse associe les deux précédentes : le dattier proviendrait d'une hybridation entre des dattiers sauvages et une autre espèce du genre *Phoenix* (Munier, 1973). Une analyse génétique basée sur des marqueurs microsatellites nucléaires et un minisatellite chloroplastique a récemment réfuté les deux dernières hypothèses (Pintaud *et al.*, 2010). En effet, le profil allélique du dattier apparaît fortement divergent des autres *Phoenix* indiquant que *P. dactylifera* est une espèce distincte qui a été domestiquée indépendamment des autres (Pintaud *et al.*, 2010).

2. Description botanique du palmier dattier

Le palmier dattier est une plante monocotylédone à croissance apicale dominante. Le diamètre du tronc de l'arbre demeure généralement stable sous les mêmes conditions à partir de l'âge adulte. (Sedra, 2003). On distingue 3 parties : un système racinaire, un organe végétatif composé du tronc et de feuilles et un organe reproductif composé d'inflorescences mâles ou femelles (figure 1).

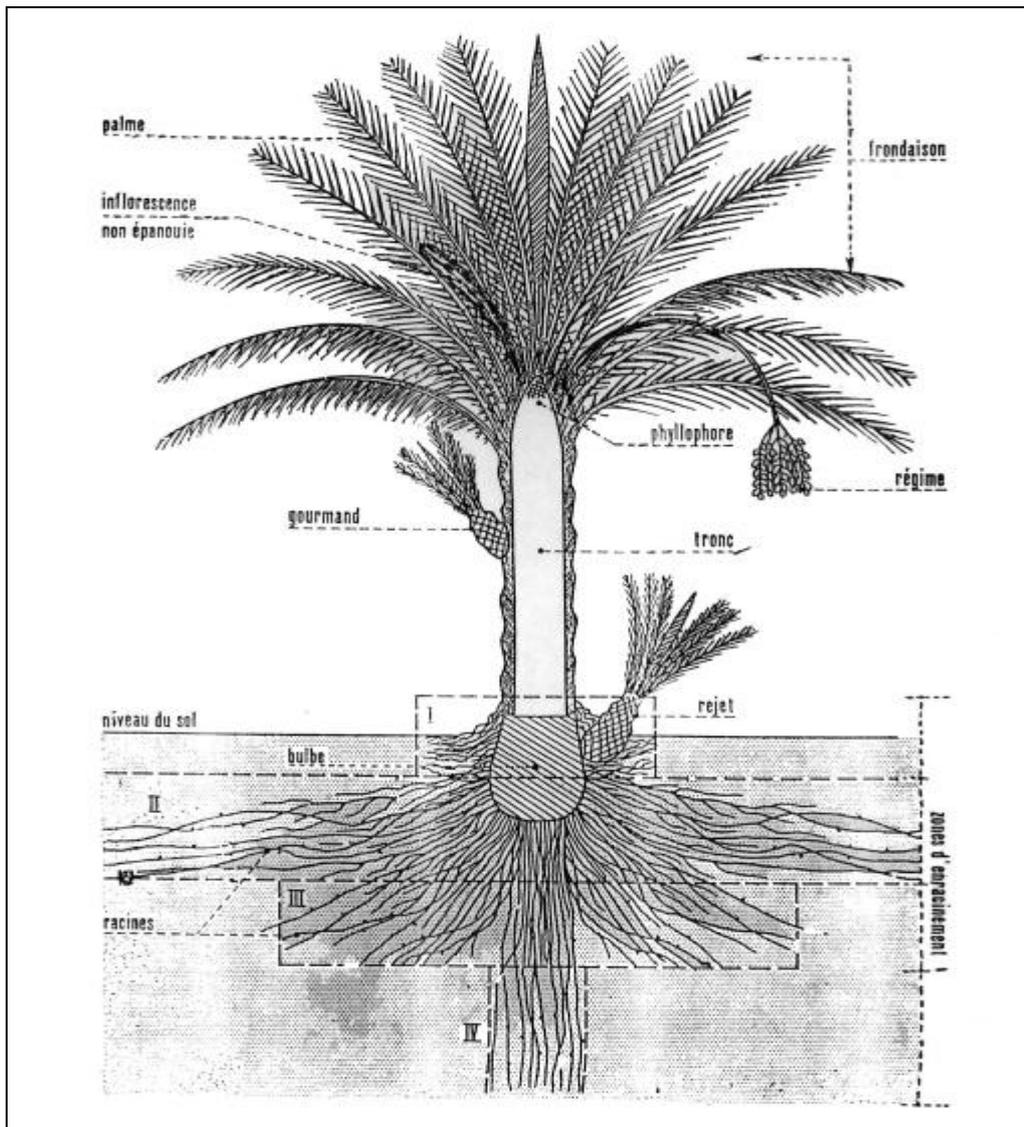


Figure 1 : Figure schématique des différentes parties d'un palmier dattier adulte (Munier, 1973)

2.1. L'appareil végétatif

2.1.1. Le stipe

Le tronc est monopodique de forme généralement cylindrique c'est-à-dire d'un même diamètre de base en haut, unique (stipe) non ramifié, la longueur peut dépasser 20 mètres. Il est revêtu par les bases des palmes (cornafs) qui sont elles-mêmes imbriquées dans des fibrilles appelées fibrillum. Ces fibrillums sont des excroissances de la base des palmes qui entourent complètement le tronc (Brac de la Perrière, 1995). Il reste couvert pendant de nombreuses années, des bases foliaires des anciennes feuilles desséchées. Les bases foliaires

finissent par tomber dégageant le stipe proprement dit sur lequel les cicatrices des feuilles restent visibles.

Le développement du stipe est assuré par un méristème terminal dont l'activité végétative est indéfinie durant toute la vie de la plante. Durant la croissance du stipe, des zones de rétrécissement du diamètre sont observées. Elles sont souvent dues aux dysfonctionnements physiologiques liés à un manque d'eau, à l'âge ou à des maladies et des insectes (Hilgeman, 1951). Le tronc est constitué par un parenchyme amylofère dans lequel les faisceaux vasculaires sont distribués de façon dense dans la région corticale et plus lâche dans la région centrale. La concentration des faisceaux dans la zone corticale correspond à l'arrivée des faisceaux de la base des palmes et ces tissus constituent le cortex du tronc (Bouguedoura, 1991 ; Bounaga, 1993) In [Elhoumaizi, 2002]. Le stipe ne se ramifie pas, mais le développement des gourmands ou rejets aériens, en arabe (R'kebs) peut donner naissance à des ramifications.

2.1.2. Les palmes

L'ensemble des palmes vertes forme la couronne du palmier. On dénombre de 50 à 200 palmes chez un arbre adulte (Peyron, 2000). Les palmes peuvent atteindre une longueur de 6m (Khenfar, 2004) et vivent de 3 à 7 ans, selon les variétés et le mode de culture. Elles sont émises par le bourgeon terminal ou « Phyllophore » (Peyron, 2000).

Au cours de sa vie, un dattier issu de semis produit trois sortes de feuilles : juvéniles, semi-juvéniles et adultes (Elhoumaizi, 2002)

- Des feuilles juvéniles : observées sur les jeunes plants de moins de 2 ans au nombre de 10 à 12 feuilles, constituées d'un limbe entier et plissé. Elles sont pétiolées, engainantes, à nervation pennée et sont appelées éophylles (Tomlinson, 1960).
- Des feuilles semi-juvéniles : Dès la troisième année les feuilles forment un limbe plus au moins découpé vers la base. Les plis de la base se séparent pour donner les folioles de base tandis que le reste du limbe reste entier et plissé. Les folioles de la base ont déjà l'aspect d'épines.
- Des feuilles de type adulte sont appelées palmes. Un palmier adulte peut porter entre 30 à 140 palmes. Une palme comporte un rachis sur lequel sont insérés des folioles. Chaque foliole est pliée longitudinalement en gouttière. La gouttière est tournée vers le haut. La section transversale de foliole est en forme de V. Les palmes sont disposées en spirale sur le tronc. (Girard, 1962). La base du rachis est ou pétiole est large et

engainante. La gaine, constituée d'un tissu fibreux (tissage végétale), recouvre le tronc du palmier (Figure 2).

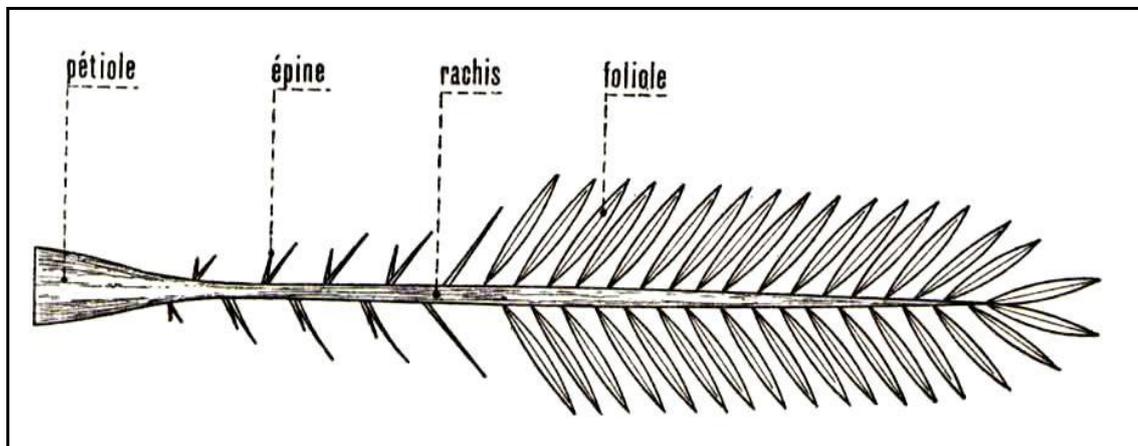


Figure 2 : Schéma d'une palme (Munier, 1973)

2.1.3. Les bourgeons

A l'aisselle de chaque palme, se trouve un bourgeon axillaire qui peut se développer pour donner naissance à un rejet, à la base du stipe ou aérien attaché au tronc, dénommé vulgairement "rkeb" dans la partie basale de l'arbre ou une inflorescence dans la partie supérieure (Sedra, 2003). Ces rejets sont utilisés pour la multiplication végétative des cultivars sélectionnés. Au cours de la première période de sa vie un jeune rejet produit davantage de bourgeons inflorescentiels que des bourgeons végétatifs. Ces bourgeons avortent très tôt, c'est la période juvénile stérile. Les bourgeons axillaires sont initiés tout au long de la vie du dattier, leur fréquence relative varie avec l'âge de la plante (Bouguedoura, 1979). Le bourgeon apical ou terminal est responsable de la croissance en hauteur du palmier et du développement des feuilles et de bourgeons axillaires. La vie du dattier serait donc divisée en deux phases bien distinctes : au jeune âge c'est la période végétative, à l'état adulte c'est la phase reproductrice (Bouguedoura, 1982).

2.2. L'appareil reproducteur

2.2.1. Les Inflorescences

Le palmier dattier commence à fleurir après une longue phase juvénile, entre 5 et 8 ans après la germination des graines dans des conditions de culture favorables. La floraison est généralement annuelle et dure durant toute la vie de la plante. C'est une espèce dioïque,

Chapitre I. Généralités sur le palmier dattier

composée par les pieds mâles (Dokkars) portants des inflorescences mâles et les pieds femelles portants des inflorescences femelles. Chaque pied mâle donne en moyenne 30 à 40 spathes mâles par an, alors que le pied femelle produit de 12 à 20 spathes femelles chaque année (Amin,1990). Le dattier est une espèce pléonanthique où les inflorescences sont produites de façon latérale à l'aisselle des palmes. Les organes reproducteurs ou les inflorescences naissent du développement des bourgeons axillaires situés à l'aisselle des palmes adultes. Ces inflorescences mâles et femelles dont la longueur peut atteindre plus de 1m, sont composées d'un axe, la hampe ou (d'un point de vue botanique) le rachis, sur lequel sont insérés de nombreux épillets (rachillae) portant des fleurs sessiles (sans pédoncules). L'ensemble est enveloppé dans une grande bractée ligneuse ou spathe qui s'ouvre d'elle-même à maturité, suivant, la ligne médiane du dos (Figure 3).

La fleur femelle est globulaire, d'un diamètre de 3 à 4 mm ; elle est constituée d'un calice court, de trois sépales soudés et d'une corolle, formée de trois pétales ovales et de six étamines avortées ou staminoïdes (Figure 3). Le gynécée comprend trois carpelles, indépendants à un seul ovule anatrope. Au moment de la pollinisation, un seul ovule est fécondé, ce qui aboutit au développement d'un seul carpelle qui, à son tour, évolue pour donner à maturité, le fruit appelé datte. Les autres ovules avortent et tombent après la pollinisation.

La fleur mâle a une forme légèrement allongée et est constituée d'un calice court, de trois sépales soudés et d'une corolle formée de trois pétales et de six étamines (Figure 3). Les fleurs mâles sont généralement, de couleur blanc crème, à odeur caractéristique de pâte de pain.

Les phénomènes de changement de sexe chez le palmier ou de l'existence d'inflorescences des deux sexes à la fois, sont très rares.

La floraison du dattier ne se déclenche généralement qu'une seule fois par an. Elle se divise en plusieurs phases successives régies par différents facteurs endogènes et exogènes (Jahiel, 1989). D'après Munier (1973) l'émergence des inflorescences serait liée à un processus faisant intervenir les facteurs climatiques, en particulier la température et se déroule en deux phases dans les régions sahariennes :

- Une phase d'initiation qui se fait pendant la période où la température moyenne journalière est au-dessous du zéro de floraison. Elle correspond au repos végétatif du dattier. Le zéro de floraison, est de l'ordre de 18°C. Dans les pays du Sahel, il est de l'ordre de 24°C alors qu'à Elche (Espagne) elle est à 17°C (Jahiel et Fortin, 1991).

Chapitre I. Généralités sur le palmier dattier

- Une phase d'élongation qui est initiée par une augmentation de la température au-dessus du zéro de floraison. Selon Peyron (1990), les inflorescences mâles et femelles se différencient par les caractères suivants :

- l'inflorescence mâle est plus trapue que l'inflorescence femelle.
- les fleurs sont très denses sur les épis mâles alors qu'elles sont éparées sur les épis femelles.
- les épis sont nombreux et sont de même longueur chez les inflorescences mâles.
- les fleurs mâles sont légèrement plus allongées et plus nombreuses. Elles émettent une forte odeur caractéristique attirant ainsi les abeilles, alors que les fleurs femelles sont globuleuses, moins denses et sans odeur.

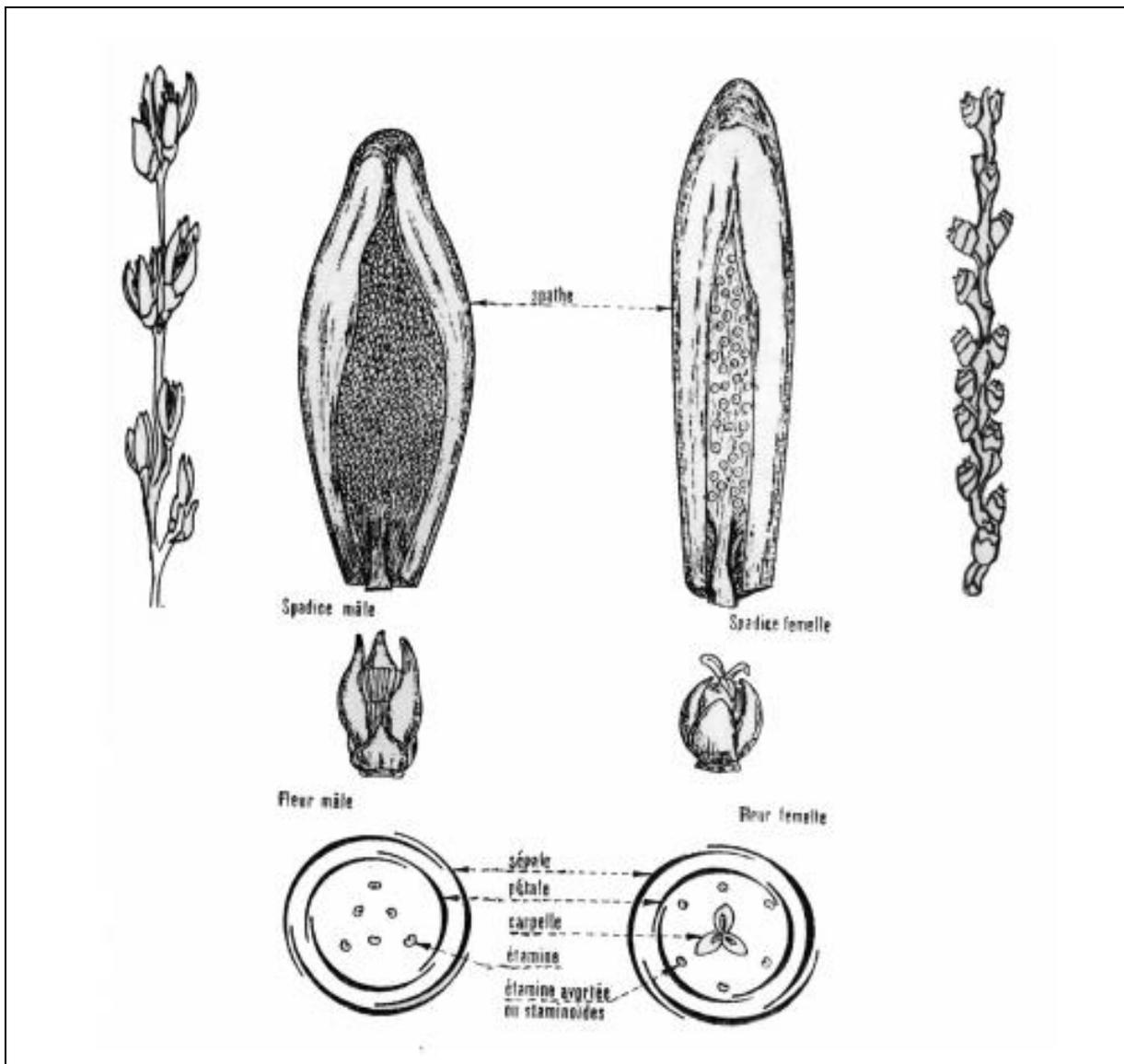


Figure 3 : Inflorescence mâle et femelle (d'après Munier, 1973)

2.2.2. Le fruit

Le fruit est une baie contenant une graine appelée communément, noyau. Après fécondation (anémogame), un seul carpelle sur les trois se développe ; l'ovule évolue pour donner un fruit de couleur verte (taille d'un pois puis d'un fruit de raisin jusqu'à la taille normale de la datte). En effet, cinq stades d'évolution du fruit sont connus et prennent des appellations locales différentes (Figure 4) en fonction des pays et des régions (Sedra, 2003). La durée de fructification est variable selon les cultivars et les conditions climatiques.

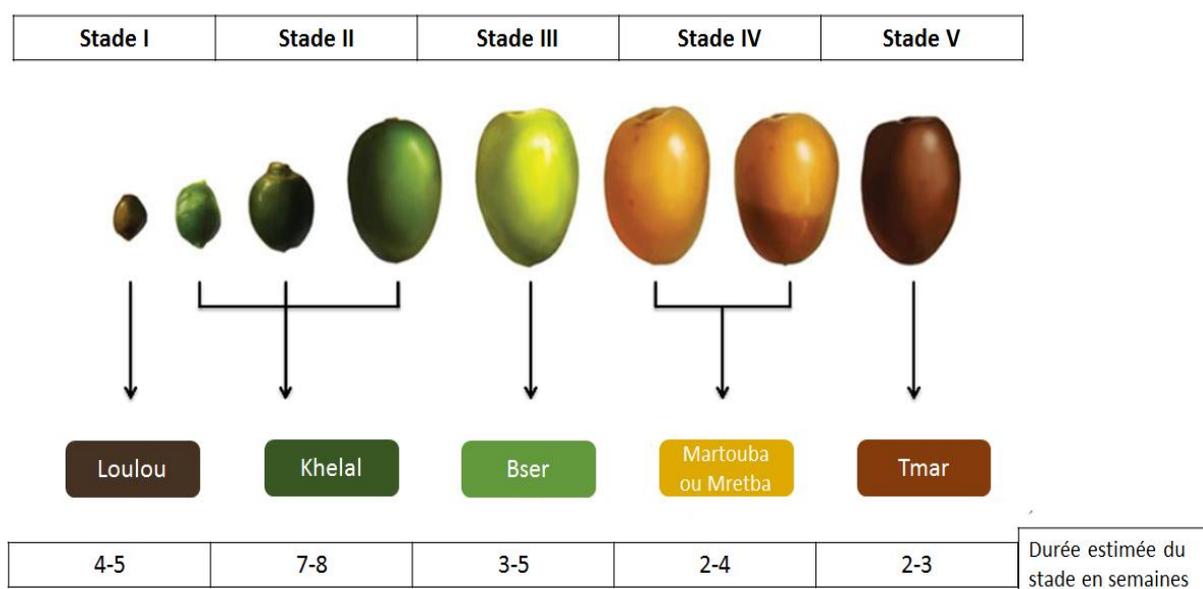


Figure 4 : Stades d'évolution du fruit et ses appellations en Algérie (Sedra, 2003)

La datte est constituée d'une partie charnue comestible riche en sucre (mésocarpe) protégée par un épicarpe fin (Figure 5). La graine est entourée d'un endocarpe parcheminé. La graine est appelée vulgairement et erronément "Noyau". Elle est fusiforme, atténuée aux bouts et présente chez certains cultivars des protubérances. La face dorsale présente un sillon de forme variable. La face ventrale est convexe avec une faible dépression circulaire refermant le pore germinatif (Maire, 1957).

Les caractères du fruit sont fluctuants selon les conditions du milieu, l'âge des arbres et les techniques culturales (Girard, 1962 ; Munier, 1973). La datte est composée essentiellement d'eau, de sucres non réducteurs (saccharose) ; de sucres réducteurs (glucose, fructose), de protides, de lipides, de cellulose, de pectines, de sels minéraux, de vitamines et d'enzymes. Chimiquement, Slade (1906) avait distingué deux catégories de dattes : celles à saccharose et celles à sucres réducteurs (glucose et fructose).

Dans la classification commerciale, trois catégories de dattes sont distinguées :

- Des dattes molles dont la chair est très aqueuse lorsqu'elles sont fraîches
- Des dattes demi-molles dont la teneur en eau de la chair est moins élevée que celle de la catégorie molle. Elles sont relativement sèches au stade Tamar
- Des dattes sèches dont la pulpe est naturellement sèche Du développement à la maturation, la datte passe par plusieurs étapes caractérisées par des variations de la couleur, de la forme et des caractères chimiques (Benyamin *et al.*, 1972).

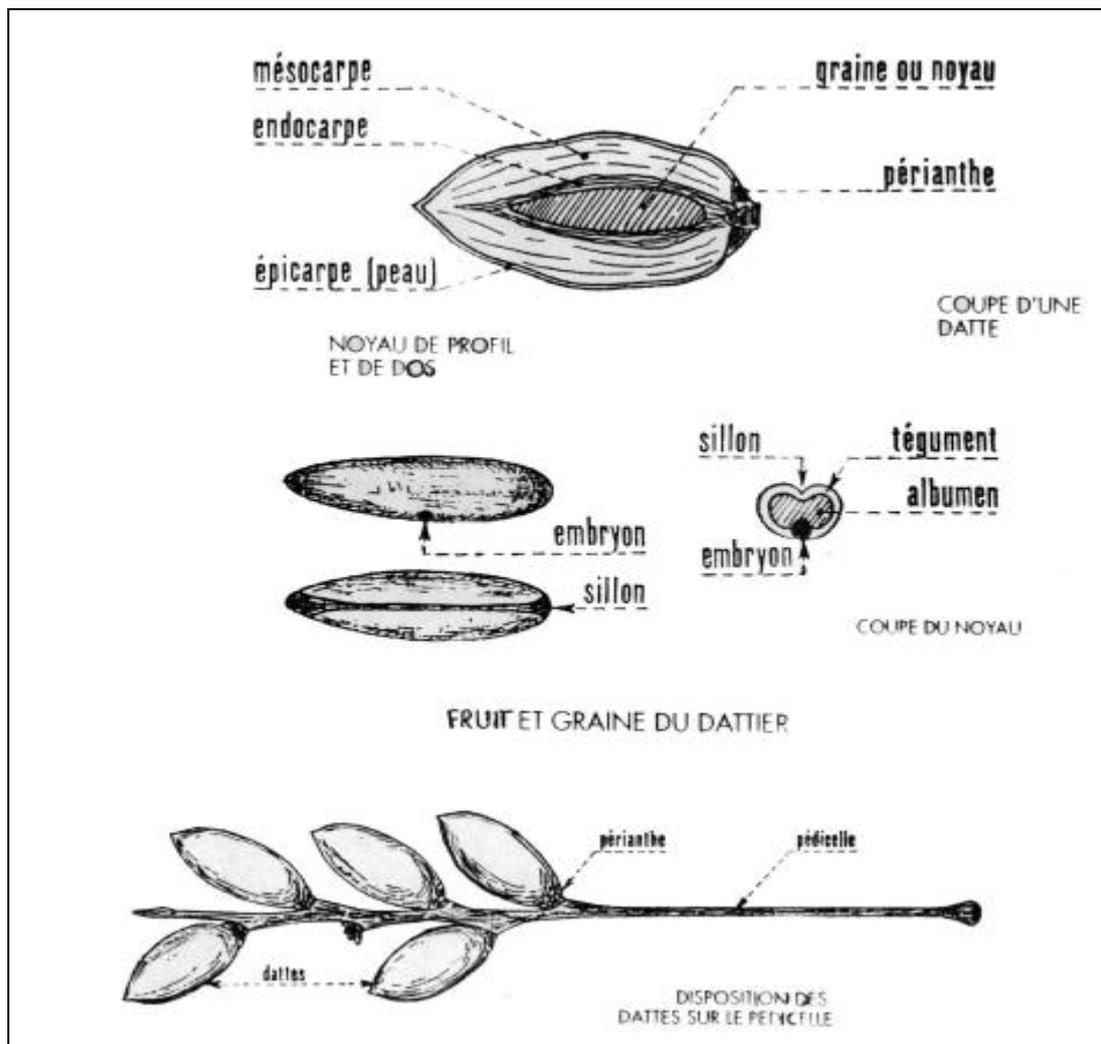


Figure 5 : Morphologie et anatomie du fruit et de la graine du palmier dattier (d'après Munier, 1973)

2.3. Le système racinaire

Le système racinaire du dattier est de type fasciculé. La densité des racines dans le sol est décroissante en profondeur et dont le diamètre ne dépasse pas 1,5 cm et qui émergent partiellement au-dessus du niveau du sol à une hauteur allant jusqu'à 50 cm de la base du

tronc. Dans des conditions normales, le système racinaire d'un palmier dattier ayant une hauteur de 8 à 10m peut s'étendre latéralement à plus de 7m du tronc et atteindre une profondeur supérieure à 6 mètres (Fonteney, 1960).

Ces racines, dépourvues de poils absorbants, sont structurées comme suit : d'abord les racines du premier ordre (auxirhyzes), qui émettent des racines du deuxième ordre (mésorhyzes), donnant naissance à leur tour à des racines de troisième ordre (brachyrhyzes). Munier (1973) puis Oihabi (1991) distinguent quatre zones du sol (I, II, III et IV) occupées par les racines :

- **Zone I : racines respiratoires**, elles sont superficielles ne dépassent pas 0,25 m de profondeur, Ces racines jouent un rôle respiratoire grâce aux aérifères ou lenticelles qui permettent des échanges gazeux avec l'air de l'atmosphère du sol (Munier, 1973).

- **Zone II : racines de nutrition**, elles contiennent la plus forte proportion de racines du système. Elles se trouvent entre 0,20 et 1m de profondeur.

- **Zone III : racines d'absorption**, elles se développent selon le mode de culture et la profondeur de la nappe phréatique. Elles peuvent atteindre une profondeur de 17 m.

- **Zone IV : racines d'absorption de profondeur**, Cette zone peut être très réduite et se confondre avec la précédente lorsque le niveau phréatique se trouve à faible profondeur, mais lorsque celui-ci est très profond, les racines de cette zone peuvent atteindre 20 m de profondeur.

3. Taxonomie

La première description du palmier dattier a été signalée par le botaniste Linné qui, en 1734 lui attribue le nom botanique de *Phoenix dactylifera*. Le terme Phoenix proviendrait de *phoinix*, nom du dattier chez les Grecs de l'Antiquité qui le considéraient comme l'arbre des Phéniciens (Munier, 1973). Une autre hypothèse veut que les Grecs aient appelé Phoenix l'oiseau renaissant de ses cendres et qu'il ait été attribué au dattier en raison de sa capacité à survivre après avoir été partiellement brûlé (Popenoe, 1938). Le terme dactylifera fait référence au doigt (dactylus en latin, dérivant de dachel en hébreu, Popenoe, 1938) en raison de la forme des fruits et à fero, « qui porte » en latin.

Le dattier est une monocotylédone, arborescente et diploïde ($2n= 36$) de l'ordre des Arecales (anciennement spadaciflore), de la famille des Aracaceas (anciennement des Palmae) et de la sous famille des Coryphinae, caractérisé par la morphologie des feuilles et par le mode de floraison (Peyron, 1988). Le genre *Phoenix* comprend 14 espèces réparties dans les

Chapitre I. Généralités sur le palmier dattier

régions tropicales et subtropicales de l’Ancien Monde (Barrow 1998 ; Henderson, 2009) (Figure 6). Le dattier est la seule espèce du genre à être cultivée pour ses fruits.

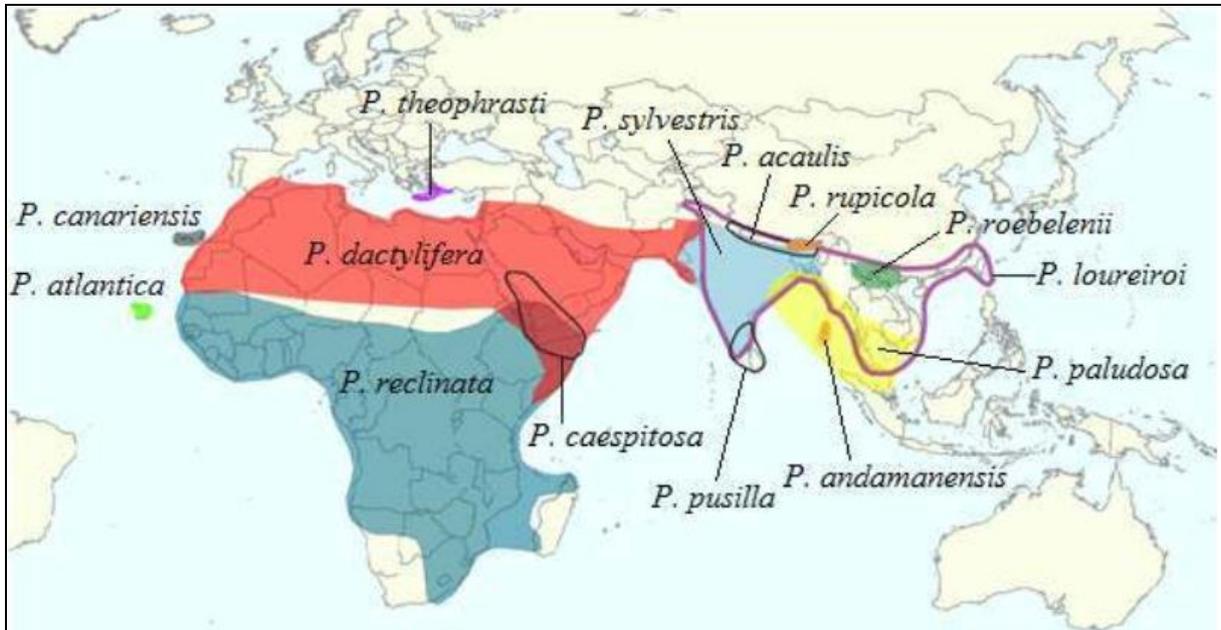


Figure 6 : Carte de répartition du genre *Phoenix* (Gros-Balthazard, 2013) : La distribution de *P. dactylifera* correspond à l’aire de culture traditionnelle

Voici sa position systématique actuelle, basée sur des données récentes de l’International Code of Botanical Nomenclature (Dransfield, 1999 ; Hendreson, 2009).

Embranchement : Angiospermes

Classe : Monocotylédones

Ordre : Principes

Famille : Arécacées

Sous-famille : Coryphoidées

Tribu : Phoenicées

Genre : *Phoenix*

Espèce : *Phoenix dactylifera* L.

4. Importance du palmier dattier

4.1. Répartition du palmier dattier et les principaux cultivars en Algérie

Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO, 2018), la superficie cultivée en palmier dattier dans le monde est estimée à 1,1 millions ha répartie dans plus de 30 pays. L'analyse de la répartition régionale indique qu'environ 60 millions de palmiers dattiers se trouvent en Asie (l'Arabie saoudite, Bahreïn, les Émirats arabes unis, Iran, Iraq, Koweït, Oman, Pakistan, Turkménistan et Yémen) et environ 32,5 millions d'arbres se trouvent en Afrique (Shafik *et al.*, 2018). Ces effectifs ont produit 8,526,218 tonnes de dattes en 2018 au niveau mondial dont 55,5% sont produites par l'Asie (Figure 7-A). Les statistiques actuelles indiquent que l'Égypte occupe la première place quant à la production de dattes suivie de l'Arabie Saoudite puis l'Iran (Figure 7-B). L'Algérie se trouve actuellement en 4^{ème} rang mondial avec une production estimée à 1,076,629,5 tonnes (FAO, 2018).

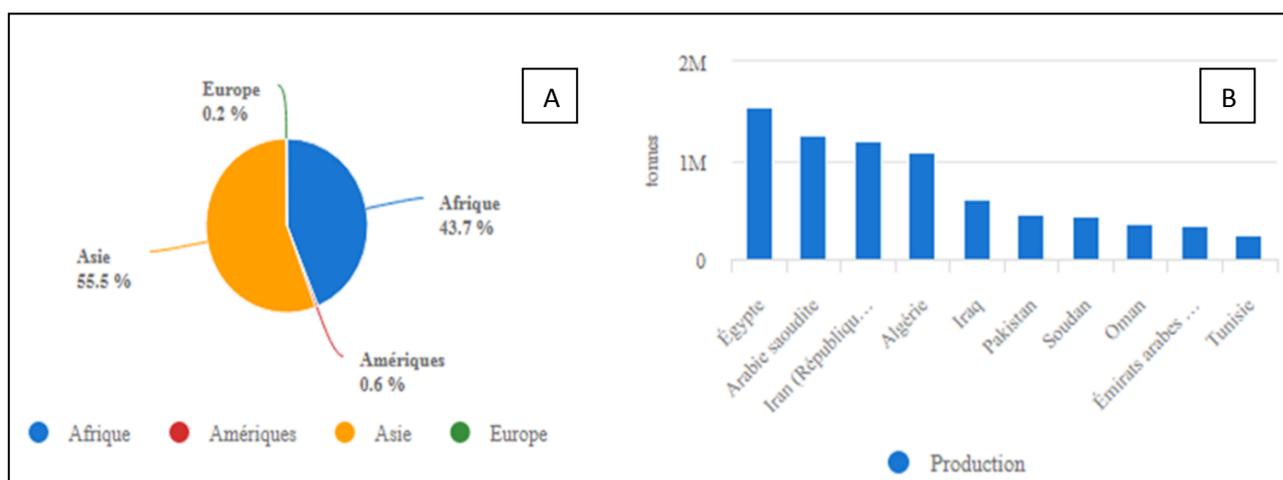


Figure 7 : Production de dattes dans le monde (FAO, 2018). (A) : Part de la production de dattes par région, (B) : les dix principaux producteurs de dattes.

Avec 18 201 640 palmiers dattiers éparpillés sur une surface globale de 163 985 ha et une production de 7 893 570 de quintaux par an, l'Algérie figure parmi les grands pays à fort potentiel phoenicicole. La variété Deglet Nour (datte fine), très réputée mondialement, est produite grâce aux 6 998 143 arbres qui existent seulement au niveau de douze wilayas du pays. Mais d'autres variétés comme Ghers (dattes molle) ou Degla Beida (datte sèche), autant riches les unes que les autres, sont produites par 11 203 497 de palmiers existant dans les wilayas phoenicicoles de l'Algérie (Blama Merzaia, 2014).

Actuellement, la culture des palmiers dattiers dans les oasis occupe les régions situées au sud des montagnes de l'Atlas saharien. Elle commence à la frontière marocaine, à l'ouest, et

Chapitre I. Généralités sur le palmier dattier

se termine à l'est de la frontière est tuniso-libyenne. Du nord au sud de l'Algérie, elle s'étend des contreforts du sud de l'Atlas saharien à Reggane à l'ouest, Tamanrasset au centre et Djanet à l'est (Figure 8) (Bouguedoura *et al.*, 2015)

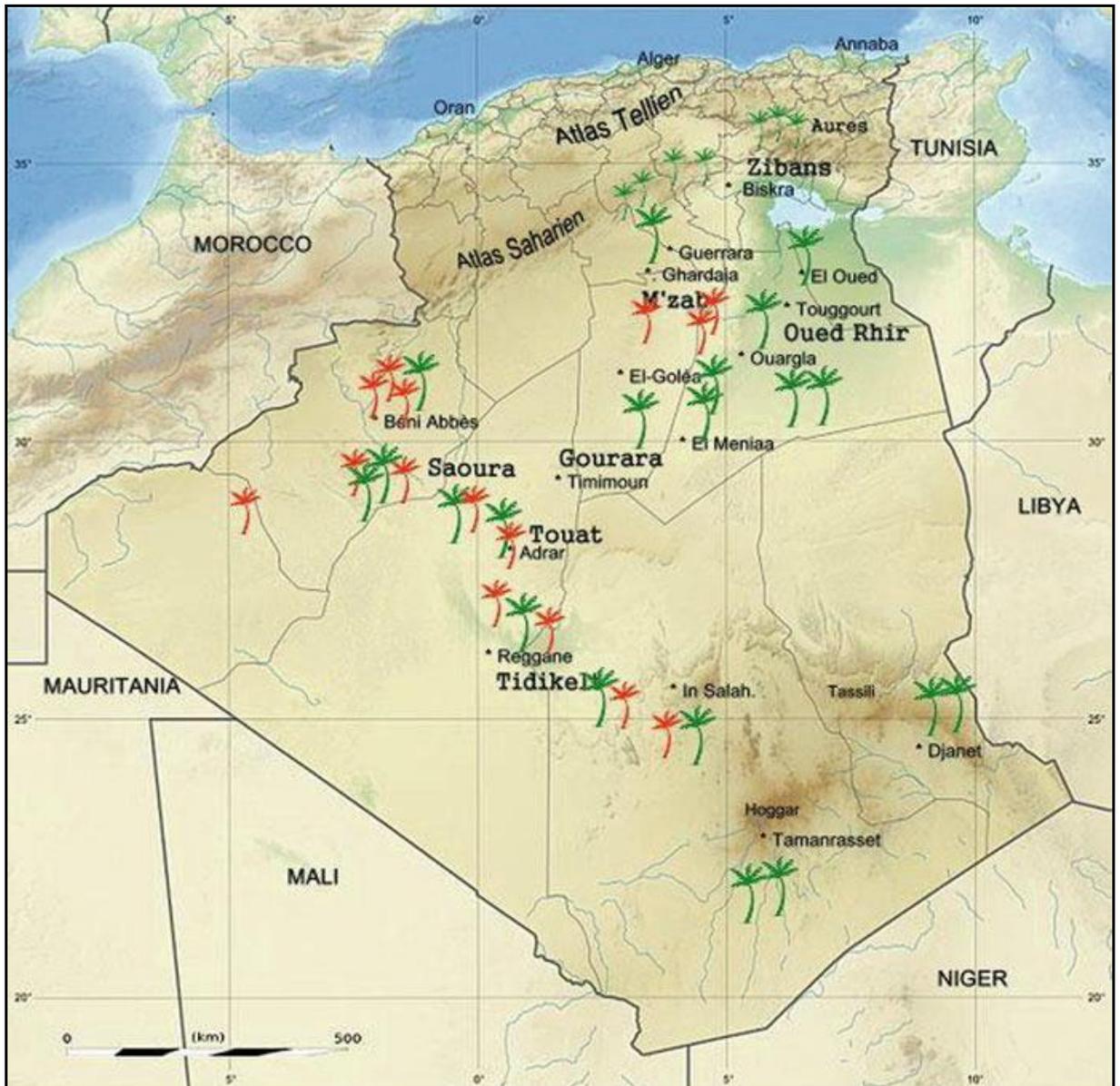


Figure 8 : Carte de l'Algérie indiquant les différentes zones de culture du palmier dattier (Bouguedoura *et al.*, 2015)

Le palmier dattier est cultivé dans de nombreuses oasis réparties dans le sud du pays, où le climat est chaud et sec. Les oasis sont des espaces de vie artificiellement implantés au milieu d'une grande zone aride où l'eau est présente. À ces endroits, un ksar (un village fait d'argile) a été construit et des palmiers dattiers ont été plantés autour de lui. Ces systèmes

Chapitre I. Généralités sur le palmier dattier

d'oasis de production intensive et complexe sont maintenus avec un équilibre très fragile. (Bouguedoura *et al.*, 2015). Compte tenu de la géographie de l'Algérie, il est possible de décrire plusieurs régions de culture du palmier dattier :

- (a) Dans les contreforts des montagnes de l'Atlas (Ksour Ouled Naïl, les Zibans et Aures), il existe une chaîne d'oasis qui marque la porte d'entrée du Sahara.
- (b) A l'est, les Zibans (Biskra), Oued Ghir, Oued Souf (El Oued), et le bassin de Ouargla notamment avec le cultivar Deglet Noor à haute valeur commerciale.
- (c) À l'ouest, Saoura (Beni Abbès), le Touat (Adrar), le Gourara (Timimoun) et le Tidikelt (Reggane) où les palmeraies comprennent des cultivars de qualité commerciale relativement faible. C'est dans cette zone que le seul cultivar véritablement résistant au bayoud, « Taqerbucht », existe.
- (d) Au centre. El Golea, le M'zab (Ghardaïa) et Laghouat.

Il existe différents types d'oasis en fonction de la nature et de l'exploitation des ressources en eau, du type de sol et de la topographie :

- (a) Oasis dans les dépressions de l'erg (champ de dunes), où l'eau d'irrigation provient des eaux souterraines par puits et forage (oasis de Ouargla)
- (b) Oasis dans les Ghouts où l'eau d'irrigation est aspirée par capillarité (oasis de Souf).
- (c) Oasis fluviales, alimentées en eau de rivières (Oued de Ghoufi, Oued M'zab, Oued Saoura).
- (d) Oasis des dépressions, alimentées en eau par des foggaras (Touat, Gourara et Tidikelt).

Près d'un millier de cultivars a été inventorié et les trois régions principales de culture se distinguent sur le plan de la diversité génétique (tableau 1). A cette catégorie, il faut ajouter un grand nombre de pieds francs ou « Khalts » qui poussent au hasard dans les oasis et qui représentent une source pour de nouvelles sélections de cultivars appréciables pour leur datte et pour leur résistance au bayoud (Aberlenc-Bertossi, 2008).

La distribution des cultivars principaux montre une répartition est-ouest très marquée. Une cinquantaine de cultivars se retrouvent dans deux ou trois régions mais la majorité des cultivars reste endémique à leur région ou à leur zone d'origine.

A l'est, le cultivar « Deglet Nour », dont les dattes sont destinées à l'exportation vers les pays du Nord, continue à prendre de l'ampleur et frôle aujourd'hui les 50 % de la population des palmiers dattiers plantés.

Chapitre I. Généralités sur le palmier dattier

Tableau 1 : Inventaire variétal dans les trois régions phoenicicoles d'Algérie (Aberlenc-Bertossi, 2008).

Région	Cultivars les plus courants
Ouest	
Atlas	Ghares, Asyan, Feggus,
Saoura	Feggus, Hartan, Cherka, Hmira, Deglet Talmine
Gourara	Hmira, Tinnaser, Taqerbuch
Touat	Tgazza, Aghamu, Taqerbuch
Tidikelt	Tgazza, Taqerbuch, Cheddakh, Aggaz
Centre	
El-Ménia	Timjuhart, Ghars, Timedwel
M'zab	Azerza, Ghars, Deglet Nour, Taddela
Est	
Ouargla	Ghars, Deglet Nour, Degla Beida
Oued Righ	Deglet Nour, Ghars, Degla Beida
Souf	Deglet Nour, Ghars, Degla Beida, Mich Degla
Zibans	Deglet Nour, Ghars, Degla Beida, Mich Degla
Aures	Buzrur, 'Alig, Buhles, Mich Degla
Tassili	Tanghimen, Tabanist, Khadaji

4.2. Importance socio-économique

Le palmier dattier revêt une importance capitale dans la stabilité socio-économique du Sahara algérien qui représente les (4/5) du territoire national (Dubost, 1991). Il permet la subsistance de nombreuses familles dont les moyens d'existence reposent sur les produits générés directement et indirectement par cet arbre fruitier.

En effet, le palmier dattier est cultivé essentiellement pour ses dattes qui représentent la base de l'alimentation des populations oasiennes et la composante vitale dans les oasis compte tenu de leur importance nutritionnelle et économique. Les dattes sont des fruits hautement énergétiques riches en hydrate de carbone, en éléments minéraux et en vitamines en plus d'un grand pouvoir antioxydant attribué à leur richesse en composés phénoliques (Aberlenc-Bertossi, 2008).

L'économie des wilayas du sud repose principalement sur la culture du palmier dattier et l'utilisation de ses fruits dans des produits tels que la pâte, la farine, le sirop, le vinaigre, l'alcool, la levure et la confiserie. Cela constitue une source majeure de revenus pour les

habitants des oasis (Bouguedoura *et al.*, 2015). Toutes les parties du palmier dattier sont exploitées, y compris les feuilles et les troncs qui sont utilisés pour la vannerie et la construction de maisons. Le fruit est consommé sous forme fraîche et sèche, transformé pour produire du sirop (Mimouni et Siboukeur, 2011), ou fermenté pour produire du vin et du vinaigre (Ould El Hadj *et al.*, 2012). Les feuilles et les graines sont utilisées dans l'alimentation animale.

Le Bas Sahara qui couvre les Ziban, le Souf, l'Oued Righ et le pays d'Ouargla, abrite les pôles économiques des plus célèbres (Ziban, Souf et Oued Righ) comptabilisant à eux seuls 67% du potentiel de la production dattière (Messar, 1993). Le Bas Sahara constitue aussi l'aire privilégiée et représentative de la palmeraie algérienne pour la culture de la variété Deglet-Nour, hautement prisée tant sur le marché national qu'international. La province de Biskra arrive en tête avec près de 31% de la production nationale suivie par El Oued (27%) et Ouargla avec 18%. Les spécificités édaphiques et pédoclimatiques, ainsi que la gestion des cultures et la valeur marchande des cultivars, justifient l'importance de la production dans ces régions (Bouguedoura *et al.*, 2015).

4.3. Importance écologique

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) est « l'arbre » fruitier par excellence du désert où il constitue le pivot de l'agriculture oasienne caractérisée par une stratification et une association de plusieurs cultures sous-jacentes (Aberlenc-Bertossi, 2008).

Dans une oasis, les palmiers dattiers ont plusieurs avantages en améliorant la qualité du sol avec de la matière organique et en minimisant le dessèchement du sol, créant un microclimat favorable qui aide les populations à supporter les conditions climatiques difficiles du désert (Faci, 2019). Aussi, le dattier présente l'immense bénéfice de lutter contre la désertification par l'interception du rayonnement solaire intense et la mise en place d'un « barrage vert et productif », l'oasis. La présence de cet « arbre » fruitier dans ces zones lui confère un rôle écologique indéniable en y limitant la progression des espaces steppiques et l'ensablement des terres agricoles (Aberlenc-Bertossi, 2008).

Chapitre II

La reproduction et la détermination du sexe chez le palmier dattier

Chapitre II. La reproduction et la détermination du sexe chez le palmier dattier

Chez le palmier dattier, la création traditionnelle de variétés a été réalisée par la sélection d'individus dans des populations puis par leur multiplication végétative à partir des rejets. De manière conventionnelle chez cette espèce, le terme variété correspond donc exclusivement à un clone. Plusieurs milliers de variétés adaptées aux conditions écologiques et socio-économiques propres à chaque région et même à chaque oasis ont ainsi été créés. Ce patrimoine très riche est menacé d'érosion en raison de la pression à l'uniformisation créée par le marché international (Aberlenc-Bertossi, 2008). La croissance normale d'une variété et la production en dattes (qualité et quantité) pourraient diminuer si l'entretien du palmier est insuffisant ou absent.

Très peu de programmes d'amélioration génétique ont été engagés chez cette espèce. Cela s'explique entre autres par :

- sa nature dioïque : chaque pied issu de graine est le résultat d'une hybridation entre deux génomes distincts. L'hétérozygotie est très forte chez le dattier ;
- la première fructification ne se produit que 5 à 7 ans après le semis ;
- à partir d'un croisement, la disponibilité en plants identiques est au départ limité à une dizaine de rejets qui, de plus, ne peuvent être transplantés qu'une quinzaine d'années après le semis.

La propagation du palmier dattier se fait généralement par rejets, puisque l'espèce ne se reproduit pas fidèlement par noyau (ou graine). De nouvelles techniques de multiplication ont largement été expérimentées chez le dattier, et ont abouti à donner leurs fruits ; il s'agit des méthodes de culture *in vitro*.

1. La multiplication sexuée (par semis des noyaux)

C'est le mode le plus anciennement pratiqué par les phoeniculteurs, permettant de produire des millions d'hybrides et de créer un énorme réservoir de diversité génétique (Ferry *et al.*, 1991). La reproduction par graine est longue elle ne permet en effet d'obtenir des sujets productifs qu'au bout d'une dizaine d'années. Étant donné le caractère dioïque du dattier, la descendance issue de semis est formée de 50% de mâles et 50% de femelles (Saaidi, 1990). Ce type de reproduction sexuée conduit à une perte des caractéristiques des parents. En effet, l'hétérozygotie des plants originaux provoque une très forte hétérogénéité de descendance, il

n'est donc pas possible de reproduire les caractéristiques des pieds mères par voie sexuée. Les individus femelles, producteurs de dattes, sont majoritairement recherchés. Un seul individu mâle permet de polliniser manuellement 50 à 60 à individus femelles en plantation (Aberlenc-Bertossi, 2008). Or, étant donné la longueur de la phase végétative du palmier dattier, il est nécessaire d'attendre 6 à 8 ans l'apparition des premières floraisons pour connaître le sexe des plants. Cependant il peut exister des palmiers très intéressants issus de semis (Munier, 1973).

Cette multiplication est utilisée dans les programmes de croisements dirigés (Saaidi, 1988) et constitue la clé de la sélection paysanne qui a produit les ressources génétiques actuelles du dattier. Ce mode de reproduction a plusieurs particularités (Sedra, 2003) :

- La multiplication du palmier par graine est infidèle puisqu'il y a disjonction des caractères des parents (qualité, sexe, résistance...)
- Ce type de multiplication permet la production de population de palmiers, composée de 40 à 60% de palmiers mâles, qui entrent généralement en floraison plus précocement que les palmiers femelles
- Les palmiers issus de semis des graines ne forment les premières palmes pennées qu'à partir de 2 à 3 ans après le semis
- Cette technique de multiplication est utilisée comme méthode traditionnelle, dans les programmes d'amélioration génétique, en vue de créer les nouveaux hybrides, et comme outil pour étudier les descendants des croisements et évaluer l'hérédité des caractères agronomiques et morphologiques.

2. La multiplication asexuée (ou végétative)

Le maintien et le développement des palmeraies sont assurés depuis des siècles par multiplication végétative de cultivars qui dérivent de la sélection empirique de plant issus de graines. C'est la voie de propagation la plus stable et la plus efficace. En effet, elle permet de conserver intégralement les aptitudes du pied mère en ce qui concerne le sexe, la qualité des fruits, la précocité, l'aptitude et la capacité à rejeter, etc.

2.1. Par rejets (ou rkebs)

C'est une multiplication végétative du palmier, qui permet une reproduction pratiquement conforme et une transmission génétique fidèle des caractères des parents (Sedra, 2003). Elle s'effectue par la plantation de rejets développés à la base du stipe, après leur sevrage du pied mère. Le palmier dattier produit, durant sa vie en conditions normales, 3 à 30

rejets en fonction des variétés, de la taille des rejets et du mode de conduite par les phoeniculteurs. Dans la majorité des palmeraies, et particulièrement dans le Maghreb et le Moyen-Orient, les plants sont propagés par la culture de rejets prélevés sur des cultivars élites (Aberlenc-Bertossi, 2008). C'est la méthode la plus efficace de propagation utilisée pour constituer de nouvelles plantations pour la rénovation d'anciennes palmeraies. En effet, elle permet de conserver, intégralement les caractéristiques du pied mère qui portent essentiellement sur les qualités gustatives des dattes (Bougedoura, 1991).

Le dattier produit également ce que l'on appelle communément des gourmands qui sont des petits rejets aériens non racinés situés loin du sol. Ces gourmands peuvent être aussi utilisés de la même façon que les rejets mais il semble d'après certains travaux que la rhizogenèse soit difficile à provoquer, par conséquent le taux de reprise n'est pas élevé (Toutain, 1970) In [Hannachi, 2012].

Ce mode de multiplication conforme s'avère limitant pour la création des palmeraies intensives et pour les programmes d'amélioration génétique du fait :

- De la méthode laborieuse et couteuse
- Du nombre de rejets limité
- Du risque de transmission de maladies
- De la nécessité d'un savoir-faire pour le sevrage et la transplantation des rejets (Al Khayri *et al*, 2001).

2.2. Par culture *in vitro*

Malgré son coût relativement élevé, la culture *in vitro* constitue l'outil le plus performant permettant la production rapide de plusieurs milliers de vitroplants conformes au palmier-mère (Sedra, 2003). Récemment, la propagation végétative *in vitro* a ouvert la voie à une autre modalité de multiplication des meilleurs cultivars performants permettant de contourner les faiblesses des techniques traditionnelles de reproduction (faible nombre de rejets, transfert de maladies...) et de mieux répondre à la demande croissante en plants pour le renouvellement et l'extension des palmeraies. Il existe deux principales voies de multiplication *in vitro* : l'embryogenèse somatique qui utilise la différenciation cellulaire pour la formation d'embryons à partir de cellules somatiques et l'organogenèse de bourgeons qui repose sur les capacités de bourgeonnement de plusieurs types d'explants (Bougedoura, 1991). Ainsi, des cultures de tissus embryogènes en milieu liquide ont déjà été obtenues à partir de jeunes feuilles de rejets ou à partir d'inflorescences immatures sur quelques variétés

commercialisées dans le Maghreb comme Medjoul, Kadrawy (Daguin et Letouzé, 1988), et Deglet Nour (Fki *et al.*, 2003).

En plus de son intérêt dans l'amélioration génétique, cette technologie est indispensable pour :

- Multiplier en masse des plants des variétés désirées
- Multiplier les clones sélectionnés de hautes performances agronomiques qui ne sont représentés que par quelques spécimens, en vue de repeupler les palmeraies dévastées par le Bayoud dans un délai raisonnable, de restructurer les palmeraies traditionnelles et enfin de créer de nouvelles oasis.

- Sauvegarder les variétés ou cultivars rares menacés d'extinction à cause de facteurs d'érosion génétique d'origine abiotique ou biotique. Il en est de même pour les individus sélectionnés de bonne qualité dattière mais extrêmement sensibles au Bayoud.

- Produire des plants indemnes de maladies.

Avec l'évolution économique et sociale du pays, les palmeraies se sont réorganisées pour satisfaire une demande sans cesse croissante en dattes de qualité supérieure à l'instar du cultivar Deglet Nour. Cependant, la reproduction clonale a eu pour conséquence une diminution de la diversité génétique au sein des palmeraies. De plus, des contraintes biotiques (maladies et ravageurs) et abiotiques (ensablement et salinisation de terre) ont entraîné la disparition de cultivars d'intérêt contribuant à une importante érosion génétique qui menace l'agro-diversité des palmeraies (Aberlenc-Bertossi, 2008).

3. Détermination du sexe chez le palmier dattier

3.1. Problème de la dioécie

Les angiospermes sont le groupe le plus diversifié des plantes terrestres qui fournissent des fruits, de la nourriture, des semences pour la culture et du matériel à des fins d'hybridation (Khosla et Kumari, 2015). Avec environ 183 genres différents, les plantes à fleurs forment la plus grande partie des végétaux sur la terre (Dransfield *et al.*, 2008). Ces plantes présentent une très grande diversité dans leurs systèmes de reproduction.

Environ 90 % des angiospermes ont des fleurs hermaphrodites (les organes mâles (androcée) et femelles (gynécée) sont présents au sein de la même fleur) et 10 % ont des fleurs unisexuées qui peuvent être soit monoïques (les fleurs mâles et femelles sont séparées mais poussent dans la même plante) comme le maïs et le palmier à huile ou dioïques (les fleurs mâles et femelles poussent sur des plantes différentes) comme le chanvre et le palmier

dattier (Khosla et Kumari, 2015). Les espèces dioïques représentent 4% des angiospermes (Ming *et al.*, 2007). Au cours de l'évolution des angiospermes, les fleurs unisexuées sont nées de l'ancêtre bisexuel par mutation, provoquant la stérilité mâle ou provoquant la stérilité femelle donnant des plantes gynodioïques (ayant une fleur femelle sur une plante et des fleurs hermaphrodites sur une autre plante de la même espèce) et des plantes androdioïques (ayant une fleur mâle sur une plante et des fleurs hermaphrodites sur une autre plante de la même espèce). Cependant, la stérilité femelle chez les plantes est très rare car la fonction femelle est plus précieuse dans la nature (Charlesworth et Charlesworth, 1978).

La dioécie représente une barrière à l'autofertilisation et joue donc un rôle très important dans l'évolution. L'échange de matériel génétique entre deux individus différents conduit à de nouvelles combinaisons de gènes qui vont permettre à une nouvelle plante de s'adapter facilement ou de survivre à un environnement en évolution (Milewicz et Sawicki, 2013). Cependant, le sexe d'un individu chez les plantes dioïques, aux premiers stades de développement avant la floraison, est difficile à diagnostiquer et il devient impossible aux phœniculteurs de sélectionner les pieds femelles producteurs de dattes.

Le palmier dattier est une espèce dioïque et par conséquent la moitié de la descendance sera mâle et l'autre moitié sera femelle, sans moyen certain de déterminer à un stade précoce le sexe de la descendance ni la qualité du fruit ou du pollen avant la floraison. En tant qu'espèce dioïque, le palmier dattier a des fleurs mâles et femelles (Figure 9) produites en grappes sur des palmiers séparés. Ces grappes fleuries sont produites avec des aisselles de feuilles de la croissance de l'année précédente. La dioécie est généralement associée au dimorphisme sexuel. Cette hypothèse est vraie pour la plupart des espèces animales, mais dans les plantes et notamment chez le dattier, le sexe d'un individu est difficile à déterminer aux premiers stades de développement avant qu'il ne fleurisse et qu'il n'atteint l'âge reproductif s'étalant sur cinq à dix ans (Milewicz et Sawicki, 2013).

3.2. Les chromosomes sexuels

L'hérédité sexuelle et les chromosomes sexuels des plantes sont étonnamment similaires à ceux des animaux. Chez les espèces dioïques étudiées, il existe un déterminisme sexuel basé sur la présence des chromosomes sexuels (Yanan *et al.*, 2004). Les systèmes de chromosomes sexuels ont émergé à plusieurs reprises au cours de l'évolution des plantes à fleurs (Charlesworth, 2002). Ils trouveraient leur origine dans l'évolution d'une région chromosomique non recombinante autour de gènes déterminant le sexe (Liu *et al.*, 2004).

L'haplotype femelle porterait un allèle récessif de stérilité mâle, alors que le chromosome déterminant le sexe mâle serait dominant et porterait des allèles de stérilité femelle.



Figure 9 : Inflorescences femelle (A) et mâle (B) du palmier dattier

La plupart possède un système de chromosomes sexuels hétéromorphes de type XX/XY. Les mâles et les femelles portent des chromosomes XY et XX respectivement. C'est le cas du compagnon blanc (Vyskot *et* Hobza, 2004), de l'asperge (Gebler *et al.*, 2007) et de l'igname (Terauchi and Kahl, 1999). Comme chez les mammifères, la présence d'un chromosome Y chez le compagnon blanc provoque l'activation du développement des organes mâles et l'inhibition des organes femelles. En son absence, chez les plants femelles, seuls les gynécées se développent (Monéger, 2001) in [Meraneh, 2010].

Chez le palmier dattier, le sex ratio d'une descendance est généralement de 1 (Saaidi, 1990), ce qui suggère un déterminisme génétique du sexe. L'existence de chromosomes sexuels chez le palmier dattier a été proposée sur la base d'études cytologiques avec une coloration à la chromomycine, cependant, les gènes associés au sexe n'ont pas été déterminés (Siljak-Yakovlev *et al.*, 1996).

Chapitre III

Techniques de détection du sexe chez le palmier dattier

Chapitre III. Techniques de détection du sexe chez le palmier dattier

La détermination du sexe chez les plantes à fleurs est largement inexplorée, bien que des études récentes dans de nombreuses espèces de plantes - des fougères au maïs - aient été fructueuses pour identifier la diversité des facteurs génétiques et épigénétiques impliqués dans la détermination du sexe de la fleur ou de l'individu. (Bekheet et Hanafy, 2011). Des progrès significatifs ont été réalisés dans la compréhension des mécanismes de détermination du sexe chez le palmier dattier à l'aide de moyens traditionnels. Mais les méthodes physiologiques et cytologiques ne donnent pas de différences évidentes entre les palmiers dattiers mâles et femelles. La biotechnologie, en tant que nouvel outil dans la sélection des palmiers dattiers, peut être utile pour améliorer les qualités des palmiers grâce à une identification sexuelle précoce. Différentes techniques ont été développées par les chercheurs pour identifier les individus mâles et femelles. Celles-ci sont basées sur l'identification chromosomique, biochimique via des isoenzymes moléculaires. Ce chapitre se concentrera sur la base génétique et moléculaire de la détermination du sexe chez le palmier dattier pour tenter de développer des méthodes fiables pour identifier le sexe à un stade précoce des semis.

1. Marqueurs chromosomiques

La cellule est l'unité structurelle, fonctionnelle et biologique de base de tout organisme vivant. Chaque cellule contient du matériel génétique sous forme d'ADN dans le noyau. Les chromosomes sont observés pour la première fois par Karl Negi (1842) sous forme de structure en bâtonnet chez les plantes. Dans le noyau, la molécule d'ADN est empaquetée en structures filiformes appelées chromatine (Walter Fleming, 1878). L'ADN est ensuite à nouveau condensé, enroulé étroitement plusieurs fois autour de protéines histones et l'ensemble est appelé chromosome.

Les cellules somatiques des organismes diploïdes contiennent deux ensembles de chromosomes ($2n$) tandis que les cellules gamétiques sont toujours des haploïdes (demi-nombre de chromosomes, n). Dans les cellules diploïdes, les autosomes apparaissent toujours par paires et leur nombre reste le même tandis que le nombre de paires d'allosomes diffère les uns des autres et détermine ainsi le sexe (Khosla et Kumari, 2015).

Dans les organismes dioïques, la présence d'allosomes (chromosome X / Y) permet l'identification du sexe. A cet effet, une cellule en division d'une partie de la plante (extrémité de la racine, grains de pollen principalement utilisés) est prélevée, arrêtée au stade métaphase

de la mitose et de la méiose par un traitement à la colchicine, colorée par un colorant spécifique, puis observée au microscope. Le caryogramme est préparé, le nombre de chromosomes est compté et la présence des chromosomes X et Y est vérifiée. Mais la présence de chromosomes sexuels est quelque peu problématique car dans la plupart des cas, les chromosomes sexuels ne sont pas très différents des autosomes (*Spinacia oleracea*, *Asparagus officinalis* ; Michalic *et al.*, 2009). Chez *Actinidia deliciosa* var. *deliciosa* par exemple, la taille des chromosomes sexuels est trop petite (Shirkot *et al.*, 2002) et donc difficile à identifier.

Le palmier dattier est un matériel cytogénétiquement récalcitrant, ayant de minuscules et collants chromosomes (Beal, 1937 ; Soliman and Al-Mayah, 1978). La coloration classique au Giemsa (C banding) n'a pas permis de différencier les individus mâles des individus femelles (Marks, 1975). En conséquence, les chercheurs ont fait appel aux colorants fluorescents.

1.1. Coloration à la chromomycine A3

Parmi les nombreuses espèces végétales dioïques, seules quelques-unes ont développé des chromosomes sexuels. Les systèmes de détermination du sexe basés sur les chromosomes sexuels hétéromorphes X et Y sont particulièrement intéressants à étudier du point de vue développement et de perspective évolutive (Bekheet et Hanafy, 2011).

Il n'y a qu'un seul rapport suggérant que le palmier dattier est l'un des espèces dioïques monocotylédones rares qui possèdent des chromosomes sexuels hétéromorphes X / Y. Dans les palmiers dattiers, qui comme les papayes sont dioïques avec des chromosomes sexuels homomorphes, une hétérochromatine supplémentaire sur l'un des chromosomes mâles est censée déterminer le sexe (Siljak-Yakovlev *et al.*, 1996). Une méthode cytologique basée sur la coloration à la chromomycine qui démontre la présence de chromosomes sexuels portant une hétérochromatine nucléolaire distinctive a été décrite dans le palmier dattier qui offre, pour la première fois, la possibilité d'identifier des individus mâles et femelles par une simple analyse des méristèmes racinaires (Siljak-Yakovlev *et al.*, 1996). La chromomycine A3 a été utilisée pour colorer les chromosomes racinaires (par la formation de bandes de fluorochrome sur les chromosomes avec la chromomycine A3 ; liaisons particulières aux séquences d'ADN riches en GC) identifiant ainsi des différences subtiles entre l'hétérochromatine des chromosomes isolés des cellules mâles et femelles. La femelle a une paire de chromosomes

homomorphes riches en GC tandis que le couple analogue est hétéromorphe chez le mâle (Figure 10). Ce système hétéromorphe a également été visualisé sur des noyaux quiescents par des points de liaison à la chromomycine indiquant des chromocentres. Les noyaux des cellules de racine femelles présentent deux taches identiques tandis que les deux taches sur les noyaux mâles ont des tailles différentes. Ces observations facilement discernables par microscopie à épifluorescence ont été confirmées par microscopie confocale (Siljak-Yakovlev *et al.*, 1996).

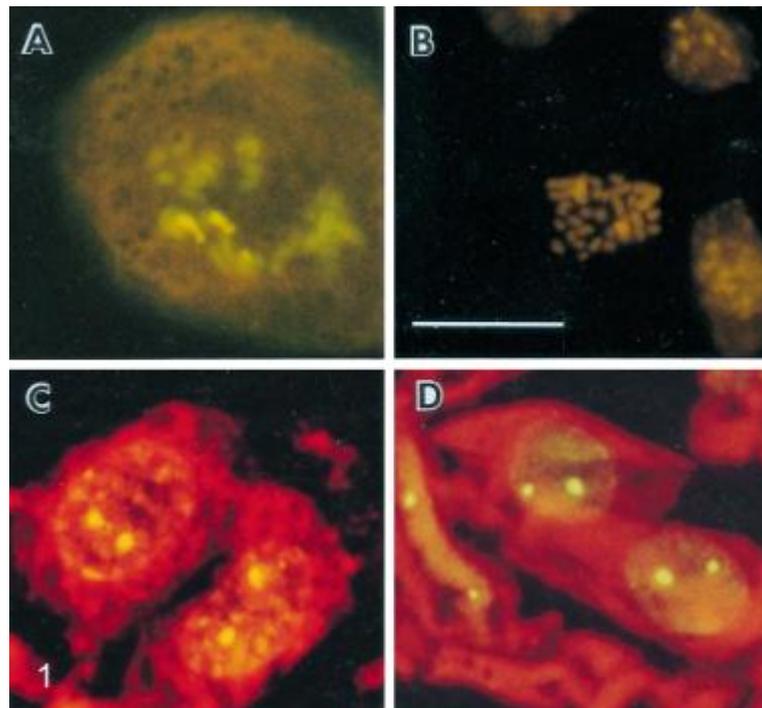


Figure 10 : Plaques de métaphase et d'interphase montrant des combinaisons fluorescentes de chromomycine XX et XY chez *Phoenix dactylifera* : Deux chromosomes homomorphes (A) ou chromocentres (C) sont apparus sur les plantes femelles, et une paire de chromosomes hétéromorphes (B) ou chromocentres (D) sont apparus sur les plantes mâles (Source : Siljak-Yakovlev *et al.*, 1996)

1.2. La FISH (Hybridation par Fluorescence In Situ)

L'ADN ribosomal (ADNr) a des séquences répétitives hautement conservées dans le génome végétal, et le polymorphisme ou le conservatisme de leur nombre de copies et de leur localisation chromosomique sont visuels et comparatifs (Leitch et Heslop-Harrison, 1992 ; Raina et Mukai, 1999). En comparant le nombre et les caractéristiques de distribution des sites d'ADNr sur les chromosomes entre les espèces, des relations phylogénétiques interspécifiques et le mécanisme de spéciation et d'évolution chromosomique pourraient être révélés.

Chapitre III. Techniques de détection du sexe chez le palmier dattier

L'hybridation par fluorescence in situ (FISH) est récemment devenue un outil puissant pour les analyses du caryotype et du génome d'un grand nombre d'espèces végétales. Les gènes d'ADNr ribosomiques répétitifs et organisés en tandem (l'ADNr 5S et l'ADNr 45S), sont localisés sur un ou plusieurs sites par ensemble de chromosomes, et leurs positions caractéristiques fournissent des marqueurs utiles pour l'identification des chromosomes et du génome (Adawy *et al.*, 2015). Ils ont été utilisés dans l'étude de plusieurs graminées comme le *Triticum* et le *Hordeum* (Jiang *et al.*, 1994), *Oryza* (Shishido *et al.*, 2000), *Sorghum* (Sang et Liang, 2000), *Thinopyrum* (Brasileiro-Vidal *et al.*, 2003), *Festuca* (Harper *et al.*, 2004), fournissant des informations utiles sur les relations évolutives et phylogénétiques entre les espèces.

Le principe de la FISH (Figure 11) repose sur des homologies de séquence d'acides nucléiques permettant l'identification spécifique de tout ou partie d'un ou de plusieurs chromosomes. Une séquence d'ADN marquée par un fluorochrome (appelée sonde) est utilisée. Elle s'hybride aux séquences complémentaires de l'ADN étudié (cible) (Delvenne, 2010).

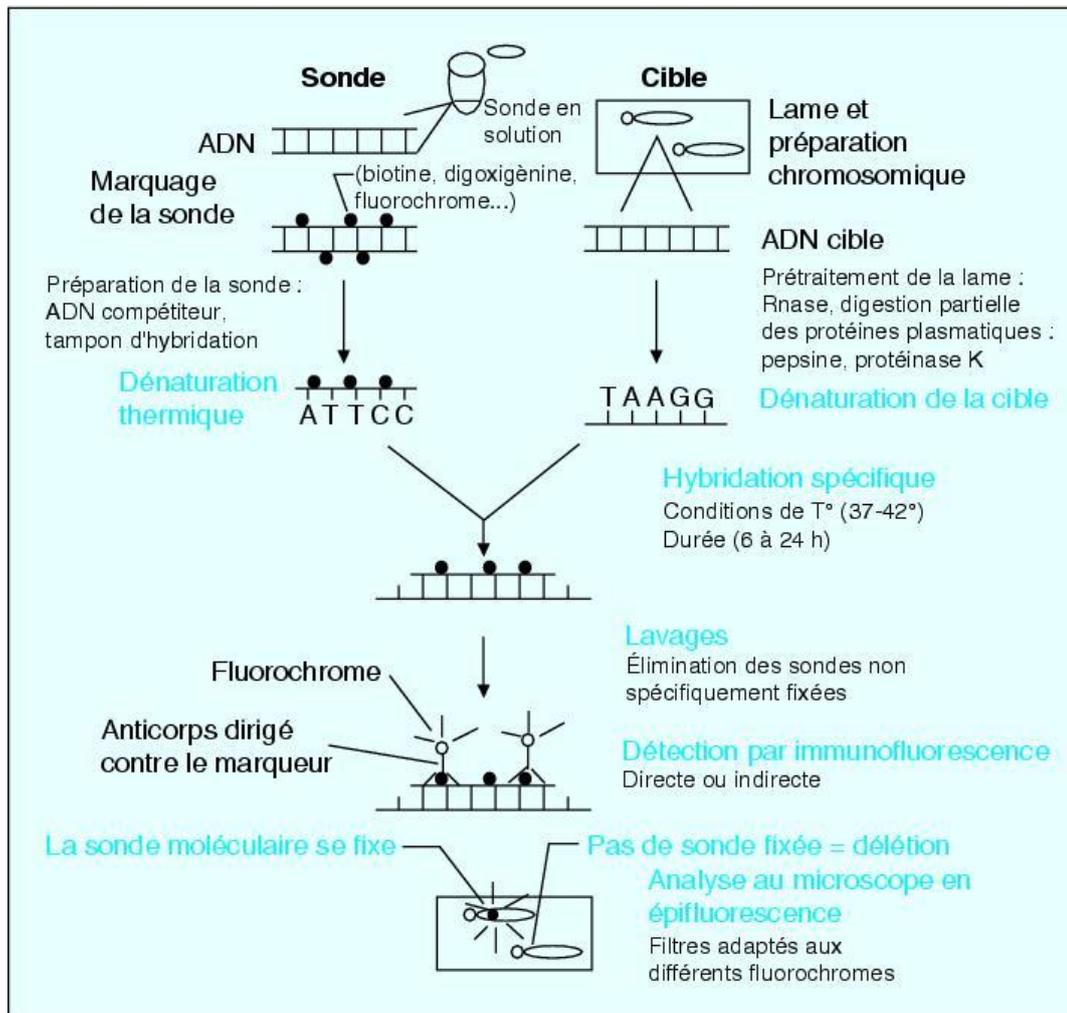


Figure 11 : Principe de la FISH (Bouayed Abdelmoula, 2004)

La technique comprend plusieurs étapes (Delvenne, 2010) :

- Une étape de digestion protéolytique permettant une meilleure pénétration de la sonde dans le noyau;
- Une étape de dénaturation de l'ADN de la sonde et de l'ADN cible qui consiste à séparer (généralement par la chaleur) les deux brins d'ADN par rupture des liaisons hydrogènes;
- Une étape d'hybridation durant laquelle les brins d'ADN se réassocient de façon spécifique, ce qui permet à l'ADN sonde de s'hybrider à l'ADN cible;
- Une étape de lavage qui permet d'éliminer les hybrides infidèles et les sondes non hybridées;
- Une étape de contre-coloration de l'ADN cible, de stabilisation de la fluorescence et de montage des lames;
- Enfin, une étape de lecture et d'interprétation au microscope.

Une étude visant à développer un marqueur d'hybridation de fluorescence in situ (FISH) spécifique au sexe avec les ADNr 5S et 45S chez des palmiers dattiers égyptiens (cv. Zaghloul et Siwi) a été menée par Adawy et ses collaborateurs (2015). Les résultats ont révélé de nettes différences entre les individus mâles et les individus femelles appartenant aux deux espèces étudiées (Figure 12).

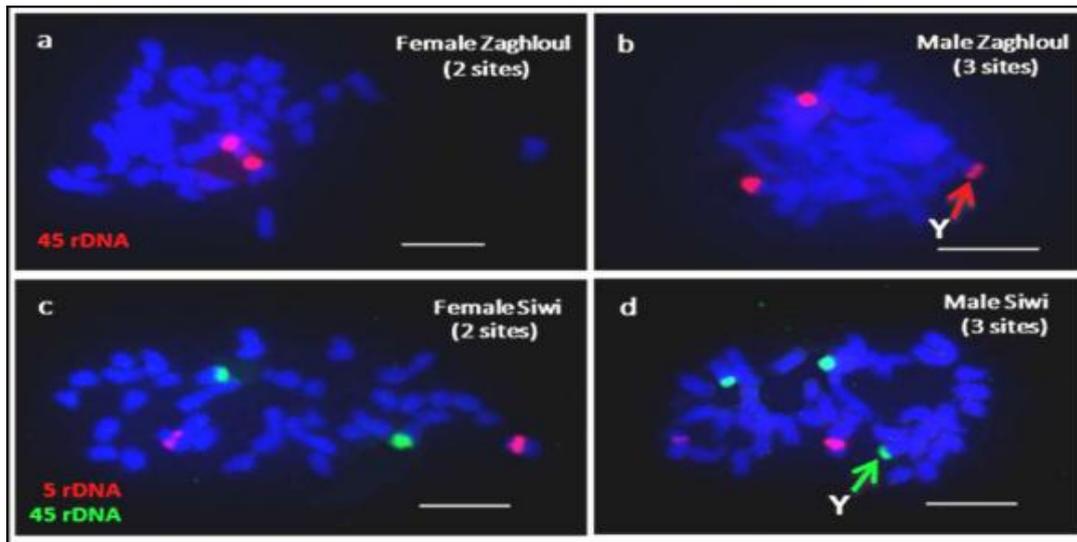


Figure 12 : Hybridation in situ par fluorescence du cultivar Zaghloul (a & b: avec sonde ADNr 45S verte) et le cultivar Siwi (c & d: avec des sondes ADNr 45S vertes et des sondes ADNr 5S rouges), dans les chromosomes du palmier dattier en métaphase. Les flèche en b & d indiquent des sites d'ADNr 45S suggérés pour être situés sur un chromosome Y (Adawy *et al.*, 2015)

L'hybridation in situ en fluorescence (FISH) avec l'ADNr 45S a localisé deux signaux intermédiaires télomériques clairs dans des palmiers femelles appartenant aux deux cultivars Zaghloul et Siwi, tandis qu'elle présentait trois signaux intermédiaires télomériques clairs dans les arbres mâles appartenant aux deux cultivars étudiés. Par ailleurs, les résultats de l'hybridation in situ en fluorescence avec l'ADNr 5S n'ont révélé aucune différence nette entre les pieds mâles et les pieds femelles appartenant à la variété Siwi. Cette découverte peut être utilisée comme marqueur cytologique pour différencier les arbres mâles des femelles du palmier dattier dans d'autres espèces à un stade précoce.

2. Marqueurs biochimiques (isoenzymes)

L'utilisation de l'électrophorèse pour estimer certaines caractéristiques génétiques des populations végétales s'est généralisée depuis de nombreuses années. En général, les espèces à pollinisation croisée donnent naissance à des descendance hétérogènes. Dans ce cas, les

Chapitre III. Techniques de détection du sexe chez le palmier dattier

techniques électrophorétiques pourraient être utilisées pour aider à caractériser les cultivars pour les différences de fréquence des modèles électrophorétiques (Bendiab, 1993).

En général, l'étude des isoenzymes est réalisée en utilisant du matériel foliaire. Ainsi, le contrôle génétique de nombreuses isoenzymes a été déterminé en utilisant plusieurs populations de semis de parents connus et une technique d'électrophorèse sur gel d'acrylamide (Torres et Tisserat, 1980). Les isoenzymes ont été signalées pour la première fois par Markert et Moller en 1959. Ce sont des enzymes qui diffèrent dans la séquence des acides aminés mais catalysent la même réaction chimique. Ils peuvent être colorés par des méthodes de coloration sélective qui aboutissent à un petit nombre de bandes spécifiques. Le profil électrophorétique des isoenzymes est généré en utilisant l'électrophorèse sur gel.

Les isoenzymes sont des marqueurs codominants, polymorphes et neutres vis-à-vis des facteurs du milieu, mais peuvent être aussi sélectifs (Wendel et Weeden, 1989 ; Soltis et Soltis, 1991). Ils constituent un moyen utile permettant d'estimer la diversité génétique des populations, d'évaluer leur degré de différenciation et d'appuyer les programmes d'amélioration des espèces (Batista *et al.*, 2001 ; Hedrick, 2001) in [Bouchemal, 2018].

L'électrophorèse enzymatique a été principalement utilisée pour l'identification des clones, des hybrides et des cultivars, mais joue désormais un rôle utile pour la détermination du sexe dans les plantes dioïques depuis les dernières décennies (Khosla et Kumari, 2015). Le polymorphisme des isoenzymes est répandu dans de nombreuses plantes et a été utilisé pour l'identification des cultivars et du sexe dans de nombreuses espèces de plantes horticoles et d'arbres (Sharma *et al.*, 2010). Bennaceur et ses collaborateurs (1991) par exemple, ont démontré chez 31 cultivars algériens de palmier dattier et avec 7 systèmes enzymatiques que la variabilité génétique est plus grande dans les cultivars des régions occidentales que dans les régions orientales. Une clé d'identification a été conçue et près de 65% des cultivars ont été identifiés à partir de 5 systèmes enzymatiques.

Deux systèmes enzymatiques, la peroxydase et l'estérase, ont été utilisés avec succès dans la détermination du sexe chez *H. rhamnoides* (Sharma *et al.*, 2010), *P. ciliata* (Kumari *et al.*, 2014). La peroxydase s'est révélée utile dans la détermination du sexe des plantes, car ce système enzymatique est impliqué dans le contrôle hormonal du sexe dans de nombreuses plantes dioïques telles que le kiwi (Hirsch *et al.*, 1997 ; Shirkot, 2002). En organogenèse, le rôle de la peroxydase est suggéré dans le catabolisme de l'auxine (Legrand et Bouazza, 1991). La peroxydase induit la modulation de l'auxine de la morphogenèse et a un rôle indirect dans les mécanismes de détermination du sexe dans de nombreuses plantes monoïques et dioïques

Chapitre III. Techniques de détection du sexe chez le palmier dattier

et apporte une contribution importante à l'expression sexuelle. Des études ont montré la présence d'isoenzymes de peroxydase chez des plantes femelles de *Mercurialis genus* (Kahlem, 1976) et de *Hippophae rhamnoides* (Sharma *et al.*, 2010) (Figure 13) alors qu'elles étaient absentes chez les individus mâles.

Majourhat *et al.*, (1999) ont noté l'abondance de certains phénotypes de peroxydase chez les palmiers femelles qui se distinguent par la présence d'isoformes très anodiques. L'abondance de certains phénotypes peut être liée à l'expression des gènes les gouvernant. Les mêmes auteurs ont déclaré l'abondance de phénotypes d'estérases et d'endopéptidase chez les pieds mâles.

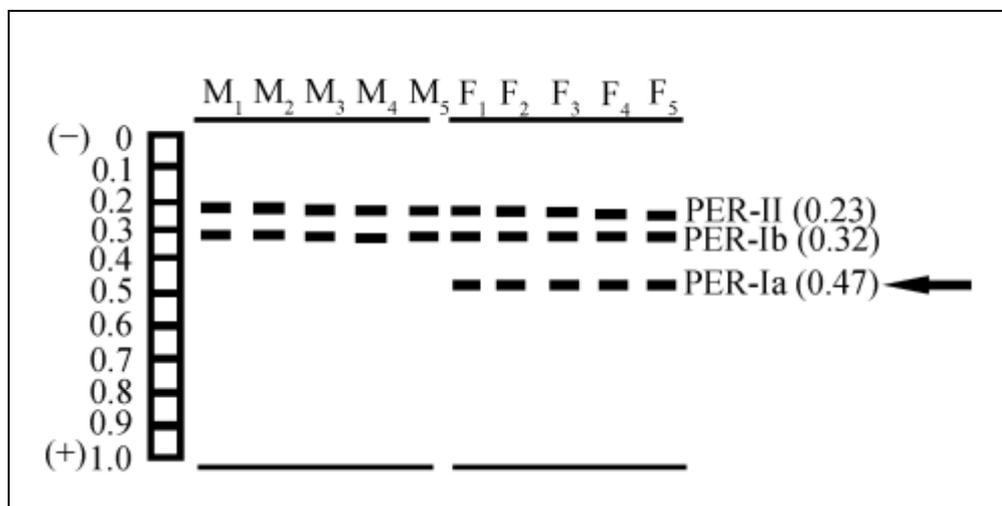


Figure 13 : Profil d'isozymes de peroxydase dans cinq génotypes mâles et cinq femelles de *H. rhamnoides* L. (Source : Sharma *et al.*, 2010)

Chez les palmiers dattiers, des zymogrammes d'estérases ont été examinés dans des extraits de feuilles pour déterminer les différences entre les sexes (Suganuma, 1984). Leur contrôle génétique a déjà été étudié par Torres et Tisserat (1980).

Etant donné les formes variantes des isoenzymes, sont peu affectés par l'environnement et sont presque des produits génétiques directs, elles fournissent d'excellents marqueurs monogéniques, fiables et faciles à obtenir pour les plantes vivaces à longue durée de vie (Torres *et al.*, 1978).

3. Marqueurs moléculaires

La demande discutée des outils pour soutenir la détermination du sexe chez les plantes a donné lieu à une série d'études moléculaires sur les marqueurs d'ADN qui pourraient être utilisés à cette fin (Milewicz et Sawicki, 2013).

Un marqueur moléculaire (marqueur d'ADN) est une séquence d'ADN observée dans au moins deux versions faciles à distinguer, qui révèle des polymorphismes individuels. Un bon marqueur doit démontrer une gamme de variation la plus large possible du caractère analysé, et il ne doit pas être affecté par des facteurs environnementaux. Un marqueur efficace doit garantir la reproductibilité et il doit être facile à détecter. Les marqueurs moléculaires facilitent l'analyse des variations entre individus, quel que soit leur stade de développement (Sztuba-Solińska, 2005) ce qui est particulièrement utile dans les études de détermination du sexe des plantes.

Bien que des marqueurs moléculaires aient été introduits dans les programmes de sélection chez le palmier dattier, peu d'efforts de recherche ont été axés sur l'étude de la détermination précoce du sexe dans la plante (Bekheet et Hanafy, 2011).

Les marqueurs les plus populaires dans la détermination du sexe chez les plantes sont les RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA), SCAR (Sequence-characterized Amplified Region), AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism), et les microsatellites ou SSRs (Simple Sequence Repeats) (Figure 14).

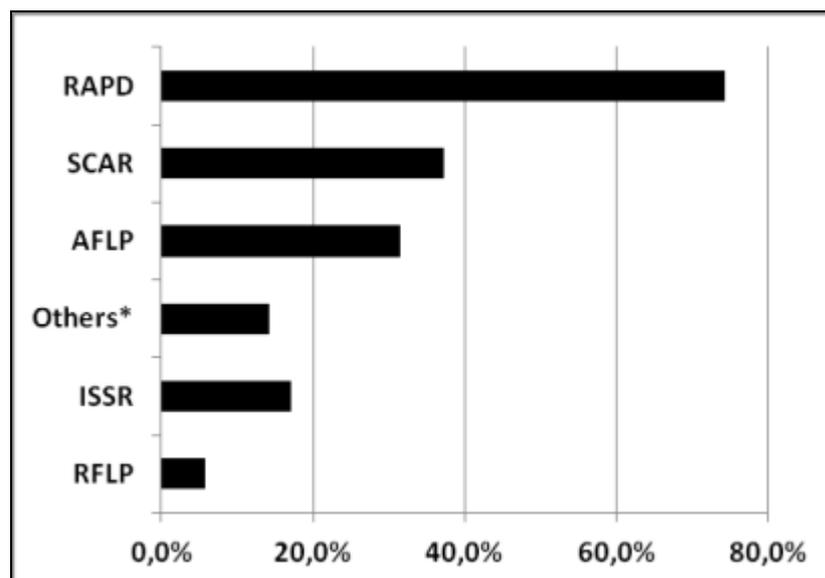


Figure 14 : Les marqueurs les plus populaires de détermination du sexe chez les plantes en fonction des espèces étudiées (fréquence d'application en pourcentage) (Milewicz et Sawicki, 2013).

1.3. Les marqueurs RAPD

RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA) est une technique moléculaire basée sur la PCR, qui amplifie un ensemble de fragments d'ADN distribués de manière aléatoire dans tout le génome à l'aide d'amorces oligonucléotidiques courtes et uniques (Khosla et Kumari, 2015). Sa principale variante consiste à utiliser comme amorce un seul oligonucléotide d'une dizaine de bases qui permet d'amplifier par PCR un ou plusieurs segments d'ADN de l'échantillon (Figure 15). Cette amorce va s'hybrider au hasard dans le génome. Si deux sites d'hybridation sont proches et sur les deux brins d'ADN, il y aura amplification. Chaque bande de l'amplifiât correspond à l'existence sur chacun des brins d'ADN d'un motif complémentaire à l'amorce. Le polymorphisme révélé est un polymorphisme de sites d'hybridation d'amorce.

La recherche de marqueurs moléculaires se poursuit depuis de nombreuses années, et bien que la RAPD ait été développé au début des années 1990 (Williams *et al.*, 1990), elle est toujours d'actualité dans les études de la diversité génétique. Respectueuse de l'environnement, la RAPD est la méthode de choix pour déterminer le sexe des espèces végétales étudiées (Milewicz et Sawicki, 2013). Elle implique une configuration expérimentale simple ne nécessitant qu'un thermocycleur (PCR) et un assemblage d'électrophorèse.

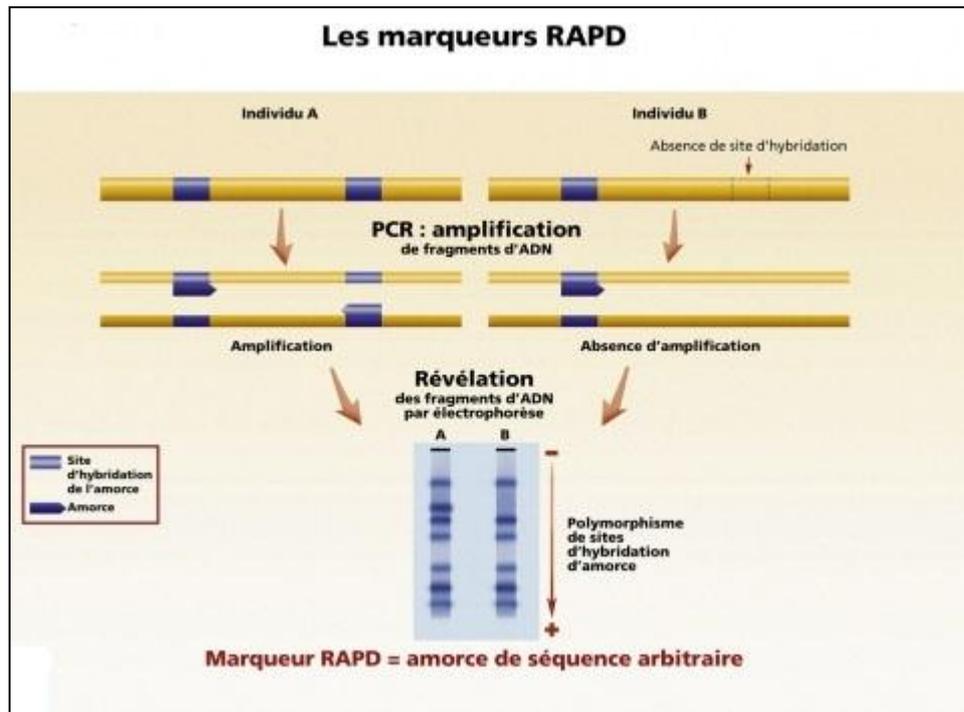


Figure 15 : Principes de la RAPD (gnis pédagogie, 2020)

Depuis leur découverte, les marqueurs RAPD ont été utilisés avec succès pour la détermination du sexe dans de nombreuses espèces de plantes dioïques d'importance économique et écologique telles que *Pistacia vera* (Hormaza *et al.*, 1994), *Asparagus Officinalis* (Jiang et Sink, 1997), et *Piper longum* (Banerjee *et al.*, 1999). Saker et Rady (2003) ont analysé les papayers mâles et femelles en utilisant différentes classes de marqueurs moléculaires, à savoir des isozymes de peroxydase et la RAPD afin de développer des marqueurs moléculaires universels liés au sexe dans la papaye. La RAPD a indiqué qu'un fragment d'ADN présent dans les profils des clones mâles était absent chez la femelle. Adawy *et al.*, (2014) ont testé un ensemble de 122 amorces aléatoires sur dix échantillons de palmier dattier afin d'identifier des marqueurs spécifiques au sexe. 4 amorces RAPD (OP-A11, OP-M11, OP-O07 et OP-S07) présentaient des fragments / bandes différentiels entre les palmiers mâles et femelles (deux marqueurs associés aux pieds mâles et cinq marqueurs associés aux pieds femelles) (Figure 16). Afin de déterminer la différence génétique entre les palmiers dattiers mâles et femelles, l'ADN du génome a été extrait des feuilles de quatre cultivars femelles. (Deglet Noor, Allig, Kentich, Menakher), un génotype mâle pollinisateur T23 et un hybride F1. Les résultats de la RAPD ont donné des bandes polymorphes reproductibles avec 11 amorces de 53 amorces utilisées (Ben-Abdallah *et al.*, 2000).

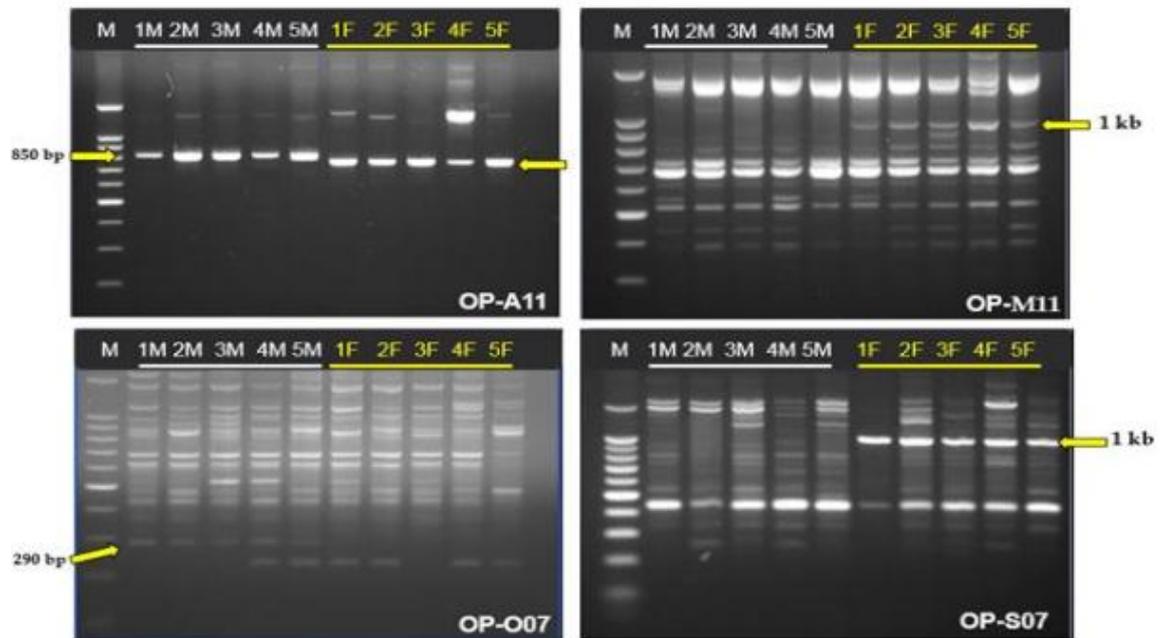


Figure 16 : Profils de RAPD de palmiers dattiers (Mâles : M et femelle : F), révélés par les amorces OP-A11, OP-M11, OPO07 et OP-S07 (Source : Adawy et al., 2014)

Les marqueurs de type RAPD peuvent être envisagés dans les programmes de croisements dirigés pour la mise au point des marqueurs associés au sexe chez le palmier dattier, afin d'éliminer précocement les individus mâles. Cependant, la méthode a ses inconvénients, qui comprennent une mauvaise reproductibilité en raison d'une sensibilité élevée aux changements des conditions d'amplification. Pour cette raison, il est recommandé de convertir les marqueurs RAPD en marqueurs SCAR spécifiques (Paran and Michelmore, 1993).

1.4. Les marqueurs SCAR

Les SCAR sont des fragments génomiques amplifiés par PCR avec des amorces spécifiques obtenues après séquençage des produits RAPD. Ils constituent des marqueurs qui ont l'avantage d'être codominants avec une analyse plus robuste (Shan *et al.*, 1999), et donc plus propices à un programme de sélection. Une bande potentiellement intéressante est identifiée dans un gel RAPD est excisée puis le fragment d'ADN est cloné dans un vecteur et séquencé. Des amorces spécifiques (16-24 pb) sont déterminées pour ce fragment d'ADN. La ré-amplification de l'ADN cible avec ces nouvelles amorces montrera un nouveau profil PCR plus simple (Figure 17).

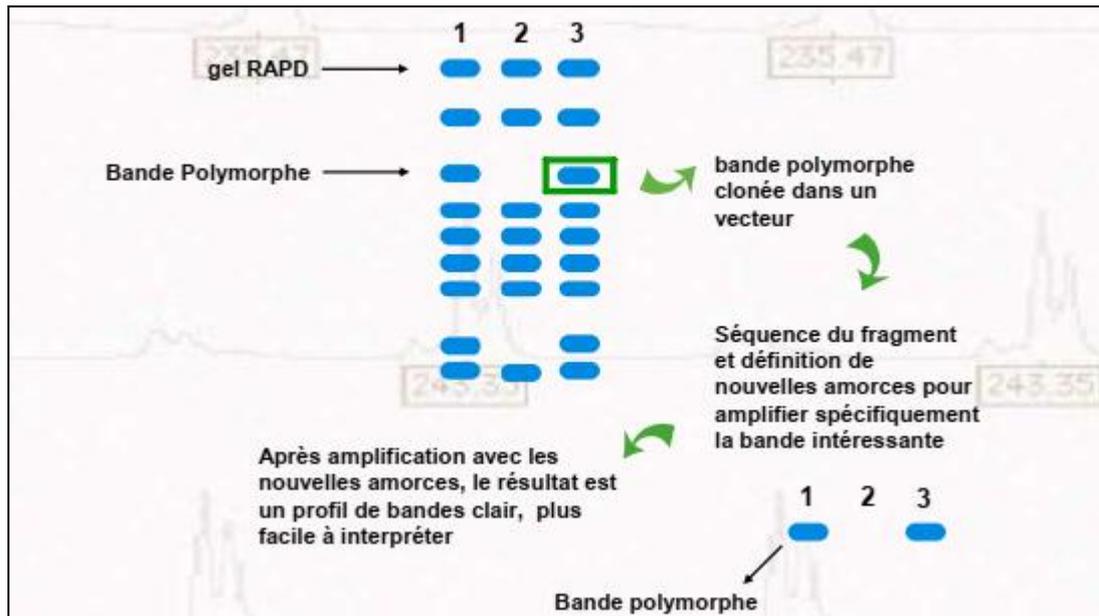


Figure 17 : Schéma de la procédure SCAR (de Vicente et Fulton, 2003)

Cette technique a été utilisée pour développer plusieurs marqueurs moléculaires liés au sexe dans les plantes dioïques à savoir *Silene latifolia* (Mulcahy *et al.*, 1992), *Pistacia vera* (Yakubov *et al.*, 2005) et bien d'autres. Des marqueurs SCAR spécifiques aux mâles ont été développés dans des plantes dioïques telles que *Humulus scandens* (Gao *et al.*, 2009), *Rumex nivalis* (Stehlik et Blattner, 2004) et *Phoenix dactylifera* (Dhawan *et al.*, 2013) en utilisant le profilage de marqueurs moléculaires (RAPD) de plantes mâles et femelles.

Al-Qurainy et ses collaborateurs (2018) ont développés un marqueur SCAR spécifique au palmier dattier mâle (Figure 18). Le marqueur différenciait clairement tous les plants mâles des plants femelles en fonction de la présence ou de l'absence de la bande de 186 pb.

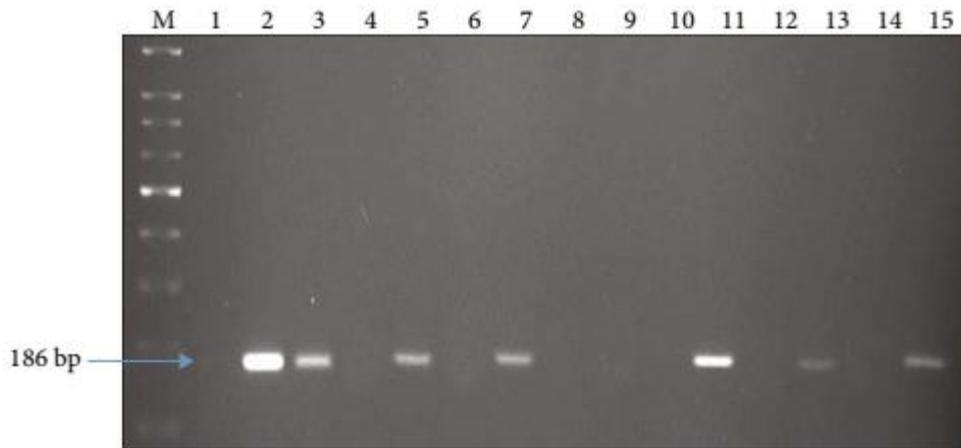


Figure 18 : Criblage des plantes mâles et femelles de palmier dattier avec un marqueur SCAR développé. La présence d'une bande indique des semis mâles et l'absence d'une bande indique des semis femelles (Source : Al-Qurainy *et al.*, 2018)

Ce marqueur SCAR pourrait être utilisé pour l'identification du sexe au stade de semis. Ainsi, les sélectionneurs de plantes peuvent l'adopter comme un outil potentiel pour l'identification du sexe des plants de palmier dattier avant leurs plantations dans les champs (Al-Qurainy *et al.*, 2018).

1.5. Les marqueurs AFLP

La technique AFLP (Amplified Fragments Length Polymorphism) est une variante de la PCR développée par Vos et ses collaborateurs en 1995. Le principe de cette technique est schématisé dans la figure 19. L'ADN génomique est digéré par deux enzymes. Des adaptateurs sont ajoutés aux extrémités des sites de restriction. Les amorces peuvent ensuite se fixer sur les fragments obtenus et ceux-ci sont amplifiés. La PCR peut être réalisée en plusieurs étapes : une première avec des amorces dont la séquence est identique à celle des adaptateurs et qui amplifie ainsi tous les fragments ; la seconde avec des amorces possédant de 1 à 3 nucléotides supplémentaires en 3' sélectionnant ainsi un plus petit nombre de fragments étant donné que ceux-ci peuvent être très nombreux (Vos *et al.*, 1995). Ces fragments sont séparés par électrophorèse sur gel d'acrylamide dénaturant puis visualisés par coloration au nitrate d'argent ou révélés grâce à un marquage radioactif ou fluorescent réalisé lors de l'amplification sélective.

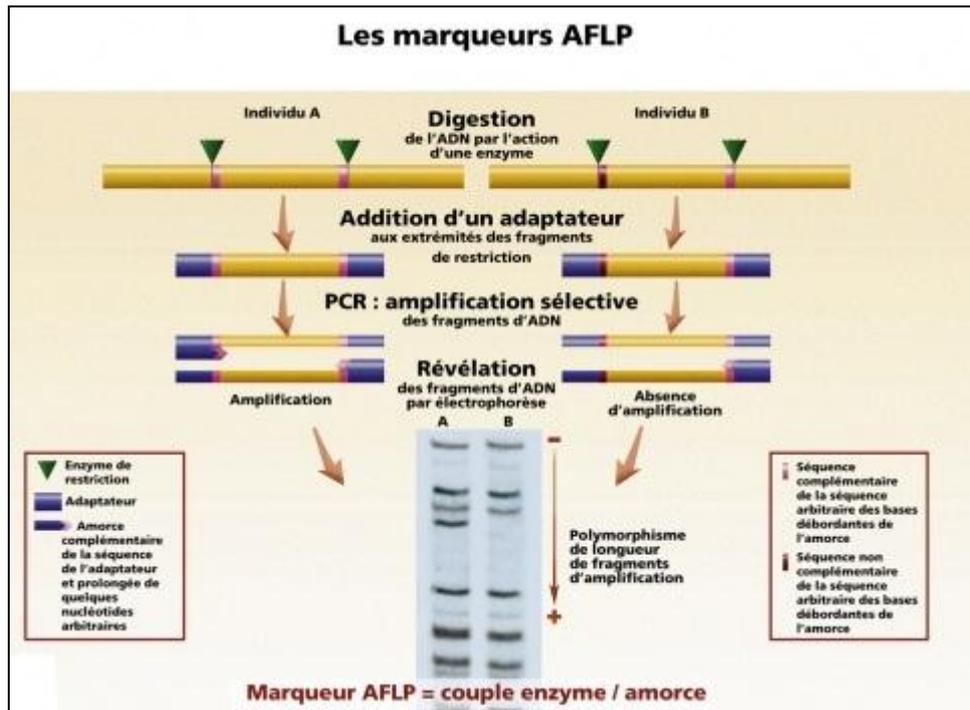


Figure 19 : Principe de la AFLP (gnis pédagogie, 2020)

Les analyses AFLP génèrent un grand nombre de bandes qui donne une empreinte génétique très informative. Plusieurs chercheurs ont adopté cette technique pour la détermination du sexe : Spada *et al.*, (1998) chez *Asparagus officinalis*, Stehlik et Blattner, (2004) chez *Rumex nivalis* et Mwase *et al.*, 2007 chez *Vapaca kirkiana*.

Une AFLP réalisée par Abdoukader (2009) pour quatre palmiers dattiers (deux mâles et deux femelles) fait apparaître l'existence de séquences mâles spécifiques potentielles (figure 20). Le résultat obtenu par électrophorèse capillaire montre des fragments amplifiés après digestion de l'ADN des individus mâles et femelles. Les flèches indiquent des fragments amplifiés chez les individus mâles et absents chez les femelles. Ces fragments peuvent constituer des marqueurs potentiels du sexe.

L'AFLP est une méthode puissante pour discriminer les génotypes de palmier dattier et pour évaluer la diversité génétique de cette culture fruitière. Des travaux sont en cours pour découvrir les marqueurs AFLP liés aux traits agronomiques, ainsi que ceux impliqués dans la détermination du sexe chez le palmier dattier. Ces marqueurs seraient importants pour aider à la sélection ou pour améliorer la culture de cette culture fruitière (Rhouma *et al.*, 2007).

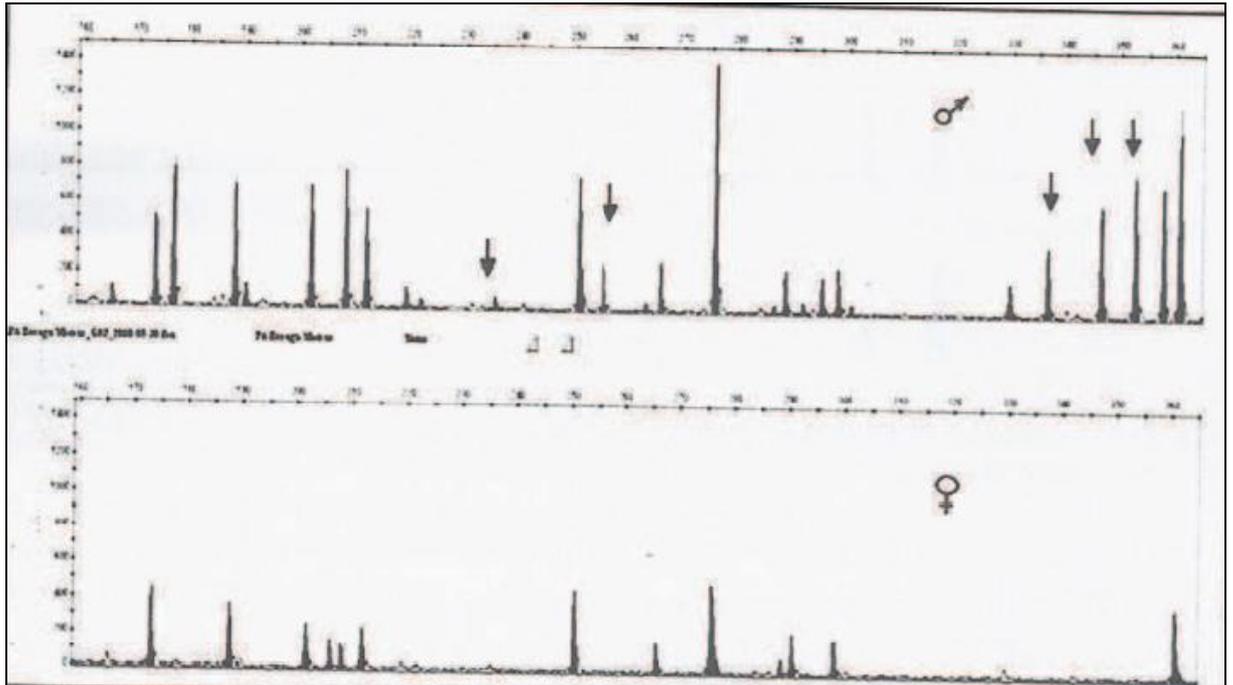


Figure 20 : Profil d'AFLP obtenue par électrophorèse capillaire (Abdoulkader, 2009)

1.6. Les marqueurs SSR

Les microsatellites ou répétitions de séquences simples (SSR) consistent en un nombre variable d'unités répétées en tandem de 1 à 6 pb chacune et représentent une classe d'ADN répétitif communément trouvé dans les génomes eucaryotes (Tautz et Renz, 1984). Le nombre d'unités répétées variant largement parmi les organismes, allant jusqu'à 50 copies de l'unité répétée. Elles se caractérisent par leur grande abondance (Condit et Hubbell 1991), leur grande variabilité (Schug *et al.*, 1998) et leur grande distribution dans différents génomes (Liu *et al.*, 1996). Les polymorphismes dans la région répétée peuvent être détectés en réalisant une PCR avec des amorces déterminées dans la région flanquante. La variation de taille des produits PCR est causée par des différences dans le nombre d'unités de répétition du microsatellite. Les polymorphismes SSR peuvent être visualisés par électrophorèse sur gel d'agarose ou de polyacrylamide (de Vicente et Fulton, 2003).

Les microsatellites sont en fait l'un des marqueurs génétiques préférés des plantes et des animaux. Ils sont exploités comme outils pour évaluer les distances génétiques et la diversité génétique dans les études évolutives (Goldstein et Pollock, 1997). Par rapport à d'autres marqueurs, la reproductibilité élevée des marqueurs microsatellites peut être due à leur grand

nombre, leur distribution dans tout le génome, l'hérédité co-dominante, et l'automatisation facile des procédures analytiques de la technique SSR.

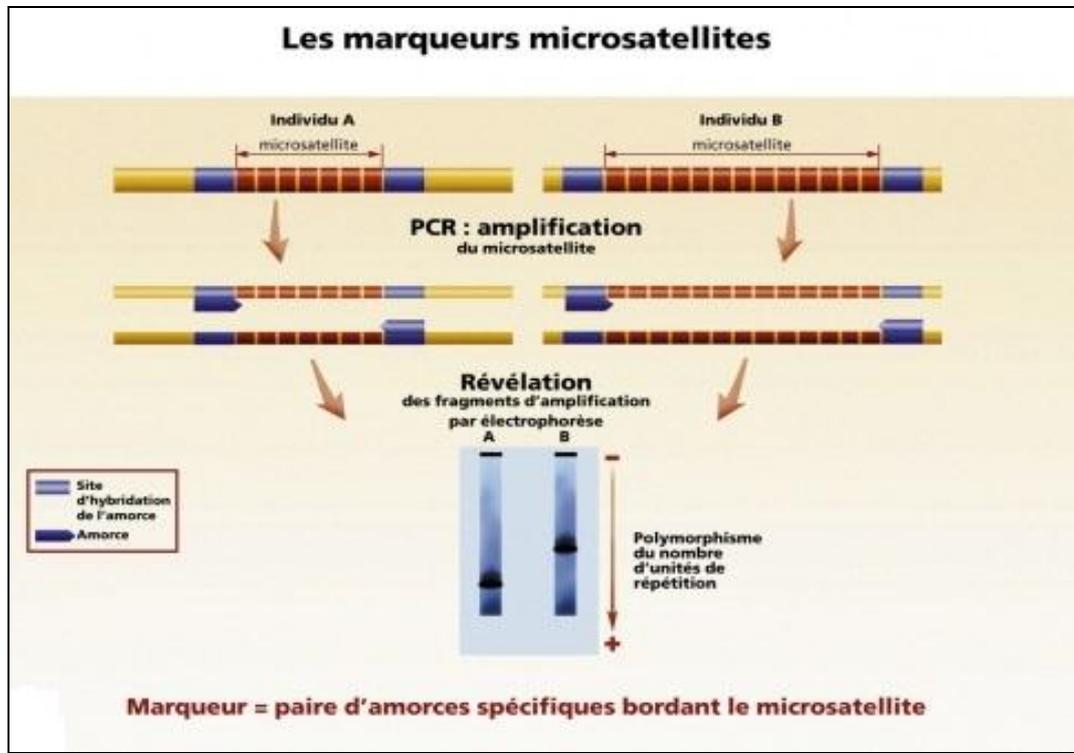


Figure 21 : Principe des microsatellites (gnis pédagogie, 2020)

Des microsatellites ont été développés et utilisés pour évaluer la diversité génétique et les relations phylogénétiques des collections de matériel génétique pour un large éventail d'espèces végétales, telles que les céréales (Song *et al.*, 2005), les légumes (Spooner *et al.*, 2007), et des arbres fruitiers comme le palmier dattier (Zehdi *et al.*, 2004).

Au cours de ces dernières années, de sérieux efforts ont été déployés pour comprendre et étudier la base génétique de la détermination du sexe chez le palmier dattier et pour développer des méthodes pour identifier le sexe à un stade précoce, en utilisant les marqueurs SSR. Une étude menée par Hussein en 2015 sur des palmiers dattiers égyptiens a démontré un niveau de polymorphisme de 100 % avec 6 marqueurs spécifiques aux pieds mâles et 4 marqueurs spécifiques aux pieds femelles. Ce travail est l'un des premiers rapports pour l'étude de la détermination génétique du sexe chez des cultivars de palmier dattier utilisant des analyses SSR.

D'autre part, Maryam *et al.*, (2016) ont analysé 12 amorces microsatellites dans 30 échantillons de palmier dattier et ont montré que ces marqueurs étaient hautement

Chapitre III. Techniques de détection du sexe chez le palmier dattier

polymorphes et avaient un grand nombre d'allèles. Ces amorces ont produit 15 loci polymorphes spécifiques dans des échantillons de palmiers dattiers mâles. Ces fragments ont été proposés comme marqueurs candidats prometteur pour détecter le sexe mâle chez le palmier dattier.

Les travaux de (Awan *et al.*, 2017) menés sur le palmier dattier ont permis d'identifier un marqueur SSR de 300 pb spécifique aux pieds mâles. Ce marqueur est absent chez palmiers femelles et présent dans 4 échantillons de leurs descendants (Figure 22).

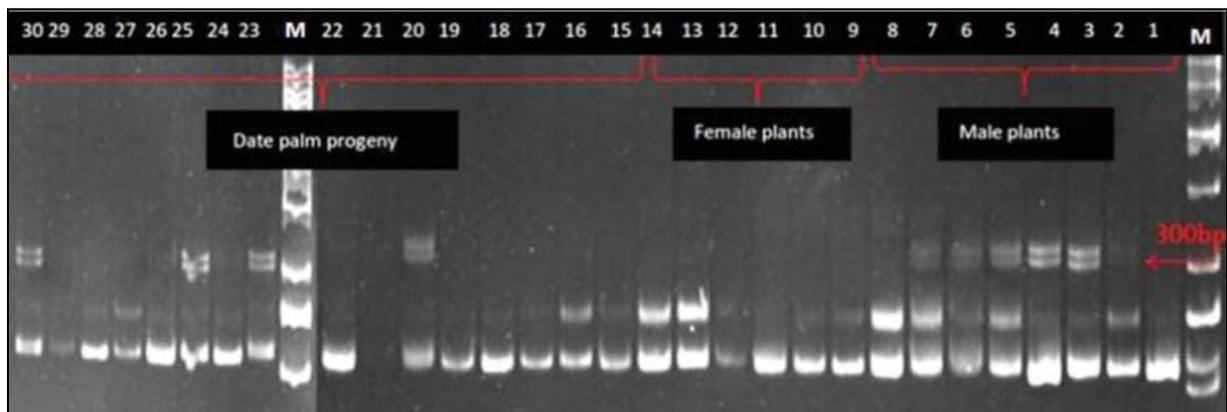


Figure 22 : Analyse par SSR des parents mâles et femelles de palmier dattier et de leurs semis (Source : Awan *et al.*, 2017)

Ces marqueurs SSR qui génèrent des allèles uniques jouent un rôle clé dans la création d'une technique d'empreinte digitale rentable pour la détermination du sexe à un stade précoce chez les cultivars de palmiers dattiers.

Conclusion et perspectives

Conclusion et perspectives

Le palmier dattier étant un élément clé de l'écosystème oasien en Algérie, l'identification précoce du sexe permettrait de sélectionner au jeune âge les pieds femelles dans les parcelles issues de semences et donc, de limiter les coûts en plantation liés à la culture des pieds mâles improductifs.

La détermination du sexe chez le palmier dattier continue d'être problématique même avec les efforts des chercheurs du domaine. Le mode dioïque (individus mâles et femelles séparés) et l'âge reproducteur initial tardif sont des contraintes pratiques majeures pour son amélioration génétique. Aussi, il est difficile d'identifier les cultivars femelles en fonction de leurs caractéristiques morphologiques en dehors de la période de fructification. Le palmier dattier n'a pas une importance économique majeure pour les pays les plus avancés technologiquement d'Amérique du Nord et d'Europe. La principale zone de production de cette culture est située au Proche-Orient et en Afrique du Nord, où l'expertise technique et les infrastructures de recherche avancée en génétique moléculaire sont faibles. De plus, peu de groupes de recherche ont été impliqués dans les programmes de sélection des palmiers dattiers. Par conséquent, relativement peu de travaux ont été effectués sur la détermination précoce du sexe du palmier dattier en utilisant une approche de génétique moléculaire.

Cependant, les données disponibles ouvrent une nouvelle fenêtre d'identification de marqueurs moléculaires liés au sexe chez le palmier dattier. En effet, des approches cytologiques via la coloration à la chromomycine ainsi que la FISH ont permis aux sélectionneurs d'émettre l'hypothèse que le palmier dattier posséderait un système chromosomique de type XY. L'étude histologique a été complétée par l'utilisation des marqueurs moléculaires à savoir : L'AFLP, les SSR et la RAPD et les SCAR.

Les marqueurs biochimiques (isoenzymes) ayant montré une différence d'expression selon le sexe du palmier dattier méritent d'être approfondis sur leurs aspects qualitatifs et quantitatifs. En effet, l'exploitation des systèmes enzymatiques discriminants comme les estérases, les peroxydases et les endopéptidases permettraient d'approfondir les travaux visant l'identification précoce des sexes mâle et femelles chez *Phoenix dactylifera* L.

Dans les premières études (avant l'an 2000), la majorité des marqueurs découverts étaient caractéristiques des mâles, mais avec l'avancée de la recherche et l'apparition des marqueurs moléculaires, les résultats les plus récents ont montré des marqueurs pour les deux sexes de la même espèce.

L'identification des séquences sexe-spécifiques permettrait la mise au point d'un test de détermination précoce du sexe qui trouvera des applications pratiques dans la sélection des individus mâles et des individus femelles pour les programmes d'amélioration génétique du palmier dattier. De telles réalisations pourraient stimuler de nouvelles études de population analysant les proportions des sexes dans les plantes dioïques où le dimorphisme sexuel est faiblement exprimé.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Abdoulkader S.** 2009. Etude de la diversité génétique de cultivars de palmier dattier à l'aide de marqueurs microsatellites et recherche de séquence d'ADN génomique spécifiques au sex. Sciences et environnement.n°23 : 29-39.
- Aberlenc-Bertossi F.** 2008. Biotechnologies du palmier dattier. Actes du 3e Séminaire du réseau AUF-BIOVEG. Montpellier (France), 18-20 novembre 2008. IRD éditions. Paris.
- Adawy, S ; Mohamed, A and Hanaia, A.** 2015. Sex-Differentiation Based on Fluorescence In Situ Hybridization (FISH) with 5s and 45s rDNA of Egyptian Date Palm Trees. 6 : 144-151
- Adawy, S., Atia, M.** 2014. IDENTIFICATION OF NOVEL SEX-SPECIFIC PCR-BASED MARKERS TO DISTINGUISH THE GENDERS IN EGYPTIAN DATE PALM TREES. International Journal of Agricultural Science and Research (IJASR) 4, 45–54.
- Al-Khayri J. M.** 2001. Optimization of biotin and thiamine requirements for somatic embryogenesis of date palm (*Phoenix dactylifera* L.). In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant. 37 : 453–456
- Al-Qurainy, F., Al-Ameri, A.A., Khan, S., Nadeem, M., Gaafar, A.-R.Z., Tarroum, M.,** 2018. SCAR Marker for Gender Identification in Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.). International Journal of Genomics. 1-6. <https://doi.org/10.1155/2018/3035406>
- AMIN R.** 1990. Recherche sur le palmier dattier (tome II). Centre National d'Agronomie Alger. p : 216.
- Awan, F.S., Maryam, null, Jaskani, M.J., Sadia, B.** 2017. Gender Identification in Date Palm Using Molecular Markers. Methods Mol. Biol. 1638, 209–225. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7159-6_18
- Banerjee, N.S., Manoj, P., Das, M.R., 1999.** Male-sex-associated RAPD markers in *Piper longum* L. Current Science 77, 693–695.
- Barrow S. 1998 – A monograph of *Phoenix* L. (Palmae : Coryphoideae). Kew bulletin 53 : 513-575
- Batista, F., Bañares, A., Caujapé-Castells, J., Carqué, E., Marrero-Gómez, M., Sosa, P.A.** 2001. Allozyme diversity in three endemic species of *Cistus* (Cistaceae) from the Canary Islands: intraspecific and interspecific comparisons and implications for genetic conservation. Am. J. Bot. 88, 1582–1592.
- Beal JM.** 1937. Cytological Studies in the Genus *Phoenix*. Botanical Gazette, 99 (2) :400-407.
- Bekheet S.A, Hanafy M.S. 2011. Towards Sex Determination of Date Palm. 4, 345-352
- Ben-Abdallah.** 2000. Date palm cultivar identification using random polymorphic DNA RAPD markers. Cahiers d'Etudes et de Recherches Francophones Agricultures. 9 : 103-107
- Bendiab K.** 1993. Correlation of isoenzyme polymorphism and Bayoud-disease resistance in date palm cultivars and progeny. Euphytica. 65(1) :23-32

Références bibliographiques

- Bennaceur, M., Lanaud, C., Chevallier, M.H., Bounaga, N.** 1991. Genetic Diversity of the Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) from Algeria Revealed by Enzyme Markers. *Plant Breeding* 107, 56–69. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1991.tb00528.x>
- Benyamin N.D., Shabana H.R., Jawad K.S., Alani B.A., Algidi H.K. & Zubair H.** 1972. Physico-chemical changes during different stages of ripening and determination of the depressed period of development in the dates fruit. 2-chemical changes in Z ahidi and Sayer cultivar. Tech. Report. 1/76. Palm Dates Research centre. Baghdad Iraq.
- Benziouche, S.** 2008. L'impact du PNDA sur les mutations du système de production oasien dans le sud algérien 11, (4), 49-57
- Blama Merzaia.** 2014. Dix sept wilayas productrices de datte, une richesse inépuisable pour l'Algérie. *Le monde des dattes*. Magasine mensuel n°1. pp : 43.
- Bouchemal K.** 2018. Etude des enzymes du stress oxydatif chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) : caractérisation biochimique et moléculaire. Thèse de doctorat 3ème cycle. Université des Frères Mentouri Constantine 1.
- Bougedoura N.** 1991. Connaissance de la morphogénèse du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) étude in situ et in vitro du développement des appareils végétatif et reproducteur. Thèse de doctorat. USTHB. Alger.
- Bougedoura N, Bennaceur M, Babahani S, Benziouche SE.** 2015. Date palm status and perspective in Algeria. In: Al-Khayri JM, Jain SM, Johnson DV, eds. *Date Palm Genetic Resources and Utilization*. Volume 1: Africa and the Americas. Germany: Springer, pp. 125–168.
- Bougedoura N.** 1982. Development and distribution of axillary buds in (*Phoenix dactylifera* L.). Proceeding of the first symposium on date palm in Saudi Arabia, King Faisal. Univ. Hassa. 23-25 March.
- Bougedoura N.** 1979. Contribution à la connaissance du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.); étude des productions axillaires. Thèse Doct. 3ème cycle., Université. Sc. Tech. Alger, pp 64.
- Bougedoura N.** 1990. Morphologie et ontogénèse des productions axillaires du palmier dattier, *Phoenix dactylifera* L. C.R. Acad. Sc. Paris, Série D, t. 291 : 857-860.
- Bounaga, 1993.** Prospects for integrated control of 'bayoud' (*Fusarium* wilt of the date palm) in Algerian plantations 14, 227-235.
- Brac De La Perrière R.A.** 1995. Histoire d'une plante Méditerranéenne : Le palmier dattier. Editions Sud, Aix en Provence, France.
- Brasileiro-Vidal AC et al.** 2003. Chromosome characterization in *Thinopyrum ponticum* (Triticeae, Poaceae) using in situ hybridization with different DNA sequences. *Genet. Mol. Biol.* 26 : 505-510

Références bibliographiques

Chao, C.T., Krueger, R.R. 2007. The Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) : Overview of Biology, Uses, and Cultivation. *HortScience* 42, 1077–1082.

Charlesworth et Charlesworth, (1978). A model for the evolution of dioecy and gynodioecy, (112) : 975-997.

Charlesworth. 2002. Plant sex determination and sex chromosomes. 88 : 94–101.

Condit, R., Hubbell, S.P. 1991. Abundance and DNA sequence of two-base repeat regions in tropical tree genomes. *Genome* 34, 66–71. <https://doi.org/10.1139/g91-011>

Daguin F., Letouze R. (1988) : Régénération du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) par embryogenèse somatique : amélioration de l'efficacité par passage en milieu liquide agité, *Fruits*. 43 : 191–194.

De Vicente MC., Fulton T. 2003. Using Molecular Marker Technology in Studies on Plant Genetic Diversity Studies: Learning Module. International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI), Rome, Italy and Institute for Genetic Diversity, Ithaca, New York, USA.

Delvenne P et al. 2010. FISH and CHIPS. *Rev Med Liège*. 65 : 3-10.

Dhawan, C., Kharb, P., Sharma, R., Uppal, S., Aggarwal, R.K. 2013. Development of male-specific SCAR marker in date palm (*Phoenix dactylifera* L.). *Tree Genetics & Genomes* 9, 1143–1150. <https://doi.org/10.1007/s11295-013-0617-9>

Djameel M.Al-Khayri. 2001. Optimization of biotin and thiamine requirements for somatic embryogenesis of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) 37, pp 453–456.

Dransfield. J et al. 2008. *Genera Palmarum. The evolution and classification of palm* 45: 57–75.

Dubost D. 1991. *Ecologie, aménagement et développement agricole des oasis algériennes.* Thèse de doctorat. Université François Rabelais (Tours). 549 p.

Elhoumaizi M.A. 2000. Modélisation de l'architecture du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) et application à la simulation du bilan radiatif en oasis. Thèse de doctorat d'état Es-Science (Option : Biologie végétale). Université Cadi Ayyad. Marrakech

Faci M. 2019. Typology and varietal biodiversity of date palm farms in the North-East of Algerian Sahara, *Journal of Taibah University for Science*, 13:1, 764-771

FAO. 2018. <http://www.fao.org/faostat/fr/#data/QC/visualize>

Ferry M., Toutain G. & Monfort S. 1991. La multiplication du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.). *Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi-arides.* Groupe d'étude de l'arbre. Paris, France, 353-363.

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.

Fonteney. 1960. Date growing in Australia. Journal Australian institute of Agricultural Sciences. 26.246 -257.

Gao, W.J., Sun, F.C., Yin, W.Z., Ji, Y.K., Deng, C.L., Lu, L.D. 2009. Clone and development of RAPD and SCAR markers linked to sex determination in the dioecious species *Humulus scandens* L. Journal of Molecular Cell Biology. 42, 211–216.

Gebler P., Wolko L., Knaflewski M. 2007. Identification of molecular markers for selection of supermale (YY) asparagus plants 48 : 129–131.

Girard P. 1962. Le palmier dattier. MARA, Direction Départementale de l'agriculture des oasis.CFPA.sidi -MahdiTouggourt (oasis). p : 136.

Gnis pédagogie. Les marqueurs moléculaires. Disponible sur : <https://www.gnis-pedagogie.org/sujet/marqueurs-moleculaires/>. Consulté en Mai 2020.

Goldstein, D.B., Pollock, D.D. 1997. Launching microsatellites: a review of mutation processes and methods of phylogenetic interference. J. Hered. 88, 335–342. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jhered.a023114>

Hannachi S. 2012. Ressources génétiques du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) en Algérie : analyse de la variabilité inter et intra des principaux cultivars. Mémoire de Magister en Sciences agronomiques. Ecole Nationale Supérieure Agronomique. El-Harrach-Algérie.

Harper J.A, Thomas I.D, Lovatt J.A. 2004. Physical mapping of rDNA sites in possible diploid progenitors of polyploid *Festuca* species. Plant Systematics and Evolution. 245 : 163–168

Hedrick PW. 2001. Conservation genetics: where are we now? Trends in Ecology & Evolution 16: 629–636.

Henderson A. 2009. Palms of Southern Asia. Princeton, Princeton University Press
Hilgeman R.H. 1951. The anatomy and development of the leaf and stem of date palm. Ann. Rep. Date growers' Inst. 28, 11-14.

Hirsch A.M .Fortune.D .Chat .J and Legav .G.M. 1997. PEROXIDASE TEST: A TEST FOR SEX SCREENING IN KIWI FRUIT SEEDLINGS. International Society for Horticultural Science. 444 : 89-96

Hormaza, J.I., Dollo, L., Polito, V.S. 1994. Identification of a RAPD marker linked to sex determination in *Pistacia vera* using bulked segregant analysis. Theor. Appl. Genet. 89, 9–13. <https://doi.org/10.1007/BF00226975>

Hussein, M.A. 2015. DETERMINATION OF SEX-SPECIFIC DNA MARKERS FOR DATE PALM (*Phoenix dactylifera* L.) GROWN IN EGYPT UTILIZING NUCLEAR MICROSATELLITE MARKERS. Journal of Agricultural Chemistry and Biotechnology 6, 237–246. <https://doi.org/10.21608/jacb.2015.48402>

Références bibliographiques

- Jahiel M. & Fortin L.** 1991. La double floraison du palmier dattier dans le sud-est du Niger (*Phoenix dactylifera* L.) Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi-arides. Groupe d'étude de l'arbre. Paris, France, 365 -372
- Jahiel M.** 1989. Intérêt et particularités du palmier dattier dans les zones de désertification : exemple du sud-est du Niger. Mémoire de DEA en Botanique tropicale appliquée, Univ. Montpellier II. France.
- Jiang, C., Sink, K.C.** 1997. RAPD and SCAR markers linked to the sex expression locus M in asparagus. *Euphytica* 94, 329–333. <https://doi.org/10.1023/A:1002958007407>
- Jiang, J.M., Friebe, B., and Gill, B.S.** (1994). Recent advances in alien gene transfer in wheat. *Euphytica* 73: 199-212
- Kahlem, G.** 1976. Isolation and localization by histoimmunology of isoperoxidases specific for male flowers of the dioecious species *Mercurialis annua* L. *Dev. Biol.* 50, 58–67. [https://doi.org/10.1016/0012-1606\(76\)90067-1](https://doi.org/10.1016/0012-1606(76)90067-1)
- Khenfar B.** 2004 : contribution à l'étude de quelques caractéristiques morphologiques de quatre cultivars de palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L) dans la région Druh (Biskra). Mémoire d'ingénieur. Département d'agronomie. Université de Batna.
- Khosla PK., Kumari A.** 2015. Methods of sex determination in dioecious Angiospermous plants. *Journal of Science & Management (LJSM)*. 1 : 1-9.
- Kumari, A., 2014.** Molecular identification of gender in *Populus ciliata* Wall. ex Royle using isozyme and RAPD Markers. *International Journal of Biological & Pharmaceutical Research* 5, 415–421.
- Legrand, B., Bouazza, A.** 1991. Changes in Peroxidase and IAA-Oxidase Activities during Adventitious bud Formation from Small Root Explants of *Cichorium intybus* L: Influence of Glucose. *Journal of Plant Physiology* 138, 102–106. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)80738-8](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)80738-8)
- Leitch I., Heslop-Harrison P.** 1992. Physical mapping of the 18S–5.8S–26S rRNA genes in barley by in situ hybridization. *Genome*. 35 : 1013-1018.
- Liu Z et al.** 2004. A primitive Y chromosome in papaya marks incipient sex chromosome evolution. *Nature*. 427 : 348–352
- Liu, Z.W., Biyashev, R.M., Maroof, M.A.** 1996. Development of simple sequence repeat DNA markers and their integration into a barley linkage map. *Theor. Appl. Genet.* 93, 869–876. <https://doi.org/10.1007/BF00224088>
- Maire, R.A.** 1957. Flore de l'Afrique du Nord : (Maroc, Algérie, Tunisie, Tripolitaine, Cyrénaïque et Sahara). Editions Paul Lechevalier. Paris. (45), 1878-1949
- Majourhat K et Bendiab K.** 1999. Etude comparative des palmiers dattiers mâles et femelles de la région de Marrakech réalisée sur la base des phénotypes isoenzymatiques des estérases, peroxydases et endopéptidases. 100 : 41-50.

- Markert Calment L, Moller Freddy.** 1959. MULTIPLE FORMS OF ENZYMES: TISSUE, ONTOGENETIC, AND SPECIES SPECIFIC PATTERNS. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 45 (5) : 753–763.
- Marks G.E.** 1975. The Giemsa-staining centromeres of *Nigella damascena*. *Journal of Cell Science.* 18 : 19-25
- Maryam, Jaskani, M., Awan, F., Ahmad, S., Khan, I.** 2016. Development of molecular method for sex identification in date palm (*Phoenix dactylifera* L.) plantlets using novel sex-linked microsatellite markers. *Biotech* 6. <https://doi.org/10.1007/s13205-015-0321-6>
- Masmoudi-Allouche, F., Meziou, B., Kriaa, W., Gargouri, R., Drira, N.** 2011. In Vitro Flowering of Date Palm. pp. 585–604. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1318-5_28
- Meraneh AD.** 2010. Détermination du sexe chez le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) : Approches histo-cytologiques et moléculaires. Thèse de doctorat. Ecole Doctorale : Biologie Intégrative. Université Montpellier II
- Messar E.M.** 1993. Le secteur phoenicicole algérien : Situation et perspectives à l'horizon 2010. In : Ferry M. (ed.), Greiner D. (ed.). *Le palmier dattier dans l'agriculture d'oasis des pays méditerranéens*. Zaragoza : CIHEAM, 1993. p. 23-44 (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 28).
- Michalik B., Klein M., Grzebelus D., Adamus A.** (2009): Hodowla roślin z elementami genetyki i biotechnologii. Poznań: Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne.
- Milewicz M., Sawicki J.** 2013. Sex linked markers in dioecious plants 6(2) :144-149.
- Mimouni Y, Siboukeur O.** 2011. Etude des propriétés nutritives et diététiques de sirops de dattes extraites par diffusion en comparaison avec des sirops à haute teneur en fructose (isoglucose) issus de l'industrie de l'amidon. *Ann Sci Tech* 3:1–11.
- Ming R., Yu Q., Moore PH.** 2007. Sex determination in papaya. *Seminars in Cell & Developmental Biology.* 18 : 401-408.
- Monéger.** 2001. Molecular and evolutionary analysis of a plant Y chromosome, *Comptes rendus de l'Académie des sciences. Paris, Sciences de la vie.* p : 324.
- Mulcahy DL, Weeden NF, Kesseli R, Carroll SB.** 1992. DNA probes for the Y chromosome of *Silene latifolia*, a dioecious angiosperm. *Sex Plant Reprod* 5:86–88
- Munier P.** 1973. Le palmier dattier. *Maisonneuve & Larose ed. Techniques agricoles et productions tropicales, numéro 24.* pp : 221
- Mwase, W.F., Erik-Lid, S., Bjørnstad, Å., Stedje, B., Kwapata, M.B., Bokosi, J.M.** 2007. Application of amplified fragment length polymorphism (AFLPs) for detection of sex-specific markers in dioecious *Uapaca kirkiana* Muell. *Arg. African Journal of Biotechnology* 6. <https://doi.org/10.4314/ajb.v6i2.56121>

- Nixon, R.W.** 1951. The date palm-“Tree of Life” in the subtropical deserts. *Econ Bot* 5, 274–301. <https://doi.org/10.1007/BF02985151>
- Oihabi.** 1991. Etude de l’influence des mycorhizes à vésicules et arbuscules sur le Bayoud et la nutrition du Palmier dattier. Thèse de Doctorat d’Etat Es-sciences. Université Cadi Ayyad-Marrakech. Maroc.
- Ouennoughi M., Dubost D.** 2005. L’introduction des palmiers dattiers en Nouvelle-Calédonie, (16) 241-246.
- Ould El Hadj MD, Cheick M, Hamdi W et al.** 2012. Etude comparative de la production d’éthanol brut à partir de trois variétés de dattes communes (Degla Beida, Tachrewit et Hamraya) réparties dans les différentes classes de dattes (molle, demi molle et sèche) de la cuvette de Ouargla (Sahara septentrional est algérien). Algérien. *J Arid Envir* 2:78–87.
- Paran, I., Michelmore, R.W.** 1993. Development of reliable PCR-based markers linked to downy mildew resistance genes in lettuce. *Theor. Appl. Genet.* 85, 985–993. <https://doi.org/10.1007/BF00215038>
- Peyron G.** 1988. Contribution à l’évaluation du patrimoine génétique égyptien. Phénologie du palmier dattier. CRIDAO (CIRAD-DSA) Montpellier., 20 : 110-399.
- Peyron G.** 1990. Guide illustré de formation : Cultiver le Palmier Dattier. Éd. CIRAD. Montpellier. pp : 109
- Peyron G.** 2000. Cultiver le palmier-dattier. Editions Quae. pp : 110
- Pintaud J.-C., Zehdi S., Couvreur T., Barrow S., Henderson S., Aberlenc-Bertossi 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.). In Seberg O., Petersen G., Barfod A. & Davis J. (Ed.), *Diversity, phylogeny and evolution in the Monocotyledons*, Aarhus University Press : 267-286.
- Popenoe P.** 1973 . The Date Palm. Field Research Projects. Université du Michigan. pp : 247
- Popenoe W.** 1938. Manual of tropical and subtropical fruits. New-York, The Macmillan Company. pp : 544.
- Raina, S., Mukai, Y.** 1999. Detection of a variable number of 18S-5.8S-26S and 5S ribosomal DNA loci by fluorescent in situ hybridization in diploid and tetraploid *Arachis* species. *Genome* 42, 52–59. <https://doi.org/10.1139/g98-092>
- Rhouma, S., Zehdi-Azouzi, S., Salem, A.O.M., Rhouma, A., Marrakchi, M., Trifi, M.** 2007. Genetic diversity in ecotypes of Tunisian date-palm (*Phoenix dactylifera* L.) assessed by AFLP markers. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 82, 929–933. <https://doi.org/10.1080/14620316.2007.11512328>
- Saaidi.** 1988. Amélioration génétique du palmier dattier. Critères de sélection, techniques et résultats. Séminaire sur les systèmes agricoles oasiennes. Tozeur (Tunisie). 19-21 Novembre.
- Saaidi, M.,** 1990. Amélioration génétique du palmier dattier : critères de sélection, techniques et résultats. *Options Méditerranéennes* 11, 133–134.

- Saker MM., Rady MR.** 2003. Employment of molecular markers for identification of male and female papaya plants. *Biotechnology & genetic engineering reviews*. 1 : 85-96
- Sang, Y., Liang, G.** 2000. Comparative physical mapping of the 18S-5.8S-26S rDNA in three sorghum species. *Genome / National Research Council Canada* 43, 918–22. <https://doi.org/10.1139/gen-43-5-918>
- Schug, M.D., Hutter, C.M., Wetterstrand, K.A., Gaudette, M.S., Mackay, T.F., Aquadro, C.F.** 1998. The mutation rates of di-, tri- and tetranucleotide repeats in *Drosophila melanogaster*. *Mol. Biol. Evol.* 15, 1751–1760.
- 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: Division de l'Information et de la Communication. Rabat-Instituts Maroc. pp : 265
- SHAFIQ M, ALAZBA A.A, AMIN M.T.** 2018. Removal of Heavy Metals from Wastewater using Date Palmas a Biosorbent: A Comparative Review. 47 (1) : 35–49
- SHAN, X., T. K. BLAKE and L. E. TALBERT.**1999. Conversion of AFLP markes to sequence-specific PCR marker in barley and wheat. *Theoretical and Applied Genetics* 98 : 1072–1078
- Sharma, A., Zinta, G., Rana, S., Shirkot, P.** 2010. Molecular identification of sex in *Hippophae rhamnoides* L. using isozyme and RAPD markers. *Forestry Studies in China* 12, 62–66. <https://doi.org/10.1007/s11632-010-0012-7>
- Shirkot, P., Sharma, D.R., Mohapatra, T.** 2002. Molecular identification of sex in *Actinidia deliciosa* var. *deliciosa* by RAPD markers. *Scientia Horticulturae* 94, 33–39. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(01\)00357-0](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(01)00357-0)
- Shishido, R., Sano, Y., and Fukui, K.** 2000. Ribosomal DNAs: an exception to the conservation of gene order in rice genomes. *Mol. Gen. Genet.* 263: 586–591. doi:10.1007/s004380051205. PMID:10852479.
- Shokr M Shafik. , Mahmoud Al Saman., Asma Abedala.** 2018 .Enhancement of Antioxidant Activity, Phenolic Contents and Protective Effects of *Beta vulgaris* Root Extract Against DNA Damage by Fermentation using Lactic Acid Bacteria 15, 87-96.
- Siljak-Yakovlev, S., Cerbah, M., Sarr, A., Benmalek, S., Bounaga, N., Coba de la Pena, T., Brown, S.C.** 1996. Chromosomal sex determination and heterochromatin structure in date palm. *Sexual Plant Reprod* 9, 127–132. <https://doi.org/10.1007/BF02221391>
- Soliman AS., Al-Mayah ARA.** 1978. Chromosome studies in date palm *Phoenix dactylifera* L. *MICR. ACTA; ALLEM.; DA.* (80) ,145-148.
- Soltis, P.S. Washington S.U., Soltis, D.E.** 1991. Genetic variation in endemic and widespread plant species: examples from Saxifragaceae and Polystichum (*Dryopteridaceae*). *Aliso* (USA). (13), 215 -223.

- Song, Q.J., Shi, J.R., Singh, S., Fickus, E.W., Costa, J.M., Lewis, J., Gill, B.S., Ward, R., Cregan, P.B.** 2005. Development and mapping of microsatellite (SSR) markers in wheat. *Theor Appl Genet* 110, 550–560. <https://doi.org/10.1007/s00122-004-1871-x>
- Spada, A.L., Caporali, E., Marziani, G., Portaluppi, P., Restivo, F.M., Tassi, F., Falavigna, A.** 1998. A genetic map of *Asparagus officinalis* based on integrated RFLP, RAPD and AFLP molecular markers. *Theoretical and Applied Genetics*. <https://doi.org/10.1007/s001220050995>
- Spooner, D.M., Núñez, J., Trujillo, G., Herrera, M. del R., Guzmán, F., Ghislain, M.** 2007. Extensive simple sequence repeat genotyping of potato landraces supports a major reevaluation of their gene pool structure and classification. *PNAS* 104, 19398–19403. <https://doi.org/10.1073/pnas.0709796104>
- Stehlik, I., Blattner, F.R.** 2004. Sex-specific SCAR markers in the dioecious plant *Rumex nivalis* (Polygonaceae) and implications for the evolution of sex chromosomes. *TAG. Theoretical and applied genetics. Theoretische und angewandte Genetik* 108, 238–242. <https://doi.org/10.1007/s00122-003-1425-7>.
- Suganuma, H.** 1984. Studies on plant materials as energy resources. I. Sex identification by an isozyme method in date palm *Phoenix dactylifera*. *Denryoku Chuo Kenkyusho Hokoku*, 0: 1 - 11.
- Sztuba-Solińska J.** 2005. SYSTEMY MARKERÓW MOLEKULARNYCH I ICH ZASTOSOWANIE W HODOWLI ROŚLIN. *KOSMOS*. 3 : 227-239
- Tautz, D., Renz, M.** 1984. Simple sequences are ubiquitous repetitive components of eukaryotic genomes. *Nucleic Acids Res* 12, 4127–4138.
- Terauchi R., Kahl G.** 1999. Mapping of the *Dioscorea tokoro* genome : AFLP markers linked to sex 42 (4) : 752-762, <https://doi.org/10.1139/g99-001>
- Tomlinson P.B.** 1960. Essays on the Morphology of palms. I- Germination and the seedling. *Principes*.14. 56-61.
- Torres, A.M., Diedenhofen, U., Bergh, B.O., Knight, R.J.** 1978. Enzyme Polymorphisms as Genetic Markers in the Avocado. *American Journal of Botany* 65, 134–139. <https://doi.org/10.2307/2442446>
- Torres, A.M., Tisserat, B.** 1980. Leaf Isozymes as Genetic Markers in Date Palms. *American Journal of Botany* 67, 162–167. <https://doi.org/10.2307/2442638>
- Toutain. G.** (1970). Multiplication du palmier dattier, *El Awamia* (34), Rabat, pp. 91-95.
- Vos, P., Hogers, R., Bleeker, M., Reijans, M., van de Lee, T., Hornes, M., Frijters, A., Pot, J., Peleman, J., Kuiper, M.** 1995. AFLP: a new technique for DNA fingerprinting. *Nucleic Acids Res* 23, 4407–4414.
- Vyskot B., Hobza R.** 2004. Gender in plants : sex chromosomes are emerging from the fog, 20 : 432-438.

Walter F. 1878. Insecticides and surfactant-insecticide combinations for control of the mite *Tetranychus marianae* McG., on tomatoes and eggplant. *Florida Entomologist*, 42 : 123-128.

Wendel Jonathan F et Weeden norman F. 1989. Visualization and Interpretation of Plant Isozymes In Soltis, D.E. (Ed.), *Isozymes in Plant Biology*. Springer Netherlands 25 ,46-72
<https://doi.org/10.1007/978-94-009-1840-5>

Williams, J.G., Kubelik, A.R., Livak, K.J., Rafalski, J.A., Tingey, S.V. 1990. DNA polymorphisms amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. *Nucleic Acids Res* 18, 6531–6535.

Wrigley, G. 1995. Date Palm. In: Smart, J. and Simonds, N.W., Eds., *Evolution of Crop Plants*, 2nd Edition, Longman, London, 399-403.

Yakubov, B., Barazani, O., Golan-Goldhirsh, A. 2005. Combination of SCAR primers and Touchdown-PCR for sex identification in *Pistacia vera* L. *Scientia Horticulturae* 103, 473-478. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2004.06.008>

Yanan H et al. 2004. Sex determination and sexual organ differentiation in flowering plants 6 (4) :50-57.

Zehdi, S., Trifi, M., Billotte, N., Marrakchi, M., Pintaud, J. 2004. Genetic diversity of Tunisian date palms (*Phoenix dactylifera* L.) revealed by nuclear microsatellite polymorphism. *Hereditas* 141 : 278–87.

Zohary D, Hopf M. 2000. *Domestication of plants in the Old World*. Oxford University Press. pp : 316

Zohary D, Spiegel-Roy P. 1975. Beginnings of fruit growing in Old World. *Science*. 187 : 319-32.

Détermination du sexe chez le palmier dattier : approches cytogénétiques, biochimiques et moléculaires

Mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master en Biotechnologie et Génomique Végétale

Résumé :

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L) est une plante monocotylédone, ligneuse, pérenne et dioïque avec une durée de vie de plusieurs générations. C'est l'une des plus anciennes cultures fruitières cultivées dans les régions arides de la péninsule Arabique, de l'Afrique du Nord et du Moyen-Orient. Dans le désert algérien, les oasis se caractérisent par la présence de cette plante qui produit des fruits mais aussi crée un microclimat favorable pour d'autres cultures. En plus de ses rôles écologiques et sociaux importants, cet arbre joue un rôle significatif dans la nutrition humaine et l'alimentation animale, et est utilisé pour produire une large gamme de produits finaux. Le palmier dattier est traditionnellement multiplié par voie végétative à partir de ramifications produites par des arbres élités individuels et, plus récemment, par des plantes issues de la culture de tissus. Chez le palmier dattier, un mode dioïque (individus mâles et femelles séparés) et l'âge reproductif tardif (5–10 ans) sont des contraintes pratiques majeures pour l'amélioration génétique. De plus, la reproduction sexuée permet d'introduire une plus grande diversité mais engendre une descendance composée de 50% de plantes mâles et 50% de plantes femelles, alors que seules les plantes femelles produisent des fruits. L'identification précoce du sexe des jeunes plants pourrait améliorer les programmes de sélection et générer des stocks génétiques expérimentaux mâles et femelles qui contribueront à l'amélioration génétique du palmier dattier. Ici, la biotechnologie, en tant que nouvel outil dans la sélection du palmier dattier, peut être utile. Le présent document fera le point sur les approches génétiques, biochimiques et moléculaires développées chez le palmier dattier pour la détermination du sexe des semis à un stade précoce

Mots clés : Palmier dattier, détermination du sexe, marqueurs moléculaires, isoenzymes, dioecie, chromosomes sexuels

Laboratoire de recherche : Génétique, Biochimie et Biotechnologies Végétales (GBBV), Université Frères Mentouri (Constantine 1).

Jury d'évaluation :

Présidente : KACEM S. N (MCB - UFM Constantine),
Encadrant : BOUCHEMAL K (MAB - UFM Constantine),
Examinatrice : HAMMOUDA D. (MCA.- UFM Constantine).

Date de soutenance : .07/07/2020