

MÉMOIRE DE MASTER

Spécialité : Parasitologie

Présenté et soutenu par :

BERKI Zohra

Le :18/06/2025

L'influence du changement climatique sur le palmier dattier (Synthèse des articles scientifiques)

Jury :

D ^r	ZAKRI Wissam	MAB	Université de Biskra	Président
D ^r .	MEGDOUD Amel	MAB	Université de Biskra	Rapporteur
D ^r	AOURAGT Hayate	Grade	Université de Biskra	Examinateur

Remerciement

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude envers Dieu, le Tout-Puissant et Miséricordieux, pour m'avoir accordé la santé, la force, la détermination et la patience nécessaires pour mener à bien ce travail. C'est grâce à Sa bienveillance que j'ai puachever ma formation de master et accomplir ce modeste travail dans les meilleures conditions.

En second lieu, je tiens à exprimer mes sincères remerciements à mon encadrante, Mme Megdoud Amel, pour avoir accepté de diriger ce mémoire avec beaucoup d'attention et de bienveillance. J'adresse également mes remerciements aux membres du jury pour leur temps et leurs précieuses remarques.

Je remercie aussi l'ensemble des enseignants du Département des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université Mohamed Khider de Biskra en particulier Dr BELBCIR et Dr BELKHIRI ainsi que toute l'équipe administrative et le personnel de la bibliothèque pour leur accompagnement tout au long de ce parcours.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail , fruit de longues années d'études et de travail acharné :

À mon père qui m'a toujours aidé , ma mère pour son amour, ses sacrifices sa bienveillance.

À mon mari SEBA AbdelHak pour son encouragement.je n'oublie jamais ma fille(ma sœur) Rania et mon fils AbdelAziz de remercier.

À mes frères Hassane- Mored-Rouchdi et Dassi et à leurs femmes et enfants.

À mes soeures, Wafia - Moufida - Kenza et à leurs Maris et à leurs enfants.

À mes collègues de travail, ainsi qu'à mes chères amies Houda Soultani - Hasna Djeider- Amna Belabasse et Khaoula S .

À Tout les étudiants du Département de Biologie(Parasitologie).

Et plus largement, à toutes celles et ceux qui, de près ou de loin, m'ont aidée, inspirée ou soutenue au cours de cette belle aventure. Je leur dédie ce mémoire en témoignage de ma gratitude et comme reflet de ma détermination à réussir.

Table des matières

Remerciement

Dédicace

Liste des tableaux	IV
Liste des figures	V
Liste des abréviations	VI
Introduction	1

Chapitre 01

Généralité sur le palmier

1.Aperçu bibliographique sur le palmier dattier.....	5
1.1.Généralités sur le palmier dattier	5
1.2.Classification	5
1.3.Description morphologique	6
1.3.1.Partie souterraine.....	6
1.3.1.1.Système racinaire	6
1.3.2.Partie aérienne	6
1.3.2.1. Tronc (Stip)	6
1.3.2.2.Feuilles (palmes)	7
1.3.2.3. Inflorescences.....	7
1.3.2.4. Fruit (Datte)	8
1.4.Ecologie de palmier dattier.....	8
1.4.1.Exigence climatique.....	8
1.4.1.1.Température	8
1.4.1.2.Lumière.....	9
1.4.1.3.Humidité.....	9
1.4.2.Exigence hydrique.....	9
1.4.3.Exigences édaphiques	9
1.5.Cycle de production du palmier dattier	9

Chapitre 02

Le changement climatique

1.Définition du changements climatiques	12
2. Causes du changement climatique	12

2.1.Effet de serre.....	13
3.Conséquences du changement climatique	13
3.1.Effets sur les végétaux	13
3.1.1.Effet sur le palmier dattier	14

chapitre 3

Materiel et méthodes

1.Matériel.....	18
1.1.Stratégie de recherche.....	18
1.2.Matériel végétal	20
2.Methode	22
2.1.Collecte des Données Climatiques	22
2.2.Suivi phénologique et données climatiques	22
2.3.Stress hydrique et besoins en eau	23
2.4.Effet de la température	24
2.5.Stress climatique et pathologies.....	25
2.6.Modélisation de la répartition future	25

Chapitre 4 : Résultats et discussion

1.Résultats du suivi phénologique et données climatiques	28
2.Résultats du stress hydrique et besoin en eau	31
3.Résultats de l'effet de température	34
4.Résultats relatifs au stress climatique et aux pathologies associées	35
5.Résultat de la modélisation de la répartition future	36
5.1.Résultats de l'article 3	36
5.1.1.Tendances générales des modèles.....	36
5.1.2. Évolution des surfaces cultivables	37
5.2. Résultats de l'article 6	37

Conclusion

Références bibliographiques

Annex

Résumé

Liste des tableaux

Tableau 1. Les travaux retenus dans la synthèse.	18
Tableau 2. Origines des différentes variétés étudiées.....	21
Tableau 3. Résultats de la variation des stades phénologiques et des températures moyennes mensuelles du palmier dattier dans différentes régions d'Algérie.....	28
Tableau 4. Comparaison des résultats des articles 7, 9 et 11 sur le cycle phénologique du palmier dattier.	29
Tableau 5. Synthèse des résultats relatifs à l'effet du stress hydrique et des besoins en eau chez le palmier dattier.	31

Liste des figures

Figure 1. Schéma du palmier dattier (<i>Munier, 1973</i>).....	49
Figure 2. Schéma d'une palme de palmier dattier (<i>Munier, 1973</i>).....	50
Figure 3. Les inflorescences du dattier : male (A) et femelle (B) (Ali, 2021).....	50
Figure 4. Les cinq étape de développement de la datte à peau jaune et rouge(Ali, 2021).....	51
Figure 5. Conséquences morphologique, métabolique et cellulaires de trois facteurs environnementaux affectés par le changement climatique (<i>Muller, 2022</i>).....	52

Liste des abréviations

A2 (scénario A2) : Scénario d'émission du GIEC

ArcGIS : Geographic Information System by Esri

CLIMEX : Climate Index for Modeling the Effects of Climate on Species

CMIP5 : Coupled Model Intercomparison Project Phase 5

CO₂ : Dioxyde de carbone

CSIRO-Mk3.0 : Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation - Mark 3.0

ECiw : Electrical Conductivity of Irrigation Water

GCMs : General Circulation Models ou Global Climate Models

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

HadCM3 : Hadley Centre Coupled Model, version 3

MIROC-H : Model for Interdisciplinary Research on Climate – High resolution

N₂O : Protoxyde d'azote

NH₄ : L'ion ammonium

RCP : Representative Concentration Pathways

SDSM : Statistical DownScaling Model

SUTRA : Saturated-Unsaturated Transport Model

Introduction

Introduction

Depuis le XIX^e siècle et la révolution industrielle, les activités humaines, comme la combustion d'énergies fossiles, la déforestation et l'industrialisation intensive, ont fortement intensifié le phénomène d'effet de serre (Dron et Hirschhorn, 2002). Ce dernier a mené à un dérèglement climatique, dont les effets sont désormais scientifiquement prouvés et unanimement reconnus comme l'un des plus grands défis environnementaux et économiques majeurs de notre époque. mobilisant la communauté scientifique, les gouvernements et les institutions internationales (Morton et al., 2014).

Ce changement climatique constitue un processus complexe et multidimensionnel dont les manifestations sont à la fois multiples et intimement interconnectées. Elles incluent notamment une élévation globale des températures, une altération des régimes pluviométriques, une montée du niveau des mers, une acidification des océans, ainsi qu'une intensification de la fréquence et de la gravité des événements météorologiques extrêmes (Gray et Brady, 2016 ; Belhorma, 2025).

Cependant ces perturbations environnementales impactent gravement les écosystèmes terrestres et aquatiques, dégradant la biodiversité et altérant les cycles naturels. Les écosystèmes aquatiques sont vulnérables au changement climatique, avec des modifications directes sur les apports d'eau douce, la température, la salinité et la circulation, affectant ainsi les nutriments et la lumière. Cela entraîne des changements structurels chez le zooplancton, les poissons et la phénologie des méduses (Bacelar-Nicolau et Azeiteiro, 2015; Nash et al., 2021).

Les espèces végétales subit des changements phénologiques et physiologiques, avec une répartition géographique modifiée, souvent limitée par la dispersion des graines et la fragmentation des paysages. Les espèces animales peuvent migrer, évoluer ou disparaître si elles ne s'adaptent pas, ou elle peut créer de nouvelles communautés avec des dynamiques altérées, ce qui affecte les fonctions des écosystèmes (Bacelar-Nicolau et Azeiteiro, 2015).

Parmi les écosystèmes les plus vulnérables, les zones arides et semi-arides subissent de plein fouet les effets du réchauffement climatique où les écosystèmes sont déjà fragilisés par des conditions climatiques extrêmes et des ressources hydriques limitées. Dans ces régions, le palmier dattier (*Phoenix dactylifera L.*) plante xérophile parfaitement adaptée aux climats arides et semi-arides constitue l'armature de l'écosystème oasien des régions sahariennes et présahariennes

(*Zenchi et Abdoun, 2015*) . Cette espèce se révèle être une culture emblématique et stratégique, indissociable du désert et de l'eau (*Ozenda, 2004*). Sa résistance à la chaleur et à la sécheresse extrême a permis le développement d'une agriculture oasis durable, fournissant des dattes nutritives, de l'ombre et une protection contre l'évaporation pour d'autres cultures (*Sedra, 2003; Al-Khayri et al., 2021*).

Néanmoins, malgré la relative tolérance du palmier dattier aux conditions climatiques rigoureuses, il n'est pas épargné par les effets du changement climatique. Des nombreux études montrent que cette espèce est de plus en plus affectée par les vagues de chaleur prolongées, la raréfaction des ressources en eau, ainsi que l'émergence de nouveaux ravageurs et maladies favorisés par les déséquilibres climatiques. Ces perturbation ont un impact direct sur la croissance, la floraison, la fructification et la qualité des dattes produites (*Faci, 2021*). Face à cette situation préoccupante, la problématique de ce travail est la suivante : Comment les changements climatiques influencent-ils le palmier dattier ?

Dans ce contexte, l'objectif visé dans ce travail est de savoir l'état actuel du palmier dattier sous l'influence des changement climatiques. Le présent travail s'articule autour de deux sections principales. La première partie est consacrée à une revue de la littérature. Elle comprend un premier chapitre traitant du palmier dattier. Un deuxième chapitre portant sur les changements climatiques et leurs effets, à la fois sur la végétation en général et sur le palmier dattier en particulier.

La seconde partie, qui constitue le cœur de ce travail, intègre la rubrique « Matériel et méthodes », décrivant en détail les différentes techniques mises en œuvre pour évaluer l'influence des changements climatiques sur le palmier dattier dans diverses régions. Elle comprend également la rubrique « Résultats et discussion », qui propose une synthèse critique des résultats issus de 15 publications scientifiques portant sur un ou plusieurs paramètres analysés dans le cadre de cette étude.

Problématique: comment les changements climatiques influence sur le palmier dattier?

Objectif: savoir l'état actuel du palmier dattier sous l'influence des changement climatiques.

Partie bibliographique

Chapitre 01

Généralité sur le palmier

Ce chapitre explore de manière approfondie les caractéristiques morphologiques, physiologiques du palmier dattier. Dans le deuxième chapitre, nous intéresserons aux les effets des changements climatiques, en examinant d'une part leur impact global sur les végétaux, et d'autre part leurs répercussions spécifiques sur le palmier dattier.

1. Aperçu bibliographique sur le palmier dattier

1.1. Généralités sur le palmier dattier

Le palmier dattier est un symbole de prospérité et de résilience (Zenchi et Abdoun, 2015). Véritable mage du désert, il est souvent considéré comme le pilier des écosystèmes oasiens des zones sahariennes et pré sahariennes. Cette importance est due à sa remarquable adaptation aux conditions climatiques extrêmes, à la haute valeur nutritive de ses fruits, à la diversité de ses utilisations et sa morphologie qui favorise la cultures d'autre plantes sous-jacentes (Belaroussi, 2019). (voir annex1 figure 1)

1.2. Classification

Le palmier dattier appelé par Linné en 1734 (*Phoenix dactylifera L.*), *Phoenix* tire son nom de *Phoinix*, le terme utilisé par les grecs de l'antiquité pour désigner le dattier, qu'ils croyaient être un arbre des phéniciens. *Dactylifera* tire son nom du latin *dactylus*, qui dérive du grec *dactylus*, signifiant doigt (en raison de la forme de son fruit), associé au terme latin *fero*, qui signifie porter, en référence à la fructification du dattier (Gros-Balthazard et al., 2013; Zenchi et Abdoun, 2015; Al-Khayri et al. 2021).

Le genre *Phoenix*, appartenant à la famille des *Arecaceae* (anciennement *Palmaceae*), regroupe environ 2500 espèces. Parmi elles, le palmier dattier qui fait partie des douze espèces botaniques répertoriées au sein de ce genre, selon les travaux de Munier (1973) et (Feldman, 1976) cité par (Rekis, 2021) . Sa classification systématique est établie comme suit :

- **Règne** : *Plantae*
- **Sous-règne** : *Tracheobionta* (plantes vasculaires)
- **Division** : *Magnoliophyta* (Angiospermes)
- **Classe** : *Liliopsida* (Monocotylédones)
- **Sous-classe** : *Arecidae*
- **Ordre** : *Arecales*

- **Famille :** *Arecaceae*
- **Genre :** *Phoenix*
- **Espèce :** *Phoenix dactylifera L.*

1.3. Description morphologique

C'est une plante angiosperme monocotylédone, (*Hussain et al., 2020*), qui se distingue par son statut dioïque, impliquant une séparation des individus mâles (*dokkars* ou pollinisateurs) et femelles. Sur le plan génétique, l'espèce est majoritairement diploïde ($2n=36$), bien que certaines variétés présentent une polyplioïdie rare (*Ezzouaoui et al., 2024*). Elle est composée de deux parties, comme tous les arbres ou arbustes, d'une partie souterraine: le système racinaire et d'une partie aérienne. (Voir annex 1 figure1)

1.3.1. Partie souterraine

1.3.1.1. Système racinaire

Le système racinaire du palmier dattier, de type fasciculé et dépourvu de racine pivotante. Ce système s'étend considérablement, atteignant une profondeur de 8 à 10 mètres et une expansion latérale dépassant 7 mètres (*Elhoumaizi et al., 2002*). La densité racinaire diminue avec la profondeur, et varie en fonction des propriétés du sol, du climat, et du cultivar (*Albaker, 1972* cité par *EL houmaizi (2002) ; Toutain, 1967*). *Peyron (2000)* a classé ce système en quatre types en fonction des zones de profondeur dans le sol :

- **Les racines respiratoires :** 0 à 20 cm.
- **Les racines de nutrition :** 20 à 100 cm.
- **Les racines d'absorption :** 1 à 2 m.
- **Les racines d'absorption de profondeur :** 17 m et peut atteindre 20 m, tout dépend de la profondeur de la nappe phréatique et la nature du sol (*Ali, 2021*).

1.3.2. Partie aérienne

Cette partie comprend le tronc, les feuilles, l'inflorescence et le fruit.

1.3.2.1. Tronc (Stip)

Le dattier possède un stipe unique, élancé et cylindrique, non ramifié et lignifié, de couleur brun-marron. Il peut s'élever à plus de 30 mètres et maintient un diamètre constant de la base au

sommet (*Al-Khayri et al., 2021*). La vitesse de croissance varie selon les cultivars, l'âge et le poids des rejets utilisés lors de la plantation (*Girard, 1962*, cité par *Rekis, 2021*). Le stipe est recouvert par les bases des palmes, appelées « *cornaf* », qui forment une enveloppe fibreuse entrelacée autour du tronc (*Toutain, 1979*). La croissance du stipe repose sur un bourgeon terminal unique, dont l'activité végétative se poursuit sans interruption tout au long de la vie du palmier (*Munier, 1973*). (Figure1)

1.3.2.2. Feuilles (palmes)

Les feuilles du palmier dattier, appelées palmes ou *Djerids*, sont composées, pennées et dotées d'une texture coriace. Leur longueur varie entre 3 et 10 mètres en fonction de l'âge et du cultivar, tandis que leur nombre est déterminé par les conditions agro-climatiques (*Peyron, 2000; Sedra, 2003; Ali, 2021*).

Une palme adulte est composée des pennées appelé folioles, des épines, d'un rachis et d'un pétiole (Voir annex2 Figure2). Les folioles sont disposées de manière paripennée le long du rachis et repliées longitudinalement en forme de gouttière est tournée vers le haut. Les folioles inférieures se transforment en épines longues, inclinées et rigides, dont la couleur évolue du vert au jaune avec l'âge de la palme. La base du rachis, appelée pétiole, est large, engainée et présente une teinte variant du blanc cassé au brun marron. Le stipe est recouvert de tissus fibreux (fibrillum), résultant de l'excroissance de la gaine basale de la palme. Chaque palme porte à son aisselle un bourgeon axillaire, qui peut être végétatif, florifère ou intermédiaire (*Peyron, 2000; Sedra, 2003; Ali, 2021; Al-Khayri et al. 2021*).

1.3.2.3. Inflorescences

Le dattier, comme toutes les espèces du genre *Phoenix* (*Peyron, 2000*), est une plante dioïque à reproduction allogame : les pieds mâles fournissent le pollen, tandis que les femelles produisent des fruits qui sont les dattes. Ses fleurs, portées par des pédicelles ou des épillets, s'agrippent à un axe charnu nommé spadice. L'ensemble, tel un trésor préservé, est enveloppé dans une spathe membraneuse (*Sedra, 2003; Ali, 2021*).

A. Fleur femelle

Elle se distingue par sa forme globuleuse et son diamètre compris entre de 3 à 4 mm. Sa structure comprend un calice court formé de trois sépales soudés, ainsi qu'une corolle constituée

de trois pétales ovales et arrondis (*Belaroussi, 2019*). Elle possède également six étamines abortées. Selon *Munier (1973)* cité par (*Rekis, 2021*), le gynécée est composé de trois carpelles indépendants, chacun renfermant un ovule unique . Lors de la pollinisation, un seul ovule est fécondé, entraînant le développement d'un unique carpelle qui mûrit progressivement pour former le fruit, la datte. Les autres ovules, quant à eux, dégénèrent et se détachent après la pollinisation (*Sedra, 2003*). (figure 3)

B. Fleur mâle

De forme allongée et d'un blanc ivoire éclatant, cette fleur s'épanouit dans un calice aux trois spathes soudées, abritant une corolle aux pétales allongés (*Sedra, 2003*). Selon *Belhabib (1995)* cité par *Rekis (2021)* , elle renferme six étamines à déhiscence interne et trois pseudo-carpelles. Dès l'éclatement de la spathe mâle, fin janvier, un nuage de pollen s'en libère. Chaque spathe porte 160 branchettes, offrant entre 40 et 45 g de pollen (*Rekis, 2021*). (Voir annex3 figure 3)

1.3.2.4. Fruit (Datté)

La datte, perle sucrée du désert, est une baie monosperme où un épipérille délicate protège un mésocarpe charnu et un endocarpe fin renfermant le noyau. Au fil de sa maturation, elle se métamorphose : sa couleur se modifie, sa taille et son poids évoluent, sa texture se transforme, tandis que sa richesse nutritionnelle et son goût se révèlent pleinement. Ce fruit traverse cinq stades de maturation, chacun nécessitant des conditions climatiques spécifiques (*Toutain, 1967; Peyron, 2000; Sedra, 2003*). (Voir annex4 figur4)

1.4. Ecologie de palmier dattier

La croissance et la production des dattes dépendent des exigences climatiques, hydriques ainsi que édaphiques.

1.4.1. Exigence climatique

1.4.1.1. Température

Le palmier dattier est une espèce thermophile, croît dès 7-10 °C, atteint son maximum à 32 °C, puis sa croissance diminue après 38-40 °C. Il fructifie au-dessus de 18 °C et supporte jusqu'à 56 °C avec un bon apport en eau (*Peyron, 2000; Sedra, 2003; Al-Khayri et al., 2021*).

1.4.1.2.Lumière

Le dattier, plante héliophile, nécessite une intense luminosité pour optimiser la photosynthèse et assurer la maturation des dattes (*Khan et Hassan, 2016*).

1.4.1.3.Humidité

Le palmier dattier préfère un climat saharien avec une humidité inférieure à 40 % (*Khan et Hassan, 2016*).

1.4.2.Exigence hydrique

Pour garantir une production optimale de dattes, le palmier dattier nécessite une quantité d'eau importante, variant entre 24 640 et 32 850 m³ par hectare / ans. Celà, en fonction du type de sol, de la profondeur de la nappe phréatique, de l'ensoleillement et de la température . En été, l'irrigation doit atteindre 50 L/min/ha, tandis qu'en hiver, les besoins diminuent à 40 L/min/ha, ajustant ainsi l'apport en eau aux conditions climatiques et aux exigences de la plante (*Touain, 1967; Rekis, 2021*).

1.4.3.Exigences édaphiques

Le palmier dattier est une espèce robuste s'adapte à une large gamme de sols variés, du sable pur aux terrains riches en éléments fins , préférant ceux neutres, profonds et bien drainés. Il tolère une forte salinité (jusqu'à 15 g/L de NaCl), mais une salinité excessive réduit fortement son rendement. Sensible à l'argile et aux eaux stagnantes, il prospère en milieu aride grâce à sa robustesse (*Hami Said, 2016; Rekis, 2021*).

1.5.Cycle de production du palmier dattier

D'après *Belaroussi en (2019)*, les dattiers traversent généralement quatre grandes phases de développement :

- **Phase jeune** : elle s'étend de la plantation jusqu'aux premières productions, soit environ 5 à 7 ans, en fonction des conditions environnementales et des soins culturaux.
- **Phase juvénile** : correspond à la période de pleine production, qui se situe autour de 30 ans.
- **Phase adulte** : aux alentours de 60 ans, la production commence à décliner, particulièrement si les conditions de culture sont défavorables.

- **Phase de sénescence** : à partir de 80 ans, la production chute considérablement. Le cycle végétatif annuel du palmier dattier est étroitement lié aux pratiques culturales mises en œuvre dans les régions sahariennes.

Chapitre 02

Le changement

climatique

1. Définition du changements climatiques

Terre constitue un système dynamique, où les interactions subtiles entre l'atmosphère, l'hydrosphère, la cryosphère, la biosphère et la température orchestrent les variations climatiques. Ces interactions, influencées par des processus physiques et chimiques, déterminent notre climat. Toutefois, l'accélération récente du changement climatique, manifeste à travers des indicateurs multiples est devenue défi majeur pour les instances de gouvernance environnementale, suscitant des interrogations sur ses causes, son évolution et ses conséquences sur la vie humaine, la santé, les écosystèmes et l'économie (*Dron et Hirschhorn, 2002*).

Selon les experts du Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du climat (*GIEC, 2008*), le changement climatique se définit par une modification durable des paramètres statistiques (paramètres moyens, variabilité) du climat terrestre, qu'elle se manifeste à l'échelle globale ou régionale pendant de longues périodes (pendant des décennies). Ces variations peuvent être dues à des processus internes à la terre ou à des forçages externes, ou encore de l'impact anthropique, notamment l'émission de gaz à effet de serre engendrée par les activités humaines. Tout ces phénomènes altèrent la composition de l'atmosphère ou de l'affectation des terres. Selon les projections par ce groupe, la terre se réchauffera de 1,8°C à 4°C d'ici à 2100 (*Ouanes, 2020*). Au contraire cette définition contraste avec celle adoptée par la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), qui affirme que ce terme se réfère exclusivement aux modifications climatiques résultant des activités humaines (*Dron et Hirschhorn, 2002; Ouanes, 2020; Faci, 2021*).

2. Causes du changement climatique

Plusieurs facteur peuvent influencé sur le climat, qu'ils soient d'origine naturels comme la rotation terrestre ou également les fluctuations de l'activité solaire. Toutefois, le facteur major à notre jour, au cœur des débats sur le changement climatique, est l'effet des activités anthropiques notamment la combustion des énergies fossiles, la déforestation et élevage intensif ce qui conduit à un phénomène, appelé « effet de serre » qui accélérant a son tour le réchauffement de la planète (*Ouanes, 2020; Bennedjoue, 2021*).

2.1.Effet de serre

L'effet de serre est un mécanisme physique naturel primordial au maintien des conditions nécessaires à la vie sur la planète. Il permet à la terre de retenir une partie de l'énergie du soleil grâce à certains gaz présents dans l'atmosphère, comme le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄) et le protoxyde d'azote (N₂O) qui absorbent et réémettent le rayonnement infrarouge émis par la surface terrestre afin de maintenir une température adaptée à la vie+15° C. Cependant, les activités humaines augmentent excessivement la concentration de ces gaz dans l'atmosphère, ce qui perturbe l'équilibre naturel et renforce l'effet de serre et entraîne un réchauffement climatique anormal (*Dron et Hirschhorn, 2002; Bennedjoue, 2021*).

3.Conséquences du changement climatique

Ce changement peut avoir plusieurs conséquences préoccupantes à l'échelle mondiale. Il se manifeste notamment par la fonte des glaces, provoquant une élévation du niveau des océans, qui inondera les zones de très faibles altitudes et modifiera la géographie côtière. Cette élévation perturbe également les écosystèmes polaires, mettant en danger la faune locale et favorisant la disparition de certaines espèces et des déséquilibres écologiques. Elle s'assure aussi de l'amplification des phénomènes d'évaporation et de précipitation en raison de l'augmentation de la température, ce qui accroît la fréquence et l'intensité des sécheresses et des inondations, ce qui sera un effet néfaste pour les végétaux. Enfin, une augmentation des phénomènes météorologiques extrêmes, tels que les tempêtes et les pluies torrentielles, deviennent de plus en plus fréquents et intenses (*Seguin et Soussana, 2008; Faci, 2021*).

3.1.Effets sur les végétaux

Les variations climatiques influencent directement la santé des plantes, leur reproduction et leur résistance aux maladies. Cependant le climat favorable favorise une croissance rapide et vigoureuse, alors que les conditions extrêmes, telles que des sécheresses prolongées ou des températures anormalement basses, nuisent à la survie des plantes (*Muller, 2022*).

L'augmentation du CO₂atmosphérique favorise son assimilation par l'enzyme Rubisco, améliorant ainsi la photosynthèse. À long terme, une forte concentration de CO₂ peut induire un rétrocontrôle négatif, réduisant la production de Rubisco (*Gray et Brady, 2016; Dusenge et al., 2019*). Dans l'autre part on aura l'augmentation de l'activité carboxylase de la Rubisco réduit son rôle dans la photorespiration, un processus limitant la croissance mais essentiel à la tolérance aux

stress et au métabolisme azoté. De plus la concentration élevée en CO₂ influence les voies de signalisation cellulaire en modifiant l'activité des canaux ioniques, réduisant ainsi l'ouverture des stomates et la transpiration (*Bloom et al., 2010; Gray et Brady, 2016; Dusenge et al., 2019; Gross et Harrison, 2019*).

La température constitue un facteur déterminant dans les réactions biochimiques cellulaires et joue un rôle clé dans le développement des plantes. Conjuguée avec la luminosité, le dioxyde de carbone, l'humidité dans l'air, l'eau et les nutriments (*Amrani, 2015*). Elle favorise ces processus jusqu'à un seuil optimal, au-delà duquel toute élévation excessive devient néfaste pour la croissance. Ce phénomène est connu sous le nom de stress thermique (*Muller, 2022*).

Ce stress perturbe également divers processus physiologiques, notamment l'ouverture des anthères, la germination du pollen et la croissance du tube pollinique, tandis qu'à échelle cellulaire altérant leur homéostasie (*Muller, 2022*). Il impacte également le métabolisme en réduisant l'activité des enzymes mitochondrielles et chloroplastiques. L'élévation de la température intensifie l'évapotranspiration, entraînant une diminution du potentiel hydrique de la plante. Par ailleurs, l'agitation thermique accroît la fluidité des membranes, provoquant une désorganisation du cytosquelette et un dérèglement des concentrations et flux ioniques, notamment du calcium (*Wahid et al., 2007*). Enfin, la hausse des températures favorise le stress oxydant, accentuant la production de dérivés réactifs de l'oxygène, des molécules hautement toxiques pour la cellule (*Medina et al., 2021*).

Cependant élévation de la température, souvent accompagnée à des épisodes de sécheresse, réduit l'humidité du sol ainsi abaisse le potentiel hydrique des parties aériennes de la plante, il y a donc une forte perte d'eau par évapotranspiration, compromettant ainsi la croissance, en particulier les parties foliaires, et fragilisant l'intégrité des tissus végétaux (*Gray et Brady, 2016*). De plus peut elle peut gravement affecter la fonction des racines en altérant la perméabilité des cellules hydrauliques, ce qui influence à son tour sur la croissance et l'architecture du système racinaire.

3.1.1.Effet sur le palmier dattier

Depuis plusieurs décennies, les pays au climat aride ou semi aride sont confrontés à une problématique environnementale croissante : le changement climatique. Les palmeraies est parmi les écosystèmes les plus touchés par ce changement. Ces oasis, en particulier dans les régions du

sud, jouent un rôle essentiel dans l'économie et la préservation de la biodiversité (*Ouabouch, 2018; Mokhtar, 2020*). Toutefois, les variations climatiques ont un impact considérable sur la croissance, la reproduction et la productivité du palmier dattier. Parmi les facteurs les plus influents dans les zones arides figurent l'élévation des températures, la sécheresse prolongée et le changement de régimes de précipitations (*Faci, 2021*).

La température joue un rôle fondamental dans les activités biologiques du palmier dattier, son augmentation pourra influer directement sur le cycle phénologique et sur la production du dattier, en quantité et en qualité. Toutefois, une hausse anormale des températures, induite par les changements climatiques, entraîne une sécheresse accrue, constituant ainsi le principal défi pour les phoéniculcuteurs (*Ouabouch, 2018*).

Ce phénomène entraîne à une diminution des précipitations, augmentation de l'évapotraspiration et une détérioration des sols, qui deviennent arides et perdent leur capacité à retenir l'humidité et à soutenir la croissance des plantes. Ce processus accélère la désertification, tandis que ces zones autrefois riches en biodiversité subissent une perte progressive de leur couverture végétale (*Ouabouch, 2018*).

Les nappes phréatiques, essentielles à l'irrigation des palmiers dattiers, s'assèchent rapidement, réduisant les rendements agricoles. De plus l'irrigation en utilisant l'eau salée ralentit la croissance et la productivité du palmier dattier. Toutefois, il convient de noter que la productivité du palmier dattier diminue à mesure que la concentration en sel augmente, selon l'environnement et le type de sol (*Aljuburi et Al-Masry, 2000; Mokhtar, 2020; Alotaibi et al., 2023*).

La pollinisation et la nouaison du palmier dattier, sont fortement influencées par les variations de température. Les basses températures et leurs fluctuations pendant la pollinisation perturbent la germination du pollen, augmentant ainsi le taux de parthénocarpie (*Baba et al., 2022*)

Partie expérimentale

chapitre 3

Materiel et méthodes

1. Matériel

1.1. Stratégie de recherche

Une recherche bibliographique électronique a été réalisée, dans le but de recenser les publications pertinentes pour cette étude. Cette recherche visait à identifier les travaux portant sur l'influence du changement climatique sur le palmier dattier.

Quinze articles sont retenus pour cette analyse synthétique ont été méthodiquement arrangés dans le tableau suivant :

Tableau 1. Les travaux retenus dans la synthèse.

N	Titre	Auteur	Année	Journal
1	Impact des variations climatiques sur les rendements du palmier dattier dans la région d'Adrar.	(Laaboudi et al.)	2011	Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie.
2	Effet de la température sur l'évolution des fruits chez quelques variétés du palmier dattier (<i>Phoenix dactylifera L.</i>)	(Babahani et al.)	2012	Revue algérienne de l'environnement aride.
3	Climate change will lead to larger areas of Spain being conducive to date palm cultivation	(Shabani et al.)	2013	Journal of Food Agriculture and Environment, Helsinki, Finlande.
4	L'oued Righ au défi du changement climatique: quel effet sur les besoins en eau du palmier dattier	(S. Mokhtari et al.)	2015	Revue semestrielle – Algérie.

5	Réseau de veille phénologique et changements climatiques en milieu oasien	(<i>F. Lakhdari et al.</i>)	2016	Journal Algérien des Régions Arides (JARA).
6	Impacts of climate change on irrigation water requirement of date palms under future salinity trend in coastal aquifer of Tunisian oasis	(<i>Z. Haj-Amor et al.</i>)	2020	Agricultural Water Management ,Tunisie
7	Notes de suivi du cycle phénologique du palmier dattier vis-à-vis les nouvelle conditions climatique (cas de la région des zibans)	(<i>M.Faci et al.</i>)	2020	XXXIIIème colloque de l'association internationale climatologie , Algérie.
8	Effect of climatic stress on the severity of date palm fruits pests and diseases	(<i>M. Latifian</i>)	2020	Iranian Journal of Plant , Iran .
9	Effect of climate change on the evolution of phénological stages of date palm (<i>Phoenix dactylifera L.</i>) In ZIBAN oasis .Biskra Algeria	(<i>N.Deghiche-Diab et T. Deghich</i>)	2021	Journal of Basic and Applied Research International, Algeria.
10	Effect of Water Stress at Fruit Maturity Stage on Production and and Skin Separation Phenomenon of Date Palm cv. Medjool	(<i>I. Husameddin et al.</i>)	2021	Hebron University Research Journal-A (Natural Sciences) , Palestine.
11	Contribution to monitoring the influence of air temperature on some phénological stages of the	(<i>M.Faci et S. E.Benziouche</i>)	2021	Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences.

	date palm (cultivar ‘ <i>Deglet Nour</i> ’) in Biskra			
12	Variability of meteorological drought and some consequences on date palm cultivation in Biskra (Algeria)	(<i>M.Faci et al.</i>)	2021	International Journal of Forest, Soil and Erosion , Algeria.
13	Variabilité de la température de l’air à Biskra	(<i>M.Faci et M.Oubadî</i>)	2022	35 ^{ème} colloque annuel de l’association internationale de climatologie –AIC , Algérie.
14	Flowering phénological trends under the effect of climatic parameters of arid Mediterranean region : the model of date palm	(<i>A. Hachef et al.</i>)	2023	Pakistan Journal of Botany.
15	Drought-Tolerance Screening of Date Palm Cultivars under Water Stress Conditions in Arid Regions	(<i>H. A. Dinar et al.</i>)	2023	Agronomy ,Suisse.

1.2. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans notre étude concerne différentes variétés de palmier dattier (*Phoenix dactylifera*), notamment *Takerboucht*, *Tillemsou* (également appelée *El-Hamira*), *Tinnacère*, *Ghars*, *Déglet Nour* et *Déglia Beida*. Ces variétés proviennent de régions diverses, notamment la Tunisie (Tozeur, oasis de Metouia à Gabès), l’Algérie (Sahara algérien, région de Biskra incluant Ain Ben Noui, Ziban, Ouargla, Adrar et Oued Righ), l’Iran, l’Espagne, l’Arabie saoudite et la Palestine (Jéricho), qui sont des zones d’étude. Toutes les régions et les variétés étudiées sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 2. Origines des différentes variétés étudiées.

References	Origine	Région spécifique d'étude	Variétés ou génotype utilisés
1	Algérie	Adrar (INRAA)	<i>Takerboucht, Tillemou (El-Hamira), Tinnacère</i>
2	Algérie	Ouargla	<i>Ghars, Déglet Nour, Dégla Beida</i>
3	Espagne	Non spécifié	<i>Phoenix dactylifera</i>
4	Algérie	Oued Righ	Non spécifié
5	Algérie	Sahara algérien (Ziban, Touat, Gourara, Tassili N'djer et Tidikelt)	Non spécifié
6	Tunisie	Oasis de Metouia (Gabès)	Non spécifié
7	Algérie	Ziban (Ouest de Biskra, Sud-Est de Biskra)	Non spécifié
8	Iran	Abadan	<i>Phoenix dactylifera</i>
9	Algérie	Ziban (Biskra, Ain Ben Noui)	<i>Deglet Nour, Dokkar</i>
10	Palestine	Jericho	<i>Medjool</i>
11	Algérie	Ziban (Zaouiet Ben Ouaar, Mangae Bougtaf)	<i>Deglet Nour</i>
12	Algérie	Biskra	Non spécifié
13	Algérie	Biskra	Non spécifié
14	Tunisie	Tozeur	180 génotypes de palmier dattier mâle
15	Arabie Saoudite	le Palmier Dattier de l'Université King Faisal, Royaume d'Arabie Saoudite	<i>Khalas, Barhee, Hilali, Ashrasee</i>

2.Méthode

2.1. Collecte des Données Climatiques

Pour assurer une couverture exhaustive des informations climatiques, cette étude a intégré diverses sources de données. L'article 1 s'est appuyé sur la banque de données de la station expérimentale et l'Office national de la météorologie (ONM) pour les périodes 1941-1970 et 1971-1979 ; l'article 6 a combiné des observations historiques (1964-2013) avec des projections climatiques futures (2019-2050) issues du modèle HadCM3 ; l'article 7 a obtenu ses données (température, précipitations, humidité de l'air) directement de l'ONM (2017) ; l'article 11 a procédé à des collectes directes sur le terrain de température et d'humidité relative. Les précipitations mensuelles de l'Article 12 de la station météorologique de Biskra (ONM) de 1974 à 2018 ; l'Article 13 a également tiré ses données de la station météorologique de Biskra (ONM, 2019) ; enfin, l'Article 14 a collecté les températures minimales et maximales fournies par la National Aeronautics and Space Administration (NASA).

2.2. Suivi phénologique et données climatiques

Afin d'étudier la phénologie du palmier dattier face aux défis du changement climatique, cette étude repose sur une diversité d'approches méthodologiques. Pour l'article 5, le suivi des stades phénologiques du palmier dattier s'est déroulé de 2012 à 2015 à travers un réseau d'observation couvrant diverses zones agroécologiques du Sahara algérien caractérisées par des températures élevées, notamment (Ziban, Touat, Gourara, Tassili N'djer, Tidikelt). L'étude a ciblé 15 cultivars (*Ghers, Deglet Nour, Mech Degla* à Ziban) ; (*Bamekhlouf, Hmira, Tguezza* à Touat) ; (*Echikh, Takerboucht, Tinasser* à Gourara) ; (*Tinghimene, In Brir, Ouredj* à Tassili N'djer) et (*Ferrana, Ahertane, Tguezza* à Tidikelt) classés respectivement selon la consistance de leurs dattes (molle, demi-molle, sèche), et a porté spécifiquement sur deux stades phénologiques clés : l'émergence des spathes et la maturité.

Pour l'article 7 la méthodologie consiste à suivre le cycle phénologique du palmier dattier (*Phoenix dactylifera L.*) de la variété '*Deglet Nour*' dans la région des Ziban et particulièrement dans les palmeraies de M'lili et Sidi Okba). Les observations ont porté sur l'apparition et l'ouverture des spathes (mâles et femelles), la pollinisation et la maturité des dattes, cette dernière ayant été suivie sur deux années (2016 et 2017).

Pour l'article 9 l'étude a été menée dans une palmeraie de l'ITDAS à Aïn Ben Noui, près de Biskra. Dix palmiers '*Deglet Nour*' et dix '*Dokkars*', âgés de 25 à 30 ans et irrigués avec de l'eau salée (4 g/l) sur des parcelles sablo-limoneuses et salées, ont été sélectionnés. Le suivi a été réalisé tous les dix jours pour noter les stades phénologiques.

Pour l'article 11 l'étude a été menée dans deux palmeraies des Ziban, (M'lili et Sidi Okba) , a utilisé des capteurs RHT100 pour enregistrer la température toutes les heures sur deux ans (2015-2017). Les degrés-jours ont été calculés, avec une température de base de 10°C. Le suivi phénologique hebdomadaire a porté sur trois palmiers '*Deglet Nour*' similaires dans chaque palmeraie, documentant l'apparition et l'ouverture des spathes, dans le but d'évaluer l'influence de la température de l'air sur la croissance des dattes '*Deglet Nour*' dans le contexte du changement climatique.

Pour l'article 14 l'étude s'intéresse à la phénologie florale (émergence et ouverture des spathes) de 180 palmiers mâles à Tozeur, Tunisie, par des observations hebdomadaires sur 3 ans (2014-2016).

2.3.Stress hydrique et besoins en eau

De nombreuses études ont exploré l'influence du stress hydrique sur la progression et la productivité du palmier dattier, en utilisant des approches expérimentales et de modélisation.

Dans la région de l'Oued Righ (Algérie) (Article 4), le logiciel CROPWAT, basé sur la méthode de Penman-Monteith (approuvée par la FAO), a été utilisé pour modéliser les besoins en eau du palmier dattier à partir de données climatiques historiques et de paramètres agronomiques pour prédire l'évapotranspiration de référence (ET₀) et des cultures (ET_c). L'ET_c est ensuite calculé en multipliant l'ET₀ par un coefficient culturel (K_c), qui dépend du type et du stade de croissance de la culture, ainsi que des paramètres climatiques et du sol. L'ET₀ est estimé à partir de données climatiques telles que la température, la vitesse du vent, l'ensoleillement et l'humidité, en utilisant l'équation de Penman-Monteith.

L'étude menée à Jéricho, Palestine (Article 10), a appliqué un plan en blocs randomisés (RCBD) sur des palmiers *Medjool* âgés de six ans, avec six niveaux de stress hydrique variant de 0 % à 50 % (S1: 0 % stress hydrique jusqu'à S6 : 50 % stress hydrique). Le stress a été appliqué pendant trois mois (juillet à septembre), période cruciale de maturation et de séchage des fruits. Les rendements, la qualité des dattes et le pourcentage de fruits de type *Balah* ont été mesurés.

En Arabie Saoudite (Article15),afin d'évaluer la tolérance à la sécheresse de quatre cultivars de palmiers dattiers (*Khalas, Barhee, Hilali et Ashrasee*) ont été soumis à divers niveaux de déficit hydrique mesurés selon l'évapotranspiration (ETc) (40 %, 60 %, 80 %, 100 % ETc) sur des périodes allant jusqu'à 24 mois à l'aide d'un système d'irrigation solaire piloté par IoT. Les paramètres mesurés incluaient : croissance foliaire, photosynthèse, teneur en chlorophylle a et b, biomasse sèche, et teneur en potassium, calcium et proline des feuilles, tiges et racines , afin de déterminer les réponses physiologiques et biochimiques des cultivars au déficit hydrique.

2.4.Effet de la température

L'effet de la température sur le développement et la qualité des dattes a été évalué dans plusieurs contextes :

L'étude des rendements du palmier dattier à Adrar (Article 1) a été menée en utilisant une méthodologie rigoureuse. Les essais expérimentaux ont eu lieu à la station de l'INRAA à Adrar, complétés par des observations dans 22 zones agricoles. Pour comprendre le climat, des données sur 18 ans de la station expérimentale et des informations de l'ONM (Office National de la Météorologie) ont été utilisées. Le matériel végétal incluait la variété *Takerboucht*, étudiée spécifiquement pour la nouaison via une pollinisation contrôlée, ainsi que les variétés *Tillemsou* et *Tinnacère* pour l'étude générale du rendement. Enfin, l'analyse statistique s'est basée sur la régression linéaire multiple pour évaluer l'impact des différents facteurs notamment la température et l'humidité.

L'étude menée à Ouargla, dans le Sud-Est algérien (Article 2), a examiné l'évolution des fruits de trois cultivars de dattes (*Ghars, Deglet Nour, Degla Beida*). La méthodologie a impliqué des prélèvements mensuels sur quatre palmiers de même âge par cultivar, dont la pollinisation avait été synchronisée. Un suivi quotidien des températures a été effectué au cœur de la couronne foliaire des arbres. Les caractéristiques analysées comprenaient le poids moyen des fruits, leur morphométrie (longueur et diamètre), et leur teneur en eau déterminée par séchage à l'étuve afin de comprendre l'impact des conditions environnementales sur les cinq stades de maturation des dattes.(Figure4)

Pour l'article 12 l'étude a analysé la sécheresse dans la région de Biskra, en Algérie, en utilisant les données mensuelles de précipitations de la station météorologique de Biskra pour la période 1974-2018. Pour ce faire, les chercheurs ont employé cinq indices standards adaptés aux

régions arides et semi-arides: l'Indice Pluviométrique (RI) comparant les précipitations annuelles à la moyenne, l'Indice d'Écart Moyen (MDI) identifiant les déficits pluviométriques, la méthode du nombre d'écart types (SDNM) évaluant la sévérité de la sécheresse, l'analyse de fréquence (FA) classant les années par probabilité de non-dépassement des précipitations, et l'indice de précipitation Standardisé (SPI), un outil probabiliste qui quantifie et surveille la sécheresse météorologique sur diverses périodes.

À partir de données thermiques journalières de Biskra (1951-2018) (Article 13) la méthodologie consiste à l'employer le test non paramétrique de Mann-Kendall pour identifier les tendances linéaires et les points de rupture dans ces séries temporelles, en se basant sur la signification statistique de $U(t)$. Simultanément, elle définit les "journées de forte chaleur" et les "vagues de chaleur" via des seuils thermiques spécifiques ($T_{max} + T_{min} \geq 2 * T_{min \text{ moyenne}} + 10^\circ\text{C}$), permettant une caractérisation rigoureuse des extrêmes climatiques.

2.5.Stress climatique et pathologies

L'impact du stress climatique sur les maladies et ravageurs du palmier dattier a été examiné dans une étude de longue durée menée entre 2005 et 2014 à Abadan (Iran) (Article 8). Quatre vergers de palmier dattier, situés dans autant de villages différents, ont été sélectionnés et suivis mensuellement afin d'évaluer les dommages causés par divers agents pathogènes et ravageurs. Parmi les problèmes observés figuraient la chute des fruits, l'acarien rouge (*Oligonychus afrasiaticus McGregor*), la pyrale mineuse (*Batrachedra amydraula Meyrick*), le flétrissement des grappes de dattes et la pourriture de l'inflorescence causée par *Mauginiella scaettae Cavara*. Les données climatiques collectées (température, humidité relative, précipitations et ensoleillement) ont été corrélées à l'intensité des attaques.

2.6.Modélisation de la répartition future

La modélisation climatique prospective a été explorée dans deux études clés, en Espagne et en Tunisie. En Espagne (Article 3), la répartition actuelle et future du palmier dattier a été simulée à l'aide du logiciel CLIMEX. La méthodologie a consisté à ajuster ce modèle avec des données climatiques historiques (1950-2000) incluant des paramètres tels que la température et l'humidité, puis à le valider en le comparant aux distributions connues dans d'autres pays producteurs clés, y compris le Maroc, l'Algérie et l'Égypte. Par la suite, les simulations se sont appuyées sur deux modèles climatiques globaux (CSIRO-Mk3.0 et MIROC-H) selon le scénario d'émission A2 du

GIEC, qui anticipe une croissance démographique continue et un développement économique régionalisé, et les résultats ont été cartographiés via ArcGIS pour en déduire la tendance générale des deux modèles et l'évolution des surfaces cultivables.

En parallèle, en Tunisie, dans la région de Gabès (Article 6), l'étude vise à quantifier l'évolution du besoin net en eau d'irrigation (NIR) dans la période entre 2019 et 2050 en tenant compte des scénarios de changement climatique et de l'évolution de la conductivité électrique de l'eau d'irrigation (ECiw). La méthodologie repose sur des étapes principales :

Projections des changements climatiques, où l'étude a utilisé les projections issues du projet CMIP5 et désagrégées statistiquement à l'échelle locale à l'aide de SDSM, en se basant sur trois scénarios de concentrations représentatives (RCP : RCP8.5, RCP6.0 et RCP4.5). Parmi les 37 modèles climatiques généraux (GCMs) disponibles dans CMIP5, le modèle HadCM3 a été sélectionné comme le plus performant validé sur la période de référence 1964-2013 dans laquelle ces deux test ont été utilisé(Mann-Kendall et la pente de Sen).

Chapitre 04

Résultats et discussion

Chapitre 4 : Résultats et discussion

1. Résultats du suivi phénologique et données climatiques

Les résultats présentés dans l'article 5 (tableau 3), mettent en évidence une variation significative des stades phénologiques du palmier dattier, notamment les stades d'émergence des spathes (ES) et de maturité (M), en fonction des fluctuations de la température moyenne journalière mensuelle (TMJM) dans les différentes zones agroécologiques.

Tableau 3. Résultats de la variation des stades phénologiques et des températures moyennes mensuelles du palmier dattier dans différentes régions d'Algérie.

Région	Résultats
Ziban	Le stade d'émergence des spathes (ES) a varié de 50 à 70 jours et la maturité entre 290 et 335 jours. La température moyenne journalière mensuelle (TMJM) a augmenté de 2,82 °C et de 1,23 °C en novembre (période de maturité), mais a diminué de 0,61 °C en octobre.
Touat	Le stade ES a pris entre 40 et 66,7 jours, et la maturité a duré de 190 à 253 jours. Parallèlement, la TMJM de février a augmenté de 5,54 °C entre 2012 et 2014, et de 1,13 °C et 1,26 °C de mois juillet et août respectivement (période de maturité).
Gourara	Le stade ES a varié de 25 à 70 jours et le stade M de 185 à 300 jours. Tandis que la TMJM a enregistré une forte élévation de 5,71 °C en février, mais une diminution d'environ 6,67 °C de juin à novembre, période de maturité des cultivars <i>Echikh</i> , <i>Takerboucht</i> et <i>Tinasser</i> .
Tassili N'Djer	La durée du stade ES a varié de 20 à 90 jours et celle du stade M de 180 à 290 jours avec une augmentation de la TMJM de 0,82 °C en février, mais aussi à des diminutions de 2,28 °C en juillet et 0,97 °C en août.
Tidiklet	Une fluctuation du stade ES entre 30 et 50 jours, avec une stabilité notable du stade M (variations de 10 à 20 jours par cultivar). La TMJM a connu une augmentation notable de 3,71 °C en février, mais une diminution de 3,16 °C en juillet et 2,32 °C en août. Il est à noter qu'en septembre, mois de maturité du cultivar <i>Ahertane</i> , la TMJM a augmenté de 1,67 °C.

Les données provenant des régions des Zibán, Touat, Gourara, Tassili N’Ajjer et Tidikelt révèlent des différences importantes dans la durée de ces stades : le stade ES varie de 20 à 90 jours selon la région et le cultivar, tandis que la durée nécessaire pour atteindre la maturité complète du fruit demande entre 180 et 335 jours. Ces résultats montrent que la variation des dattes d’émergence des spathes (floraison) et de maturité du palmier dattier est fortement liée aux fluctuations de la température moyenne journalière mensuelle (TMJM), avec une tendance générale à l’augmentation de la température durant ces stades critiques de développement. Cette hausse thermique influence directement le développement phénologique de la plante, notamment en accélérant la floraison et la maturation des fruits.

Selon *Warrington et al.* (1999), dans une étude sur cinq cultivars de pommier, ont montré que des températures élevées précoces favorisent une maturité physiologique plus rapide. La température influence également le taux de croissance et la qualité du fruit (*Adams et al.*, 2001). D’après *Vinson* (1914), les températures maximales et minimales déterminent le taux de maturation des dattes, affectant la division cellulaire, les échanges gazeux, et la composition chimique du fruit (sucres, acides, calibre, qualité nutritionnelle).

En ce qui concerne les articles 7, 9 et 11, un tableau récapitulatif organisé présentant les résultats obtenus sur le cycle phénologique du palmier dattier, avec les dates des stades, exigences thermiques et influences climatiques. Toutes les données sont présentées dans le tableau, mais il y a certaines phases et paramètres qui ne mentionnent pas la température dans l’article 7.

Tableau 4. Comparaison des résultats des articles 7, 9 et 11 sur le cycle phénologique du palmier dattier.

Phase / Paramètre	Article 7	Article 9	Article 11
Apparition des spathes	3 ^e décade de février	Avril-mai (60 jours, 271,95°C cumulés)	Fin février ; T min : 8°C, max : 22°C, moy : 15°C
Ouverture des spathes	4 ^e décade de février	40 jours après apparition (173,7°C cumulés)	9 à 18 jours après apparition
Pollinisation	1 ^{re} décade de mars	Fin avril-début mai (10 jours, 175,1°C cumulés)	—

Nouaison	—	Mi-mai à début juin (30 jours, 102,03°C cumulés)	—
Stades de développement	<i>Loulou</i> → <i>Khalel</i> → <i>Blah</i> → <i>Bser</i> → <i>Tamar</i> (juin à novembre)	Idem – Durées variables selon stade et température	Idem – Développement entre 120 et 210 jours
Début de maturité des fruits	Fin août	Juin- octobre, selon stades	T min > 12°C ; T max > 30°C ; T moy > 21°C
Maturité complète des dattes	Dernière décade de novembre	Vers octobre	Début novembre ; 181 à 256 jours
Conditions thermiques minimales	Apparition des spathes >15°C (moyenne)	Spathes mâles retardés si T < 7°C ; ouverture à 9,2°C	Spathes : min 8°C, max 22°C, moy 15°C
Température maximale enregistrée	—	—	Jusqu'à 50,4°C
Température minimale enregistrée	—	—	Jusqu'à 0°C
Précipitations annuelles	2017 : 42 mm ; 2016 : 156 mm	—	—
Impact des précipitations	Faibles précipitations → fruits secs et pourriture	—	—

L'analyse comparative des articles 7, 9 et 11 souligne l'impact significatif des conditions climatiques, en particulier la température et les précipitations, sur le déroulement du cycle phénologique du palmier dattier. Malgré quelques divergences liées aux localités et aux approches méthodologiques, des constantes significatives se dégagent, révélant une forte dépendance de cette culture aux facteurs climatiques. L'émergence et l'ouverture des spathes (mâles '*Dokkars*' et femelles '*Deglet Nour*') sont étroitement régulées par des seuils thermiques minimaux, se produisant généralement à partir de la fin février ou début mars, lorsque les températures moyennes dépassent 9,2°C (article 9) à 15°C (article 7, 11). Ce processus se déroule sur une période relativement courte (9 à 18 jours entre apparition et ouverture des spathes selon l'article 11). Tandis que la maturation des dattes '*Deglet Nour*' est fortement régulée par la température, nécessitant des conditions chaudes (plus de 21°C en moyenne en juillet-août) et une accumulation spécifique de degrés-jours sur une période de 181 à 256 jours pour atteindre la maturité complète en novembre. Parallèlement, des faibles précipitations, notamment en fin de cycle (septembre-novembre), impactent négativement la qualité, entraînant des dattes plus sèches et une augmentation du

pourrissement, ce qui souligne que la résilience du palmier dattier ne dispense pas d'une gestion hydrique adéquate pour une qualité optimale (*Mazoyer et al.2002*).

Pour l'article 14 la floraison des palmiers mâles montre une variation interannuelle marquée pour l'émergence de la spathe, qui tend à s'avancer de deux semaines et fortement influencée par les conditions climatiques. L'ouverture de la première spathe est plus stable et moins affectée par le climat. Par ailleurs, la durée séparant l'émergence de l'ouverture des spathes a montré une tendance à l'allongement, indiquant que le développement des inflorescences sont influencés par les conditions climatiques. Enfin, la stabilité du cycle floral observée chez plusieurs génotypes souligne la résilience globale du palmier dattier mâle face aux contraintes environnementales des zones arides, renforçant ainsi son rôle central dans les écosystèmes oasiens confrontés au changement climatique.

2.Résultats du stress hydrique et besoin en eau

Le tableau 5 résume les différents résultats relatifs à l'effet du stress hydrique et des besoins en eau chez le palmier dattier rapportés dans les articles 4, 10 et 15.

Tableau 5. Synthèse des résultats relatifs à l'effet du stress hydrique et des besoins en eau chez le palmier dattier.

Catégorie	Paramètre évalué	Résultats principaux
(Article 10)	Rendement fruitier (kg/arbre)	2018 : S1 (témoin), S2, S3 les plus élevés 2019 : S1 et S2 les plus performants
	Poids des fruits (g/fruit)	Aucune différence significative entre tous les traitements durant 2018 et 2019
	% de fruits <i>Balah</i>	2018 : plus faible (meilleur dans les conditions donnée) pour S3, S4, S5, S6 2019 : plus faible pour S2, S3, S4, S5, S6
Déficit hydrique et irrigation	Déficit pluviométrique annuel	2045 mm/an à Touggourt
	Mois les plus déficitaires	Juin (278 mm), Juillet (300 mm), Août (274 mm) Août = mois le plus critique

(Article 4)	Mois les moins déficitaires	Décembre (58,5 mm), 1 ^{re} décade de janvier (17,5 mm)
	Contexte aggravant	Changement climatique, dégradation des sols, surextraction des nappes, salinisation, surpâturage
Évapotranspiration et croissance (Article 15)	Quantité d'eau appliquée (ETc)	De 9,00 L/plante/an (40 % ETc) à 22,51 L/plante/an (100 % ETc)
	Saisonnalité de l'ETc et de l'irrigation	Maximale : été (juin-septembre) Minimale : hiver
	Croissance foliaire	Meilleure croissance pour 'Barhee' (77 cm en 24 mois) et 'Ashrasee' à 100 % Etc Diminuant de manière linéaire pour atteindre son niveau le plus bas (une réduction de 18%) lorsque les plantes étaient soumises à un niveau de 40% de l'ETc.

Pour l'article 4 qui s'intéresse également au déficit hydrique et l'irrigation ; les résultats obtenus montrent que la modélisation Cropwat pour la région de Oued righ (Algérie), révèle un déficit pluviométrique annuel alarmant de 2045 mm pour le palmier dattier, ce qui indique une dépendance majeure à l'irrigation. Les mois d'été sont les plus critiques, avec des besoins hydriques mensuels atteignant 278 mm en juin, 300 mm en juillet et 274 mm en août, ce dernier étant le mois le plus exigeant. En revanche, les besoins sont les plus faibles en décembre (58,5 mm/mois) et début janvier (17,5 mm/décade). Ces résultats montrent que des changements de la demande de l'eau et de leur disponibilité suite au changement climatique affecteront grandement les activités agricoles et la sécurité alimentaire.

Les résultats de l'article 10 qui concentre sur le rendement et qualité des fruits montrent que le rendement fruitier est optimal en absence ou en cas de stress hydrique modéré (S1, S2, S3 qui représente niveaux de déficit hydrique) , cela signifie que c'est dans ces conditions (sans stress ou avec un stress léger) que le palmier dattier produit le plus de fruits , tandis que le poids des fruits reste stable quels que soient les niveaux de stress. La qualité des dattes, mesurée par le pourcentage

de fruits *Balah*, s'améliore sous stress modéré à sévère, ce qui pourrait indiquer une meilleure concentration en matière sèche.

Ces résultats confirment la sensibilité du palmier dattier, aux contraintes hydriques accentuées par le changement climatique. Malgré la résilience intrinsèque aux conditions arides, le stress hydrique entraîne une réduction du rendement fruitier, une observation cohérente avec l'impact global du déficit hydrique sur la productivité agricole. Cependant, le poids des fruits demeure stable, indépendamment du niveau de stress hydrique, ce qui suggère une moindre sensibilité du développement du fruit à ce facteur au stade de maturation. Une conclusion étayée par des recherches antérieures (*Gribaa et al., 2013*) cité par (*Isaid et al., 2021*). La qualité des dattes s'améliore sous un stress hydrique modéré à sévère, se manifestant par une diminution du pourcentage de fruits *Balah* (jaunes) et une potentielle concentration accrue en matière sèche, phénomène attribué à une accélération de la maturation des fruits. Ces résultats soulignent l'importance d'une gestion hydrique et culturale précise pour optimiser le compromis entre rendement et qualité, en favorisant une maturation précoce pour minimiser les défauts post-récolte et maximiser la valeur économique.

Concernant l'article 15 les résultats démontrent que la croissance foliaire chez les dattiers est directement affectée par le niveau de stress hydrique. Une réduction de l'apport en eau par irrigation (notamment à 40% et 60% de l'ETc) entraîne une diminution significative de la croissance des feuilles. Par exemple, après 24 mois, la croissance foliaire maximale était observée chez les cultivars *Barhee* et *Ashrasee* à 100% ETc, atteignant respectivement 71,08 cm et 64,16 cm, tandis que la croissance était nettement moindre à des niveaux d'irrigation plus faibles. La réduction du stress hydrique à 40% ETc provoque une baisse de la croissance foliaire de 18% par rapport à l'irrigation optimale. De plus, la croissance foliaire augmente avec le temps si la disponibilité en eau est suffisante, mais elle est grandement ralentie sous stress hydrique important. Le cultivar *Barhee* montre une meilleure capacité à maintenir la croissance foliaire face à la sécheresse, ce qui indique une certaine tolérance. En résumé, la croissance foliaire diminue avec l'intensité du stress hydrique, et cette baisse dépend aussi du cultivar et de la durée du stress (*Munns, 2002*).

3.Résultats de l'effet de température

L'analyse des données de la région d'Adrar (Article 1) sur dix ans montre que la température n'a pas eu d'effet statistiquement significatif sur le rendement du palmier dattier (ce qui pourrait être dû à la durée limitée de l'étude). Cependant, des températures maximales excessives sont néfaste en provoquant le dessèchement précoce des dattes et en réduisant la qualité. De plus, les fluctuations de température durant les phases clés sont cruciales : des hivers trop doux peuvent désynchroniser la floraison mâle et femelle, entraînant une pollinisation inefficace, tandis que des températures basses après l'ouverture des spathes inhibent la fécondation, réduisant le taux de nouaison et pouvant causer la production de fruits parthénocarpiques ou un avortement des carpelles (*Takerboucht*). Inversement, une pollinisation précoce mais en évitant les périodes les plus froides est essentielle pour optimiser le taux de nouaison. Au-delà de la température et de l'humidité relative, qui n'ont pas d'influence significative sur le rendement, des facteurs tels que le mode de conduite de la phoeniciculture, la dose d'arrosage, la taille du palmier et la variété sont déterminants pour améliorer les rendements. Ces résultats soulignent une complexité dans l'impact climatique sur le rendement du palmier dattier dans laquelle les auteurs soulignent que cette période d'étude est probablement insuffisante pour tirer des conclusions définitives.

L'étude des cultivars '*Deglet Nour*', '*Ghars*' et '*Déglia Beida*' (article 2) révèle une évolution du fruit en quatre phases de poids et trois de dimensions/teneur en eau, toutes corrélées à la température. Une croissance lente initiale (stade *loulou*) est suivie d'une phase rapide (stade *Khalal*, *mi-mai* à fin juillet/août) où le poids et les dimensions atteignent leur maximum sous des températures élevées. La maturation (fin août à fin octobre) est marquée par une perte d'eau et une diminution de poids et taille, concomitante à une baisse des températures, résultant en des teneurs en eau finales faibles. Ces résultats mettent en évidence une corrélation étroite entre le développement morphologique et hydrique des dattes et le régime thermique de la région, confirmant le rôle prépondérant de la température dans la régulation des différentes phases de croissance et de maturation du fruit.

Pour l'article 12 l'étude de la sécheresse météorologique à Biskra, en Algérie, sur la période 1974-2018, met en évidence une légère prépondérance des années sèches par rapport aux années humides. Une séquence de sécheresse notable de cinq ans a été enregistrée de 1981 à 1985, contrastant avec des séquences humides ne dépassant pas trois années consécutives. Les résultats

indiquent que 51,11 % des années étaient des années de sécheresse, dont 31,11 % modérées et 20 % sévères. Bien que l'analyse de fréquence montre une répartition similaire entre années sèches/très sèches et humides/très humides (35,55 % chacune) , l'indice de précipitations standardisé (SPI) indique une majorité d'années proches de la normale (80 %), mais un nombre supérieur d'années modérément ou très sèches (13,32 %) comparé aux années humides (6,67 %). Cette variabilité impacte directement la production de dattes "*Deglet Nour*", exigeant une gestion hydrique et phytosanitaire accrue pour préserver la qualité et les rendements. Ces résultats montrant une prédominance des années sèches et des épisodes de sécheresse prolongée, s'expliquent par les effets du changement climatique, qui intensifie les phénomènes météorologiques extrêmes dans les régions arides et semi-arides.

Concernant les résultats de l'article 13 l'analyse climatique menée à Biskra sur une période de 68 ans (1951–2018) met clairement à révélé une tendance significative au réchauffement. L'application du test statistique de Mann-Kendall a permis d'identifier une rupture importante en 1992, marquant un changement notable dans l'évolution des températures. Avant cette date, la température moyenne annuelle s'élevait à 21,73 °C, contre 22,76 °C après la rupture, soit une augmentation de 1,03 °C. Cette variation est statistiquement significative, la valeur de $U(t)$ atteignant 6,18, bien au-delà du seuil critique de 1,96 (au seuil de 5 %). Par ailleurs, les températures minimales mensuelles ont fluctué entre 4,2 °C (janvier 2000) et 30,5 °C (juillet 2018), tandis que les maximales ont oscillé entre 14,8 °C (janvier 2006) et 43,5 °C (juillet 2018). Ces données témoignent d'une augmentation progressive des températures extrêmes, illustrant l'impact du changement climatique dans la région de Biskra, avec des conséquences notables sur les écosystèmes locaux et les pratiques agricoles.

4.Résultats relatifs au stress climatique et aux pathologies associées

Selon les résultats rapportés dans l'article 8, la variabilité des facteurs climatiques, en particulier la température, l'humidité relative et les précipitations, à un impact significatif sur la sévérité des attaques causées par les agents pathogènes et ravageurs du palmier dattier. Les fluctuations saisonnières de ces paramètres peuvent altérer le cycle de développement de ces nuisibles, entraînant des dommages plus ou moins graves selon les conditions. Chaque organisme nuisible ou maladie présente un pic d'intensité à une période spécifique de l'année, souvent en lien avec les stades phénologiques du fruit. Par exemple, la chute des fruits et la pourriture des

inflorescences (*Khamedje*) surviennent en avril au stade *Hababouk*, la pyrale mineuse en juin au stade *Kimri*, l'acarien rouge en juillet au stade *Khark*, et le flétrissement des grappes en septembre, lors du passage de *Khark* à *Rotab*. Les dommages débutent généralement à des températures comprises entre 21,0 °C et 30,2 °C, et atteignent leur maximum entre 36 °C et 50 °C. L'humidité relative associée aux premiers dégâts varie entre 14,7 % et 27,9 %, avec des pics atteignant parfois 50 %, selon les cas.

Ces résultats rapportés mettent en évidence l'influence prépondérante des facteurs climatiques, notamment la température, l'humidité relative et les précipitations sur l'intensité des attaques phytopathogènes et entomologiques du palmier dattier. Il ressort que chaque pathologie ou organisme nuisible atteint son pic d'intensité à des périodes spécifiques de l'année. Les plages de température relevées dans les résultats entre 21,0 °C et 30,2 °C pour l'apparition des premiers dégâts, et entre 36 °C et 50 °C pour les pics d'agressivité. Ces résultats suggèrent que le réchauffement climatique pourrait augmenter la pression biotique sur le palmier dattier. En parallèle, l'humidité relative joue également un rôle déterminant. Des niveaux faibles (entre 14,7 % et 27,9 %) favorisent l'installation de ravageurs comme l'acarien rouge, particulièrement actif en périodes sèches, tandis que des pics d'humidité (jusqu'à 50 %) peuvent contribuer à la prolifération de champignons pathogènes, selon les cas.

5. Résultat de la modélisation de la répartition future

5.1. Résultats de l'article 3

5.1.1. Tendances générales des modèles

En se basant sur les projections des modèles climatiques les résultats obtenus via le modèle CSIRO-Mk3.0 (CS) prévoit que de vastes zones du sud, de l'ouest et du centre de l'Espagne deviendront propices à la culture du palmier dattier d'ici la fin du siècle (2030-2100). En outre, des régions du nord-est de l'Espagne pourraient également s'adapter à cette culture entre 2050 et 2100. En revanche, les zones du nord et de l'ouest du pays resteraient inadaptées jusqu'en 2100. Quant au modèle MIROC-H (MR), il indique également une opportunité pour la culture du palmier dattier dans certaines zones du nord de l'Espagne d'ici 2100, bien que le nord-ouest reste, comme actuellement, inapproprié.

5.1.2. Évolution des surfaces cultivables

À l'heure actuelle, l'Espagne dispose de 10,2 millions d'hectares climatiquement favorables à la culture du palmier dattier. Les projections des modèles indiquent une augmentation significative de cette surface : le modèle CSIRO-Mk3.0 (CS) prévoit une progression à 11,55 millions d'hectares en 2030, puis à 13,77 millions en 2050, 19,49 millions en 2070, et enfin 28,12 millions d'hectares en 2100. De manière similaire, le modèle MIROC-H (MR) anticipe une expansion encore plus importante, avec 12,2 millions d'hectares en 2030, 15,88 millions d'hectares en 2050, 24,12 millions d'hectares en 2070 et 33,8 millions d'hectares en 2100.

5.2. Résultats de l'article 6

En ce qui concerne l'article 6, le résultat de l'analyse de la tendance climatique passée (1964-2013) et future (2019-2050) dans l'oasis de Metouia en Tunisie menée à l'aide du modèle HadCM3 et des tests de Mann-Kendall et de la pente de Sen montre une augmentation notable des températures annuelles maximales et minimales, de l'humidité relative, de la vitesse du vent et du rayonnement solaire, pour les deux périodes (passée et future). Simultanément, une baisse significative des précipitations annuelles a été observée pour les deux périodes. Ces variations climatiques, notamment l'élévation de la température et la diminution des précipitations, sont susceptibles d'accroître considérablement l'aridité de l'oasis.

L'analyse croisée des articles 3 et 6 met en évidence les profondes transformations que les changements climatiques pourraient induire sur la répartition géographique et la viabilité de la culture du palmier dattier à l'échelle méditerranéenne, notamment en Espagne et en Tunisie.

Les résultats de l'article 3, issus des projections des modèles climatiques CSIRO-Mk3.0 (CS) et MIROC-H (MR), prévoient une extension notable des zones climatiquement favorables à la culture du palmier dattier en Espagne d'ici la fin du siècle. Ce glissement potentiel vers le nord, et notamment vers des régions jusque-là inadaptées comme le nord-est du pays, s'explique essentiellement par l'élévation anticipée des températures moyennes annuelles. La croissance projetée des surfaces cultivables atteignant jusqu'à 33,8 millions d'hectares selon le modèle MIROC-H en 2100 traduit une reconfiguration spatiale majeure de l'aire potentielle de culture.

Parallèlement, les résultats de l'article 6 portant sur l'oasis de Metouia en Tunisie montrent une tendance marquée vers une aridification croissante, à la fois pour la période passée (1964-2013) et les projections futures (2019-2050). L'augmentation simultanée des températures

maximales et minimales, du rayonnement solaire, de la vitesse du vent, ainsi que la diminution significative des précipitations annuelles, pourraient avoir un impact négatif sur la culture du palmier dattier dans son aire traditionnelle. Ces deux cas illustrent une double dynamique préoccupante et paradoxale : d'une part, une expansion géographique potentielle vers des zones actuellement tempérées, et d'autre part, une dégradation climatique dans les zones de culture traditionnelles.

Conclusion

Conclusion

Au cours de cette modeste étude compilant les résultats de 15 recherches publiées, c'est autour l'effet du changement climatique sur le palmier dattier (*Phoenix dactylifera L.*) que s'est concentré l'essentiel du travail. Il est clair que le changement climatique représente, sans équivoque, une menace sérieuse pour l'agriculture mondiale, et la culture du palmier dattier n'y fait pas exception. Emblème des oasis et pilier économique de nombreuses régions arides et semi-arides, la culture du palmier dattier est en première ligne face à ces perturbations environnementales.

L'analyse des résultats phénologiques du palmier dattier en Algérie révèle une dépendance marquée du cycle de développement de l'arbre vis-à-vis des facteurs climatiques, principalement la température. Les variations interannuelles et régionales dans les stades d'émergence des spathes (floraison) et de maturité des fruits sont directement corrélées aux fluctuations de la température moyenne journalière mensuelle (TMJM).

Une hausse thermique accélère généralement la floraison et la maturation. La phase de maturité complète des dattes nécessitent des conditions chaudes prolongées et une accumulation spécifique de degrés-jours. Bien que le palmier dattier démontre une résilience globale face aux contraintes des zones arides, notamment par la stabilité du cycle floral chez les mâles, une gestion adéquate de l'eau reste cruciale, car les faibles précipitations en fin de cycle peuvent impacter négativement la qualité des dattes, entraînant un assèchement ou du pourrissement.

L'étude du stress hydrique et des besoins en eau du palmier dattier révèle une dépendance cruciale à une irrigation adéquate. Bien que le rendement fruitier diminue sous un stress hydrique prononcé, le poids des fruits reste étonnamment stable, suggérant une résilience du développement du fruit; de plus. Cependant, la croissance végétative, notamment foliaire, est fortement impactée par le déficit hydrique, diminuant linéairement avec la réduction de l'apport en eau, bien que certains cultivars comme '*Barhee*' montrent une meilleure tolérance.

Les études à Adrar montrent que, malgré une absence d'effet statistique direct sur le rendement sur courte période, les températures extrêmes sont néfastes, provoquant dessèchement

et mauvaise qualité des dattes. Les fluctuations thermiques désynchronisent la floraison et inhibent la fécondation, affectant la nouaison. Le développement des fruits est étroitement lié au régime thermique, la croissance étant rapide sous chaleur et la maturation (perte d'eau) sous baisse de température.

De plus, les conditions climatiques affectent directement la sévérité des attaques de ravageurs et de maladies, les températures élevées étant propices à leur prolifération. Enfin, les modélisations prévoient des reconfigurations majeures des aires de culture du palmier dattier, avec une expansion potentielle vers de nouvelles régions (comme l'Espagne) et une aridification croissante dans les zones de culture traditionnelles (comme la Tunisie), posant des défis significatifs pour l'avenir de cette culture emblématique.

Dans un but de continuité, élargissons l'étude de l'influence du changement climatique sur l'espèce *Phoenix dactylifera* en approfondissant la compréhension des seuils thermiques et hydriques, l'optimisation des pratiques culturales en fonction du climat local, l'intégration de la modélisation climatique dans la planification agricole. Recherche sur les interactions climat-ravageurs-maladies et valorisation des savoir-faire traditionnels et innovation.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Adams, S. R., Cockshull, K. E., Cave, C. R. J. (2001). Effect of temperature on the growth and development of tomato fruits. *Annals of Botany*, 88(5), 869–877.
- Albakre, A. (1972). *The date palm: A review of its past and present status and its culture, industry and trade*. Alaïnpress.
- Ali, A. A. (2021). *Insectes de la couronne du palmier dattier dans la phoeniciculture traditionnelle et nouvelle à Djibouti*.
- Aljuburi, H. J., Al-Masry, H. H. (2000). Effects of salinity and indole acetic acid on growth and mineral content of date palm seedlings. *Date Palm Journal*, 55(5), 315–323.
- Al-Khayri, J. M., Jain, S. M., Johnson, D. V. (Eds.). (2021). *The Date Palm Genome, Vol. 1: Phylogeny, biodiversity and mapping*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-73746-7>
- Alotaibi, K. D., Alharbi, H. A., Yaish, M. W., Ahmed, I., Alharbi, S. A., Alotaibi, F., Kuzyakov, Y. (2023). Date palm cultivation: A review of soil and environmental conditions and future challenges. *Land Degradation et Development*, 34(9), 2431–2444. <https://doi.org/10.1002/lde.4619>
- Amrani, S. (2015). *Etude intégrée de l'effet de la température sur le fonctionnement du pêcher et sa production*.
- Baba, M., Mzabri, I., Mimouni, J., Berrichi, A. (2022). Effets de changement climatique sur le taux de parthénocarpie du palmier dattier : Cas du cultivar Assiane dans l'oasis de Figuig.
- Babahani, S., Eddoud, A. G. (2012). Effet de la température sur l'évolution des fruits chez quelques variétés du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.). *Algerian Journal of Arid Environment*, 2(1), 36–41.
- Bacelar-Nicolau, P., & Azeiteiro, U. M. (2015). Changes in flora and fauna on terrestrial and aquatic environments as the climate warms.
- Belaroussi, M. E. H. (2019). *Etude de la production du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) variété Deglet Nour: Cas des régions de Oued Mya et Oued Righ* [Thèse de doctorat, Université Kasdi Merbah – Ouargla].
- Belhabib, S. (1995). *Contribution à l'étude de quelques paramètres biologiques (croissance végétative et fructification) chez deux cultivars (Deglet-Nour et Ghars) du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) dans la région de Oued Righ* [Mémoire Ingénieur Agro., Batna].
- Belhorma, H. (2025). *Approche de l'impact et de l'adaptation au changement climatique en milieu urbain: Cas de l'espace urbain d'Oran* [Thèse de doctorat, Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed].

- Bennedjoue, I. (2021). *Contribution de l'Algérie aux efforts mondiaux de lutte contre les changements climatiques*. *Revue* 08(01), 649–668.
- Bloom, A. J., Burger, M., Asensio, J. S. R., Cousins, A. B. (2010). Carbon dioxide enrichment inhibits nitrate assimilation in wheat and *Arabidopsis*. *Science*, 328(5980), 899–903. <https://doi.org/10.1126/science.1186440>
- Deghiche-Diab, N., et Deghiche, T. (2021). Effect of climate change on the evolution of phenological stages of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) in Ziban oasis, Biskra, Algeria. *Journal of Basic and Applied Research International*, Algeria.
- Dinar, H. A., Ahmed, A., Hassan, A. (2023). Drought-tolerance screening of date palm cultivars under water stress conditions in arid regions. *Agronomy*, Switzerland.
- Dron, D., Hirschhorn, C. (2002). *Homme et climat* (p. 88). Institut Montaigne.
- Dusenge, M. E., Duarte, A. G., Way, D. A. (2019). Plant carbon metabolism and climate change: Elevated CO₂ and temperature impacts on photosynthesis, photorespiration and respiration. *New Phytologist*, 221(1), 32–49. <https://doi.org/10.1111/nph.15283>
- El Houmaizi, M. A. (2002). *Modélisation de l'architecture du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) et application à la simulation du bilan radiatif en oasis* [Thèse de doctorat, Université Cadi Ayyad].
- Elhoumaizi, M. A., Saaidi, M., Oihabi, A., Cilas, C. (2002). Phenotypic diversity of date-palm cultivars (*Phoenix dactylifera* L.) from Morocco. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 49(5), 483–490. <https://doi.org/10.1023/A:1020968513494>
- Ezzouaoui, S., Djouzi, D. Y.-E., Slamani, R., Bouamra, L., Ayadi, R. (2024). Morphologie et histologie des cals de trois cultivars de palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) en réponse à deux milieux de culture in vitro.
- Faci, M. (2020). Notes de suivi du cycle phénologique du palmier dattier vis-à-vis des nouvelles conditions climatiques (cas de la région des Ziban). In *XXXIII^e Colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, Algérie.
- Faci, M. (2021). *Impacts du changement climatique sur le cycle phénologique du palmier dattier (Cas de Deglet Nour aux Ziban)* [Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider – Biskra].
- Faci, M., Benziouche, S. E. (2021). Contribution to monitoring the influence of air temperature on some phenological stages of the date palm (cultivar ‘Deglet Nour’) in Biskra. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*.
- Faci, M., Benaissa, A., et Oubadi, M. (2021). Variability of meteorological drought and some consequences on date palm cultivation in Biskra (Algeria). *International Journal of Forest, Soil and Erosion*, Algeria.

- Faci, M., Oubadi, M. (2022). Variabilité de la température de l'air à Biskra. In *35^e Colloque Annuel de l'Association Internationale de Climatologie (AIC)*, Algérie.
- Feldman, M. (1976). Taxonomic classification and names of wild, primitive, cultivated, and modern cultivated wheats. In *Simmonds, N. W. (Ed.), Evolution of Crop Plants* (pp. 120–128). Longman.
- Girard, P. (1962). *Le palmier dattier*. MARA, Direction Départementale de l'Agriculture des Oasis, CFPA, Sidi-Mahdi Touggourt (Oasis). 136 p.
- Gray, S. B., Brady, S. M. (2016). Plant developmental responses to climate change. *Developmental Biology*, 419(1), 64–77. <https://doi.org/10.1016/j.ydbio.2016.07.023>
- Gribaa, A., Dardelle, F., Lehner, A., Rihouey, C., Burel, C., Ferchichi, A., Driouich, A., Mollet, J. (2013). Effect of water deficit on the cell wall of the date palm (*Phoenix dactylifera* 'Deglet Nour', Arecales) fruit during development. *Plant, Cell & Environment*, 36, 1056–1070.
- Gros-Balthazard, M., Newton, C., Ivorra, S., Tengberg, M., Pintaud, J.-C., Terral, J.-F. (2013). Origines et domestication du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.): État de l'art et perspectives d'étude. *Revue d'ethnoécologie*, 4. <https://doi.org/10.4000/ethnoecologie.1524>
- Gross, C. D., Harrison, R. B. (2019). The case for digging deeper: Soil organic carbon storage, dynamics, and controls in our changing world. *Soil Systems*, 3(2), 28. <https://doi.org/10.3390/soilsystems3020028>
- Hachef, A., Hamimed, A., Djebbar, A. (2023). Flowering phenological trends under the effect of climatic parameters of arid Mediterranean region: The model of date palm. *Pakistan Journal of Botany*.
- Haj-Amor, Z., Bouri, S. (2020). Impacts of climate change on irrigation water requirement of date palms under future salinity trend in coastal aquifer of Tunisian oasis. *Agricultural Water Management*.
- Hami Said, A. (2016). *Etude de l'alimentation hydrique du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) dans le contexte pédo climatique de la zone littorale de la république de Djibouti*.
- Husameddin, I., Jaradat, A., Alqadi, A. (2021). Effect of water stress at fruit maturity stage on production and skin separation phenomenon of date palm cv. Medjool. *Hebron University Research Journal-A (Natural Sciences)*, Palestine.
- Hussain, M. I., Farooq, M., Syed, Q. A. (2020). Nutritional and biological characteristics of the date palm fruit (*Phoenix dactylifera* L.) – A review. *Food Bioscience*, 34, 100509. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100509>
- Isaid, H., Bitar, A., Abu-Qaoud, H. (2021). Effect of water stress at fruit maturity stage on production and skin separation phenomenon of date palm cv. Medjool. *Natural Sciences*, 10.

- Khan, M., et Hassan, M. (2016). Prospects of commercial date plum cultivation in the environmental settings of Bangladesh. *Journal of Environmental Science and Natural Resources*, 9(1), 63–66. <https://doi.org/10.3329/jesnr.v9i1.30293>
- Kouamé, Y. M., Soro, G. E., Kouakou, K. E., Kouadio, Z. A., Meledje N'diaye, E. H., Goula Bi Tie, A., Issiaka, S. (2014). Scénarios des changements climatiques pour les précipitations et les températures en Afrique subsaharienne tropicale humide : Cas du bassin versant de Davo, Côte d'Ivoire. *Larhyss Journal*, (18), 197–213.
- Laaboudi, A., Mouhouche, B., Zaki, A., Bouaboub-Mossab, K. (2011). Impact des variations climatiques sur les rendements du palmier dattier dans la région d'Adrar.
- Lakhdari, F., Toumi, S., Khelifa, H. (2016). Réseau de veille phénologique et changements climatiques en milieu oasien. *Journal Algérien des Régions Arides (JARA)*.
- Latifian, M. (2020). Effect of climatic stress on the severity of date palm fruits pests and diseases. *Iranian Journal of Plant Pathology*, Iran.
- Mazoyer, M., Aubineau, A., Bougler, J., Ney, B., Rouger-Estrade, J. (2002). *Larousse agricole: Le monde paysan au XXI^e siècle*. Larousse.
- Medina, E., Kim, S.-H., Yun, M., Choi, W.-G. (2021). Recapitulation of the function and role of ROS generated in response to heat stress in plants. *Plants*, 10(2), 371. <https://doi.org/10.3390/plants10020371>
- Mokhtar, M. A. E. (2020). Rôles des champignons mycorhiziens arbusculaires autochtones et du compost dans l'amélioration de la tolérance du palmier dattier au stress salin. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.32828.26249>
- Mokhtari, S., Helimi, S., Mihoub, A., & Kaothar, L. (2015, novembre 4–5). L'Oued Righ au défi du changement climatique: Quel effet sur les besoins en eau du palmier dattier [Communication présentée au 1er Séminaire International sur les Systèmes de Production en Zones Semi-Arides].
- Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell & Environment*, 25(2), 239–250.
- Munier, P. (1973). *Le palmier-dattier* (Vol. 24). Maisonneuve et Larose.
- Nash, L., Antiqueira, P., Romero, G., De Omena, P., & Kratina, P. (2021). Warming of aquatic ecosystems disrupts aquatic-terrestrial linkages in the tropics (Version 4, p. 124440 bytes). *Dryad*. <https://doi.org/10.5061/DRYAD.SXKSN032T>
- Ouabouch, H. (2018). *L'agriculture oasisenne et les défis des changements climatiques*.
- Ouanes, M. (2020). Effet de changements climatiques sur la qualité des eaux souterraines de la plaine de Fakirina de la wilaya d'Oum El Bouaghi [Thèse de doctorat, Université 8 Mai 1945 Guelma].

- Ozenda, M. (2004). *Végétation du Sahara: Descriptions et explications* (4^e éd.). Paris: Presses Universitaires de France.
- Peyron, J.-L. (2000). Forêts méditerranéennes et changements globaux : Impacts et perspectives. *Forêt Méditerranéenne*, 21(1), 5–10.
- Rekis, A. (2021). Conservation des ressources phytogénétiques en Algérie. Cas des palmiers dattiers cultivés et sub-spontanés (*Phoenix dactylifera L.*) [Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider Biskra].
- Shabani, F., Kumar, L., Esmaeili, A. (2013). Climate change impact on the potential distribution of date palm (*Phoenix dactylifera L.*). *PLoS ONE*, 7(10).
- Seguin, B., Soussana, J.-F. (2008). Émissions de gaz à effet de serre et changement climatique : Causes et conséquences observées pour l'agriculture et l'élevage.
- Sedra, M. H. (2003). *Le palmier dattier: Base de la mise en valeur des oasis au Maroc, techniques phoenicicoles et création d'oasis*. INRA, Rabat.
- Touain, G. (1967). *Le palmier dattier: Culture et production*.
- Vinson, B. H. (1914). *The Date Palm*. U.S. Department of Agriculture, Bulletin No. 271.
- Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M., Foolad, M. (2007). Heat tolerance in plants: An overview. *Environmental and Experimental Botany*, 61(3), 199–223. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.05.011>
- Warrington, I. J., Fulton, T. A., Halligan, E. A., Silva, H. N. (1999). Apple fruit growth and maturity are affected by early season temperatures. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 124(5), 468–477.
- Zenchi, H., Abdoun, F. (2015). Palmier-dattier: Botanique et écologie. *Encyclopédie berbère*, 37, 6067–6076. <https://doi.org/10.4000/encyclopedieberbere.3343>

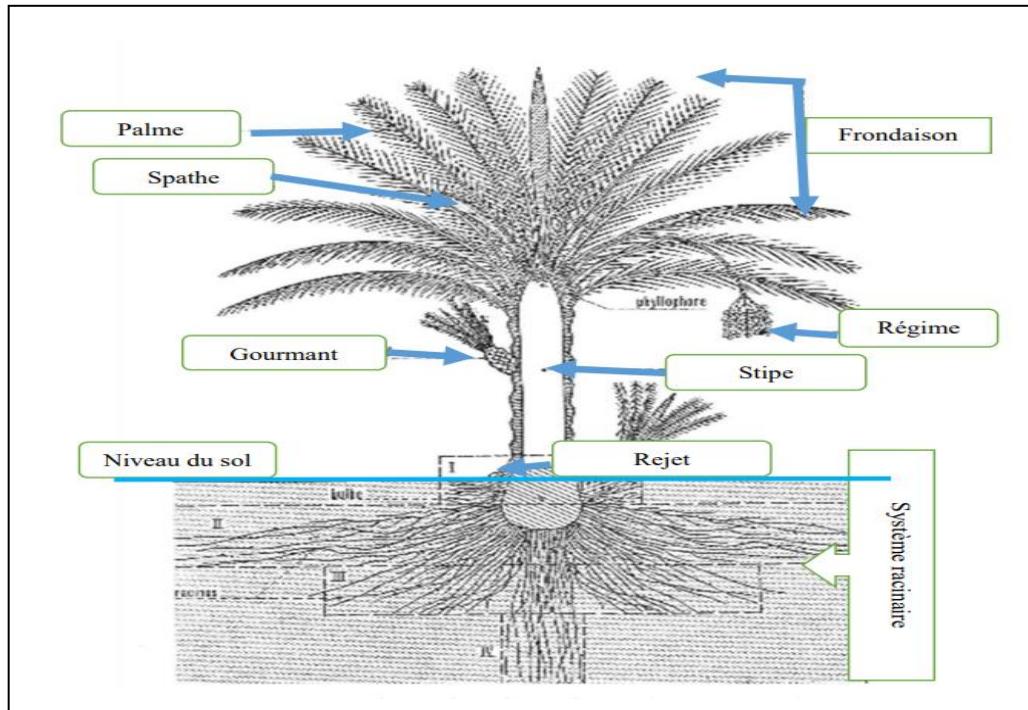
Annex

Annex

Annexe 1

Figure
Schéma
palmier
dattier

1.
du



(Munier, 1973)

Annexe 2

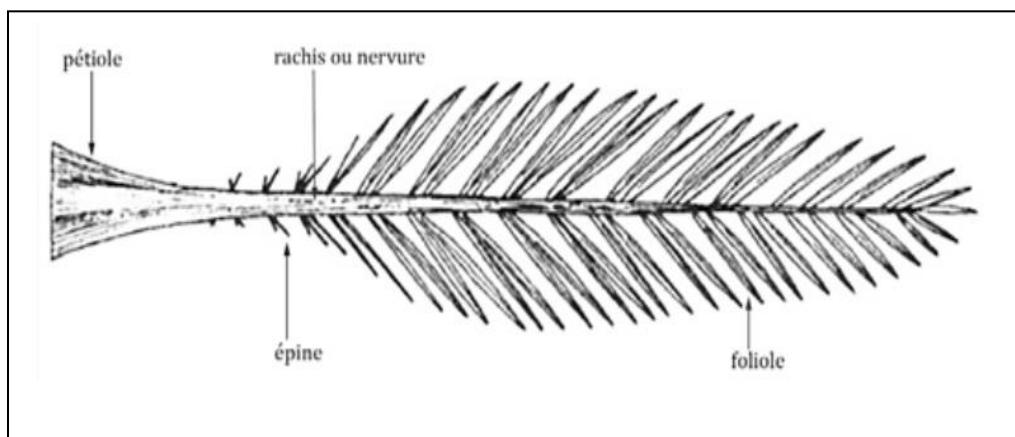


Figure 2. Schéma d'une palme de palmier dattier (*Munier, 1973*)

Annexe 3

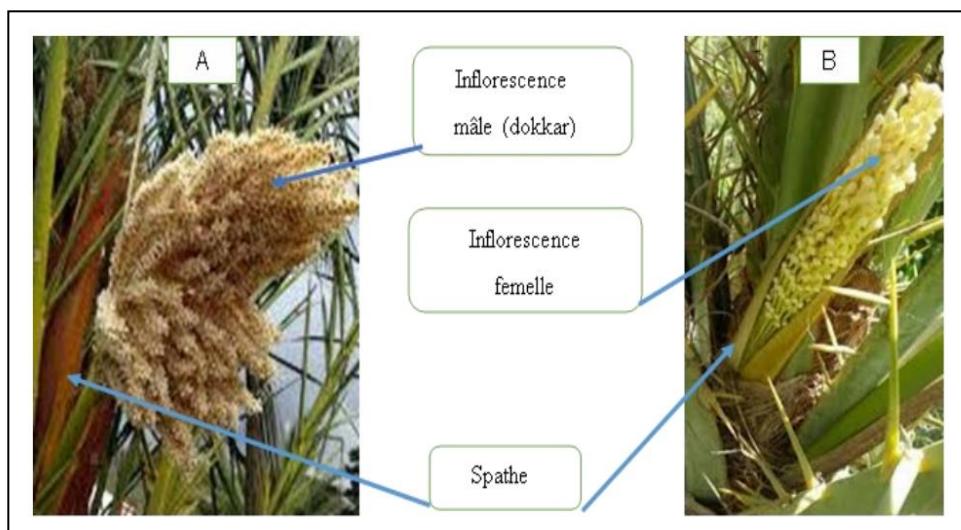


Figure 3. Les inflorescences du dattier : mâle (A) et femelle (B) (Ali, 2021).

Annexe 4

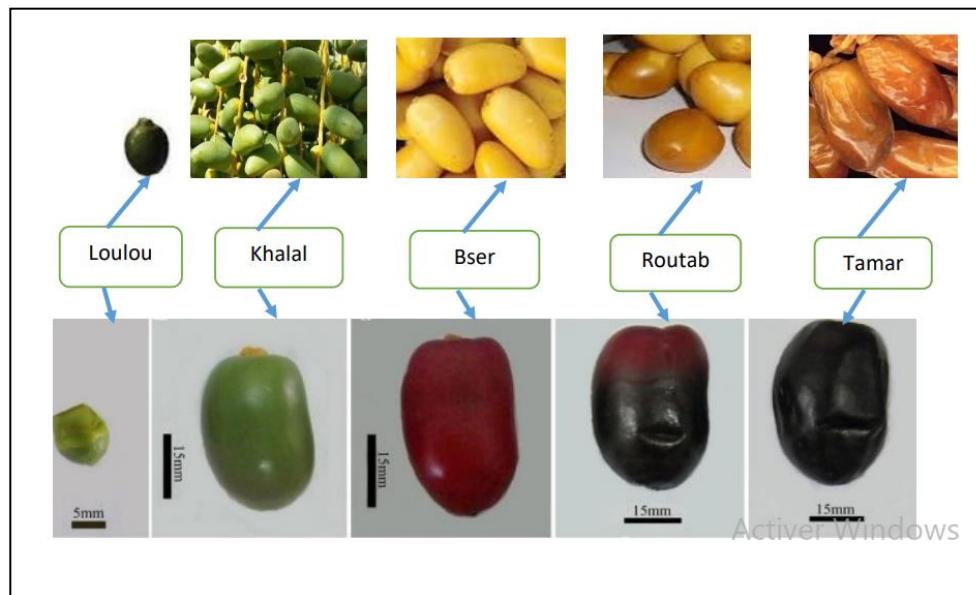


Figure 4. Les cinq étapes de développement de la datte à peau jaune et rouge(Ali, 2021).

Annex 5

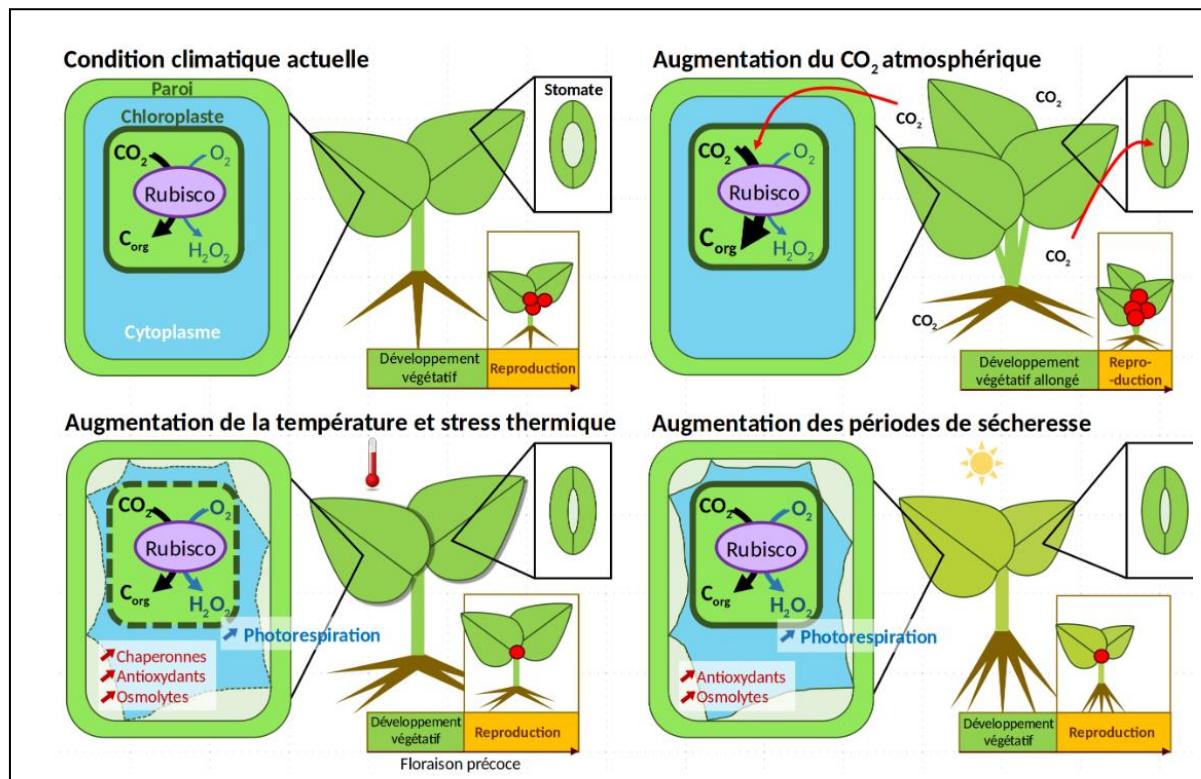


Figure 5. Conséquences morphologique, métabolique et cellulaires de trois facteurs environnementaux affectés par le changement climatique (*Muller, 2022*).

Résumé

Résumé

Les recherches scientifiques récentes soulignent les effets préoccupants du changement climatique sur la culture du palmier dattier (*Phoenix dactylifera L.*) . Dans cette étude, l'objectif principale est d'évaluer les impacts des modifications climatiques sur cette culture. Les données de 15 publications scientifiques pertinentes ont été sélectionnées à partir de bases de données ont été analysées en utilisant des critères spécifiques d'inclusion et d'exclusion. Les résultats obtenus ont démontré que le palmier dattier est fortement affecté par le changement climatique, notamment par les variations de température et la disponibilité en eau. La floraison et la maturation sont avancées sous l'effet du réchauffement, tandis que le stress hydrique impacte surtout la croissance végétative, avec une tolérance variable selon les cultivars. Les températures extrêmes perturbent la nouaison et favorisent les ravageurs. Enfin, les projections prévoient une redistribution des zones de culture, soulignant l'importance d'adapter les pratiques agricoles aux nouvelles conditions climatiques.

Mots clés : Palmier dattier, *Phoenix dactylifera L.* , Variations climatiques , zones arides, température, Précipitation.

Abstract

Recent scientific research highlights the concerning effects of climate change on the date palm (*Phoenix dactylifera L.*) . The main objective of this study is to assess the impacts of climate changes on this crop. Data from 15 relevant scientific publications were selected from reference databases and analyzed using specific inclusion and exclusion criteria. The results obtained demonstrated that Date palm is strongly affected by climate change, particularly by temperature variations and water availability. Flowering and fruit maturation tend to occur earlier due to warming, while water stress mainly impacts vegetative growth, with tolerance varying among cultivars. Extrême températures disruption fruit set and promote pest outbreaks. Finally, projections suggest a redistribution of cultivation areas, highlighting the need to adapt agricultural practices to new climatic conditions.

Keywords: Date palm, *Phoenix dactylifera L.*, Climat variations, Aride zones, Température, Précipitation.

الملخص

تبرز الابحاث العلمية الحديثة الآثار المقلقة للتغير المناخي على زراعة نخيل التمر *Phoenix dactylifera L* الذي يعد من الأنواع الاستراتيجية . تهدف هذه الدراسة إلى تقييم تأثير التغيرات المناخية على هذه الزراعة. تم اختيار بيانات من 15 دراسة علمية ذات صلة من قواعد بيانات معترف بها، وتم تحليلها وفق معايير محددة للإدراج والاستبعاد. أظهرت النتائج أن نخيل التمر يتأثر بشكل كبير بتغيرات درجات الحرارة وتوفير المياه. إذ يؤدي الاحترار المناخي إلى تسريع مراحل الإزهار والنضج، في حين يؤثر الإجهاد المائي بشكل رئيسي على النمو الخضري، مع اختلاف مستويات التحمل بين الأصناف. كما تسبب درجات الحرارة القصوى في اضطراب عقد الثمار وتزيد من انتشار الآفات. وتشير التوقعات المناخية إلى احتمال إعادة توزيع مناطق الزراعة، مما يؤكد ضرورة تكيف الممارسات الزراعية مع الظروف البيئية الجديدة.

الكلمات المفتاحية : نخيل التمر، *Phoenix dactylifera L.*، التغيرات المناخية، المناطق الجافة، درجة الحرارة، الساقطات المطرية.



Déclaration de correction de mémoire de master

2025

Référence du mémoire	N°: / 2025	PV de soutenance N°: / 2025
Nom et prénom(en majuscule) de l'étudiant (e) : BERKI ZOHRAB		لقب و إسم الطالب (e) : درکی زهراء
La mention التفدير	Note(./20) العلامة / 20	عنوان المذكرة L'intitulé de mémoire L'influence du changement climatique sur le palmier dattier (Synthèse des articles scientifiques)

Déclaration et décision de l'enseignant promoteur :	
Déclaration : Je soussigné (e), (grade) à l'université de avoir examiné intégralement ce mémoire après les modifications apportées par l'étudiant.	تصريح: أنا الممضي (ة) أسلفه (الرتبة) بجامعة أصرح بأنني راجعت محتوى هذه المذكرة كلها مراجعة دقيقة و هذا بعد التصحيحات التي أجرأها الطالب بعد المناقشة، و عليه أشهد بـ : * المذكرة تتوافق بشكلها الحالي مع النموذج المعتمد لقسم علوم الطبيعة والحياة. * المذكرة صحيحة وفقاً لكل توصيات لجنة المناقشة * تم تدارك الكثير من الاختلالات المكتشفة بعد المناقشة

Décision : Sur la base du contenu scientifique, de degré de conformité de pourcentage des fautes linguistiques, Je décide que ce mémoire doit être classé sous la catégorie		قرار : اعتماداً على درجة مطابقتها للنموذج، على نسبة الأخطاء اللغوية و على المحتوى العلمي أقرر أن تصنف هذه المذكرة في الدرجة					
acceptable مقبول	ordinaire عادي	bien حسن	très bien جيد جدا	excellent ممتاز	exceptionnel متميز		
E	D	C	B	A	A+		



الأستاذ المشرف

التاريخ

2025/07/14

B : Cette fiche doit être collée d'une façon permanente derrière la page de garde sur les copies de mémoire déposées au niveau de la bibliothèque universitaire