



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département des Sciences Agronomiques

# MÉMOIRE DE MASTER

Science de la Nature et de la Vie  
Sciences Agronomiques  
**Production Végétale**

Réf. : Entrez la référence du document

---

Présenté et soutenu par :  
**Melle DEHAMNIA Meriem**

Le : jeudi 22 juin 2023

## **Modélisation des rendements phœnicicoles par les réseaux de neurones artificiels.**

---

### **Jury :**

<b>Mme</b>	<b>BEDJAOUI Hanane.</b>	MCA	Université de Biskra	Président
<b>Mr</b>	<b>MESSAK Mohamed Ridha</b>	MAA	Université de Biskra	Promoteur
<b>Mr</b>	<b>LAIADI Ziane</b>	Pr	Université de Biskra	Examineur
<b>Mr</b>	<b>BELOUZ Khaled</b>	MRA	INRAA de Biskra	Co-promoteur

# Remerciement

*Louange à Mon dieu, le tout puissant, qu'il ma offert la force et la patience à fin de réaliser ce travail.*

*Je voudrais remercier tous les agriculteurs qui ont été compréhensifs et nous ont donné les informations nécessaires pour remplir l'enquête.*

*Je remercie Mr MESSAK Mohamed Rhida Maître Assistant au département des sciences Agronomique de l'université de Mohamed Khider – Biskra et Mr BELOUZ Khaled Maître de Recherche A. au INRAA-Biskra qui m'ont accordés de diriger ce travail, merci pour votre présence et votre disponibilité permanente, pour vos conseils et votre patience, ayant permis la réalisation du présent travail malgré les difficultés qui nous avons rencontrées. J'ai l'honneur de vous exprimer mes sincères reconnaissances et mes respectueuses gratitudees.*

*Je remercie les membres de jury d'avoir accepté d'examiner notre travail.*

*Je remercie Dr CHAIB Warda Chercheuse au niveau de CRSTRA Biskra, pour nous aider.*

*Je remercie aussi tous les cadres et les ouvriers de CRSTRA surtout Dr BEN SALAH Mohamed Kamel et Dr MHANNI Mokhtar et Dr BERREDJOUH Djamel.*

*Je remercie Mr BEN MEDJEDDEL Samir Ingénieur en Agronomie et un responsable de la CAAP FOUGHALA.*

*Je remercie Mr ROUINA Abdellatif Président de l'association des producteurs des dattes bio.*

*Un grand merci à tous les enseignants du département des sciences Agronomique de l'université de Mohamed Khider–Biskra.*

*Enfin, je remercie tous ceux qui ont contribués de loin ou de près à la réalisation de ce mémoire.*

DEHAMNIA MERIEM



# *Dédicace*

*Je dédie ce travail*

*À mes Très chers parents, pour tout leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mon chemin.*

*À mon frère Abderrezak et ma sœur Zineb*

*À toute la famille « DEHAMNIA » et « ZEBIDI »*

*À mes amies Samira, Zouina, Fadila, Youssra et Rayane.*

*À mes collègues de promo PV Samia, Loudjaine, Asma, Selma, Wafa,*

*Habiba, Manel et Chahra.*

*À tous mes collègues qui m'ont aidé Soumia, Loubna, Hanaa, Amira,*

*Rahim, Baha, Rami et Issam.*

*À toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la*

*réalisation de ce travail.*

*DEHAMNIA MERIEM*



## Liste des Figures

N°	Titres	Pages
<b>Figure 1</b>	Morphologie du dattier (Munier, 1973), cité par (Tahri, 2018)	7
<b>Figure 2</b>	Les quatre types de racines (Rekis, 2021).	8
<b>Figure 3</b>	Inflorescence mâle et femelle (Rekis, 2021).	9
<b>Figure 4</b>	Photo d'une inflorescence femelle (Originale, 2023).	10
<b>Figure 5</b>	Photo d'une inflorescence male (Originale, 2023).	10
<b>Figure 6</b>	Situation de la zone d'étude (Bencheikh et <i>al.</i> , 2017).	22
<b>Figure 7</b>	Démarche méthodologique de l'enquête par questionnaire.	25
<b>Figure 8</b>	Neurone biologique	30
<b>Figure 9</b>	modèle neuronal.	31
<b>Figure 10</b>	Mise en correspondance neurone biologique / neurone artificiel.	32
<b>Figure 11</b>	Neurone formel.	33
<b>Figure 12</b>	différents types de fonctions de transfert.	34
<b>Figure 13</b>	Réseau de neurones artificiels.	35
<b>Figure 14</b>	Réseau bouclé.	36
<b>Figure 15</b>	Réseaux à une seule couche.	37
<b>Figure 16</b>	Réseaux "FeedForward" multicouches.	38
<b>Figure 17</b>	Rétro- propagation des gradients	40
<b>Figure 18</b>	Structure du modèle de RNA utilisé pour la prédiction des rendements phœnicicoles.	47
<b>Figure 19</b>	Diagrammes de dispersion entre les rendements observés et ceux estimés par le modèle de RNA pour l'ensemble de données.	49
<b>Figure 20</b>	Diagrammes de dispersion entre les rendements observés et ceux estimés par le modèle de RNA durant la période de calage (entraînement).	50
<b>Figure 21</b>	Diagrammes de dispersion entre les rendements observés et ceux estimés par le modèle de RNA durant la période de validation.	51
<b>Figure 22</b>	Diagrammes de dispersion entre les rendements observés et ceux estimés par le modèle de RLM pour l'ensemble de données.	51
<b>Figure 23</b>	Diagrammes de dispersion entre les rendements observés et ceux estimés par le modèle de RLM durant la période de calage (entraînement).	52
<b>Figure 24</b>	Diagrammes de dispersion entre les rendements observés et ceux estimés par le modèle de RNA durant la période de validation.	52

### Liste de tableaux

<b>N°</b>	<b>Titres</b>	<b>Pages</b>
<b>Tableau 1</b>	Stades d'évolution de la datte	11
<b>Tableau 2</b>	Cycle végétatif du palmier dattier	12
<b>Tableau 3</b>	Conduite culturale du palmier dattier : opérations et périodes de réalisation	19
<b>Tableau 4</b>	Équivalents énergétiques des intrants (inputs) et de l'extrait énergétique (output) pour la production de datte.	27
<b>Tableau 5</b>	Analogie entre les neurones biologiques et artificiels	32
<b>Tableau 6</b>	Critère de Performance du modèle de RNA et celui de RLM	48
<b>Tableau 7</b>	Résultats de l'analyse de sensibilité	54

## Liste des abréviations

<b>MJ</b>	Mégajoule
<b>ha</b>	Hectare
<b>RNAs</b>	réseaux de neurones artificiels
<b>ANFIS</b>	système d'inférence neuro-flou adaptatif
<b>IA</b>	d'intelligence artificielle
<b>MLP</b>	perceptron multicouche
<b>RBF</b>	fonction de base radiale
<b>PNDA</b>	Plan National de Développement Agricole
<b>hr</b>	heure
<b>Kg</b>	kilogramme
<b>APFA</b>	Accès à la propriété foncière agricole
<b>kWh</b>	kilowattheure
<b>L</b>	Litre
<b>RLM</b>	régression linéaire multiple
<b>BP</b>	Backpropagation (rétro-propagation)
<b>RMSE</b>	Root Mean Square Erreur (erreur quadratique moyenne)
<b>CC</b>	Coefficient de corrélation

## Sommaire

Remerciement

Dédicace

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste d'abréviation

Introduction .....	1
Chapitre 1 : Généralité sur le palmier dattier .....	5
1 Historique .....	5
2 Taxonomie .....	5
3 Biologie.....	6
4 Morphologie.....	6
4.1 Les racines .....	7
4.2 Le tronc.....	8
4.3 La partie aérienne ou la couronne .....	9
4.3.1 Les palmes (feuilles) .....	9
4.3.2 Les inflorescences .....	9
4.3.3 Le fruit .....	10
5 Classification des dattes .....	11
6 Cycle de développement .....	12
6.1 Phase jeune .....	12
6.2 Phase juvénile .....	12
6.3 Phase adulte .....	12
6.4 Phase de sénescence.....	12
7 Cycle végétatif .....	12
8 Exigences écologiques.....	13
8.1 La température.....	13
8.2 La lumière.....	13
8.3 L'humidité de l'air.....	13
8.4 Les Vents.....	14
8.5 Le sol.....	14
8.6 L'eau .....	14
8.7 Le drainage .....	15
9 Opérations culturales appliquées au palmier dattier .....	15
9.1 Pollinisation .....	15
9.2 Limitation – Ciselage.....	15
9.2.1 Ciselage (appellation à Biskra : Tejmâme et Tegbabe).....	16
9.2.2 Limitation (appellation locale : TENGHÂSSE).....	16
9.3 Fixation des régimes (appellation locale : Teâdaâl) .....	16
9.4 Ensachage des régimes .....	16
9.5 Toilette du palmier dattier et nettoyage de la palmeraie .....	17

9.5.1 Taille des palmes sèches .....	17
9.5.2 Taille de kornafs .....	17
9.5.3 Nettoyage du lif.....	18
9.5.4 Ramassage des dattes tombées .....	18
9.5.5 Nettoyage de la palmeraie .....	19
Chapitre 2 : Matériel et Méthodes .....	22
1 Zone d'étude .....	22
2 Préparation de l'enquête .....	22
3 Organisation du questionnaire .....	23
4 Collecte de donnée .....	23
5 Analyse énergétique pour la production agricole.....	26
6 Modélisation et analyse de sensibilité .....	27
6.1 Définition d'un Modèle.....	27
6.1.1 Modélisation mathématique.....	28
6.1.2 Modélisation basée sur l'intelligence artificielle.....	28
6.1.2.1 Les réseaux de neurones artificiels (RNA) .....	28
6.1.2.2 Domaines d'application des réseaux de neurones artificiels .....	29
6.1.3 Réseau de neurones: fondement biologique .....	29
6.1.3.1 Le neurone .....	29
6.1.3.2 Le corps cellulaire .....	30
6.1.3.3 Les dendrites .....	30
6.1.3.4 L'axone .....	30
6.1.4 Réseaux de neurones artificiels .....	31
6.1.4.1 Principe général .....	31
6.1.4.2 Structure d'un neurone artificiel (formel) .....	32
6.1.4.2.1 Fonctionnement mathématique du neurone artificiel .....	33
6.1.4.2.2 Fonction de base (fonction discriminant).....	33
6.1.4.2.3 Fonction dynamique .....	34
6.2 Classification des réseaux de neurones artificiels .....	34
6.2.1 Architecture générale des réseaux de neurones .....	34
6.2.2 Réseaux de neurones dynamiques.....	35
6.2.3 Réseaux de neurones non bouclés ou en couches (Perceptron) .....	36
6.2.3.1 Le Perceptron monocouche .....	36
6.2.3.2 Le Perceptron multicouches .....	37
6.3 Apprentissage des réseaux de neurones .....	38
6.4 Apprentissage supervisé des réseaux de neurones artificiels .....	38
6.5 Algorithmes d'apprentissage supervisé .....	39
6.6 La Backpropagation (rétro-propagation) .....	39
7 Choix de paramètres du modèle neuronal .....	40
7.1 Choix d'un réseau de neurones .....	40
7.2 Choix de nombre de couches cachées .....	40
7.3 Choix de nombre de neurones par couche cachée.....	41
8 Analyse de sensibilité .....	41
Chapitre 3: Résultats et discussion .....	44



---

<b>1</b>	<b>Modélisation des rendements phœnicicoles par les réseaux de neurones artificiels (RNA) et la régression linéaire multiple (RLM).....</b>	<b>44</b>
1.1	Implémentation des modèles RNA et celui de RLM .....	44
1.2	Evaluation de performance des modèles .....	44
1.2.1	Critère graphique .....	44
1.2.2	Critères statistiques .....	45
1.2.2.1	Coefficient de corrélation (CC).....	45
1.2.2.2	Erreur quadratique moyenne (RMSE).....	45
<b>2</b>	<b>Résultats de la modélisation par les RNA et la RLM .....</b>	<b>46</b>
2.1	Les variables d'entrée .....	46
2.2	La variable de sorties .....	46
<b>3</b>	<b>Résultats de l'analyse de sensibilité.....</b>	<b>53</b>
	Conclusion.....	59
	Références bibliographique .....	62

# **Introduction**

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) est une espèce Saharienne par excellence. Il constitue l'élément fondamental de l'écosystème oasien et représente la culture principale des régions arides tout en formant un pilier solide de l'économie régionale. Il occupe une superficie 1301979 hectares avec un nombre total de palmier estimé à plus de 18,6 millions et une production mondiale de la datté s'est élevée en 2021 à 9,65 millions de tonnes. Répartie sur 1, 23 millions ha avec un rendement de 7,7 t/ha (FAO., 2023).

Biskra est une Wilaya leader dans la production de dattes, car elle occupe la première place au niveau national avec une qualité de produit incontestable, et une superficie de 44051ha avec un nombre total de palmiers existants plus de 4.4 millions et une production de 4785000 Qx en 2021(DSA., 2023).

L'agriculture est étroitement liée à l'énergie puisque l'agriculture est à la fois un consommateur et un producteur d'énergie (Ozkan et al., 2004a; Alam et al., 2005). Plusieurs auteurs ont révélé qu'il existe une corrélation positive entre l'énergie consommée et la productivité (Hatirli et al., 2006; Karkacier et al., 2006; Baruah et Bora, 2008).

Les énergies consommées sont appelées *intrants énergétiques* (ou intrants agricole) tandis que l'énergie produite est appelée *extrant énergétique* (output energy ou rendement). Les intrants énergétiques englobent différentes formes, notamment la main d'œuvre, la machinerie, les pesticides, les engrais, le fumier, le carburant, l'électricité et l'eau d'irrigation. La production d'énergie (extrant énergétique) est le rendement des cultures (fruits, légumes, grains et biomasse).

Dans le secteur agricole, le mode d'utilisation de l'énergie, la contribution de chaque intrant énergétique à l'énergie de sortie (rendement) et la quantité des intrants énergétiques totaux varient en fonction des systèmes agricoles, de la saison de croissance et des pratiques culturales (Hatirli et al., 2006) et les conditions pédoclimatiques. Pour ces raisons, la connaissance de la relation entre les intrants énergétiques et la production d'énergie (rendement) est très importante car elle peut aider à atteindre la durabilité dans les systèmes agricoles (Naderloo et al., 2012), améliorer l'efficacité énergétique, réduire les impacts environnementaux et améliorer la compétitivité de l'agriculture. Cette relation est complexe car elle est régie par plusieurs facteurs physico-chimiques, biologiques et humains. Le recours à la *modélisation* est donc primordial car les modèles en tant qu'outils permettent de comprendre les systèmes agricoles, de simuler et de prévoir leur comportement concernant la

consommation et la production d'énergie. Les modèles sont également utilisés pour soutenir la prise de décision des agriculteurs, des décideurs et des industries agroalimentaires.

La modélisation est une représentation simplifiée, relativement abstraite, d'un processus, ou d'un système, en vue de le décrire, de l'expliquer ou de prévoir son comportement. La modélisation des rendements phœnicicoles est donc une représentation, partielle ou totale, des flux d'énergies au sein des fermes phœnicicoles, afin de prédire les rendements phœnicicoles en utilisant les intrants agricoles comme inputs du modèle que l'on veut créer.

Plusieurs techniques de modélisation ont été appliquées pour modéliser les flux d'énergies au sein des exploitations agricole.

La régression linéaire multiple est l'une des modèles mathématiques pour la modélisation énergétique des systèmes de production agricole.

Les réseaux de neurones artificiels (RNAs) sont des systèmes d'intelligence artificielle (IA) couramment utilisés dans la modélisation des flux énergétique au sein de l'exploitation agricole. Jusqu'à présent, le perceptron multicouche (MLP) et la fonction de base radiale (RBF) ont été appliqués pour développer des (RNAs) pour modéliser les flux d'énergie lors de la production agricole. Le (MLP) est le type le plus courant de réseaux de neurones à réaction directe (feed for ward).

Récemment, plusieurs auteurs ont utilisé avec succès les réseaux de neurones artificiels (RNAs) pour prédire le rendement de la culture du raisin ([Khoshroo et al., 2016](#)), basilic ([Pahlavan et al., 2012](#)), du blé ([Khoshnevisan et al., 2013](#)), de kiwis ([Nabavi-Pelesaraei et al., 2016](#)) et du riz ([Taheri-Rad et al., 2017](#)), mais il n'y a aucune études sur la culture de palmier dattier dans la littérature scientifique portant sur la modélisation des rendements phœnicicoles à l'échelle mondiale. Donc ce travail constitue une étude originale portant sur la modélisant des rendements en utilisant les intrants agricoles comme inputs.

Ce Travail vise à **(1) prédire** les rendements de dattes à l'aide de modèles de réseaux de neurones artificiels (RNAs) et ceux de la régression linéaire multiple (RLM) dans la Wilaya de Biskra en utilisant les intrants énergétiques et non énergétiques comme inputs **(2) Comparer** les modèles développés et choisir le plus performant **(3) déterminer** les facteurs les plus influençant sur la productivité de la culture de palmier dattier au moyen d'une analyse de sensibilité.

Nous avons structuré ce travail en trois chapitres :

1<sup>ère</sup> chapitre : Généralité sur le palmier dattier, ayant pour objectif de faire un aperçu sur le palmier-dattier.

2<sup>ème</sup> chapitre : Matériels et méthodes, permettant de présenter, la méthodologie de travail, la théorie des réseaux de neurones artificiels, la région d'étude ainsi que les outils utilisés.

3<sup>ème</sup> chapitre : Résultats et discussions, comportant les discussions concernant les différents aspects analysés.

Nous terminons ce mémoire par une conclusion générale dans lequel nous présentons les principaux résultats du travail, ainsi que les perspectives de recherche à développer.

**Chapitre 1 :**  
**Généralité sur le palmier**  
**dattier**

## Chapitre 1 : Généralité sur le palmier dattier

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) est l'une des plus anciennes cultures fruitières cultivées dans les régions arides de l'Arabie Péninsule, Afrique du Nord et Moyen-Orient. Les dattes sont une source alimentaire majeure et source de revenus pour les populations locales au Moyen-Orient et en Afrique du Nord, et jouent un rôle important dans l'économie, la société et l'environnement dans ces régions. En plus de servir directement de source de nourriture, les dattes sont emballées et transformées dans un nombre de façons, et d'autres parties de l'arbre sont utilisées à diverses fins (Chao, & Krueger, 2007).

Le palmier dattier est un diploïde, vivace, dioïque, et plante monocotylédone adaptée aux milieux arides. Il possède des caractéristiques biologiques et développementales uniques qui nécessitent des techniques spéciales de propagation, de culture et de gestion. Des milliers de cultivars et de sélections de palmiers dattiers existent dans différents pays producteurs de dattes. Différents systèmes de marqueurs génétiques ont été utilisés pour étudier les relations génétiques entre cultivars de palmier dattier. (Chao, & Krueger, 2007). Le long cycle de vie, la longue période de juvénilité et le dioécisme des palmiers dattiers (les plants sont soit mâles, soit femelles.) rendent la reproduction difficile.

### 1 Historique

Selon l'ITDAS (2009), le palmier dattier, dont la présence est attestée en Algérie dès le Néolithique, par les peintures rupestres représentant des palmiers en production au Tassili n'Ajjer, et qui est le résultat de la sélection de l'espèce sauvage qui vivait là spontanément (comme d'autres *Phoenix* ouest africain : palmier des Canaries, du Cap-Vert, etc.). La sélection prudente et aléatoire par l'homme, au cours des millénaires passés, a permis d'isoler plusieurs milliers de variétés adaptées aux différents sols, aux différentes températures ou humidités. Dans le même sillage, Ouennoughi M., rapporte qu'en Algérie, dans l'oued Djerat, sa culture est attestée par des peintures rupestres de la période caballine, soit 3200 avant J.C.

### 2 Taxonomie

D'après (Rekis, 2021), Le palmier dattier est dénommé *Phoenix dactylifera* L. par Linné en 1753 et appartient à la famille des palmacées. Cette espèce végétale est un monocotylédone, arborescente et diploïde ( $2n=36$  chromosomes). Les palmiers forment aujourd'hui une famille unique (*Arécacées* (anciennement *palmacées*)) qui regroupe pas moins de 2800 espèces réparties en 226 genres. Le genre *Phoenix* est classé dans l'ordre des

principes à cause de leur port majestueux et de leur épaisse couronne de feuilles. Son nom de genre dérive de *Phoenix* = (phénicien) en relation avec le fait présumé que c'était les phéniciens qui auraient diffusé cette plante. Son nom d'espèce est composé *dactyles* = dattes (des grecs *dactylos* = doigt) et *fero* = porté, soit porteur de dattes.

La place du palmier dattier dans le règne végétal sa position systématique actuelle, basée sur les données de l'International Code of Botanical Nomenclature est la suivante :

- Embranchement : Angiospermes
- Classe : Monocotylédones
- Ordre : Palmales
- Famille : Arécacées (anciennement palmacées)
- Sous famille : Coryphoidées
- Tribu : Phoenicées
- Genre : Phoenix
- Espèce : *Phoenix dactylifera* L.

### 3 Biologie

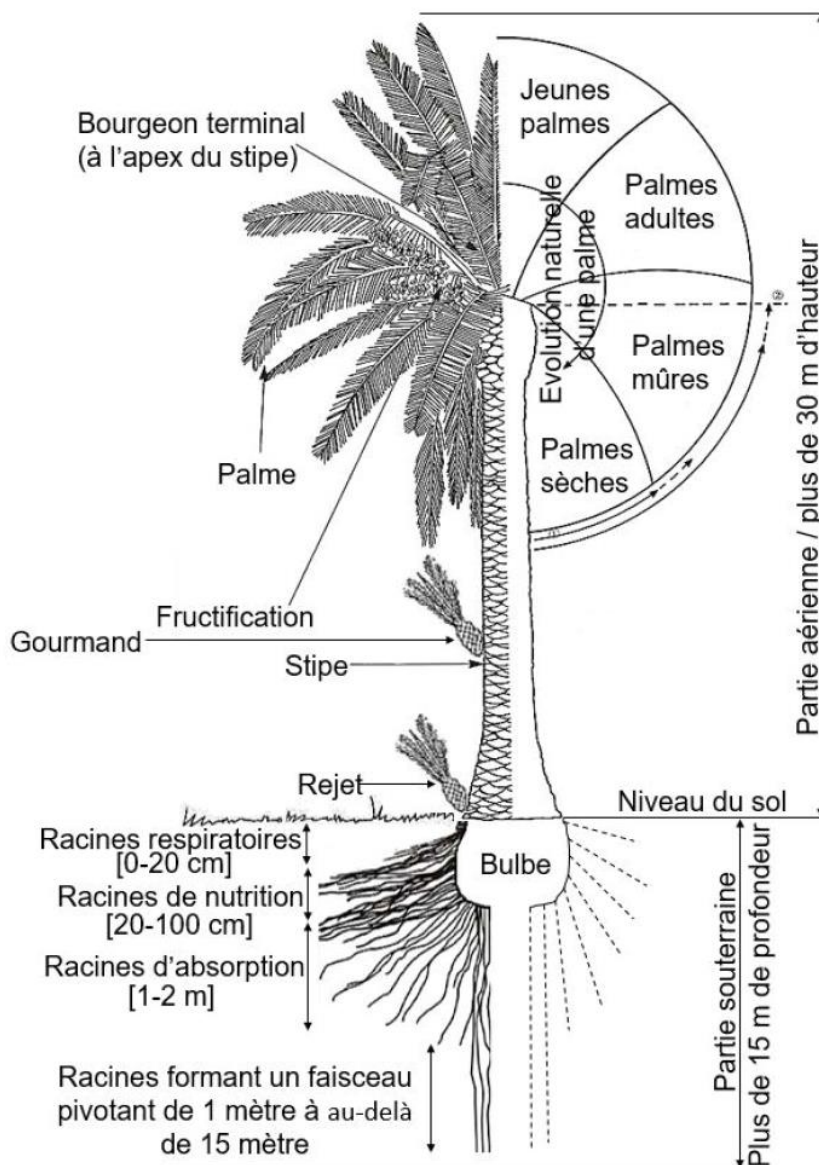
Le palmier dattier est une espèce pérenne à très longue durée de vie (de l'ordre de 100 ans) dont la phase juvénile est d'environ 8 ans.

De point de vue cytologique, tous les Phoenix ont 36 chromosomes somatiques et peuvent s'hybrider entre eux. Donc le dattier, *Phoenix dactylifera*, est un métis non fixé, à grande hétérozygotie, d'où nécessité des a propagation asexuée par rejet (djebbars), pour être certain des qualités culturelles et fruitières du futur palmier (Allam, 2008).

### 4 Morphologie

Le palmier dattier est constitué de trois parties essentielles qui sont: les racines, les stipes et la partie aérienne ou la couronne. (Figure 01) (Allam, 2008).





**Figure 1:** Morphologie du dattier (Munier, 1973), cité par (Tahri, 2018)

#### 4.1 Les Racines

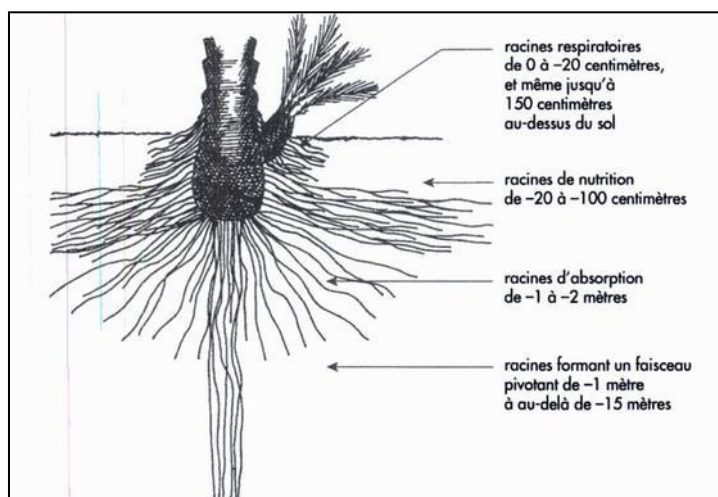
Les racines doivent puiser dans le sol, l'eau et les aliments, mais elles doivent également respirer et forment un faisceau à la base de la tige (Allam, 2008).

Le système racinaire, chez le palmier dattier, est de type fasciculé. Les racines ne possèdent pas de poils absorbants, l'absorption se fait par la surface des petites ramifications qui se trouvent souvent sur les extrémités des nouvelles racines (Babahani, 2011).

Selon (Rekis, 2021), Le système racinaire du palmier dattier à une profondeur de 8 à 10 m (Figure 2), il peut s'étendre latéralement plus de 7m du type fasciculé.

Subdivisent le système racinaire en quatre types en fonction des zones de profondeur dans le sol (Figure 2) :

- Les racines respiratoires : 0 à 20 cm.
- Les racines de nutrition : 20 à 100cm.
- Les racines d'absorption : 100 à 200 cm.
- Les racines d'absorption de profondeur : plus de 200cm.



**Figure 2** : Les quatre types de racines (Rekis, 2021).

## 4.2 Tronc

La tige ou tronc du palmier dattier a un port élancé, non ramifié appelé stipe. Ce stipe qui a une épaisseur sensiblement la même partout, porte une couronne de feuilles au sommet; à sa base il a la faculté d'émettre des drageons. Il est généralement marqué par des cicatrices sous formes d'anneaux et qui sont laissées par la base de feuilles tombées, (Figure 1) (Allam, 2008).

La tige ou tronc du palmier dattier a un port élancé, non ramifié appelé stipe. Ce stipe est simple, cylindrique de couleur brune et lignifié. La hauteur et la vitesse de croissance varient selon les cultivars, l'âge et le poids des rejets dont ils sont issus lors de la plantation. Le tronc est revêtu par les bases des palmes (cornaf) qui sont-elles-mêmes imbriquées dans des fibrilles appelées fibrillum est constitué par des excroissances de la base des palmes qui entourent complètement le tronc. Le développement du stipe est assuré par un méristème terminal ou phyllophore dont l'activité végétative est indéfinie durant toute la vie de la plante. La longueur du stipe peut atteindre 20m de haut, ne s'accroît pas en épaisseur, il garde durant toute son existence le même diamètre (Rekis, 2021).

### 4.3 Partie aérienne ou la couronne

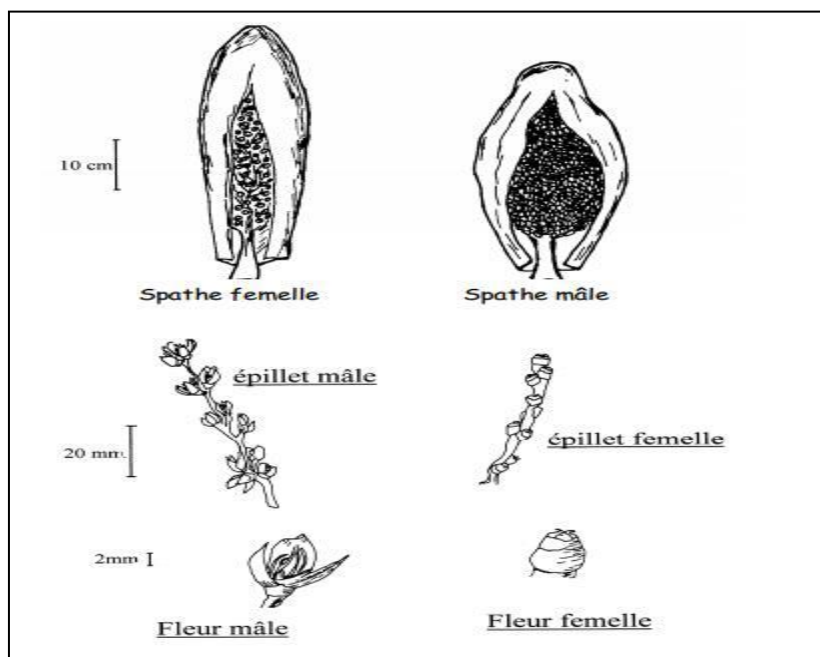
Elle se trouve au niveau du phyllophore, elle est formée de palmes disposées en hélice et sont données par le bourgeon terminal, en moyenne 10 à 20 palmes par an. Elles restent en activité durant une période de 4 à 7 ans (Allam, 2008).

#### 4.3.1 Les palmes (feuilles)

Les feuilles du palmier dattier ont une forme et une structure très caractéristiques. Elles sont divisées en lanières pétiolées et en gainantes. A l'aisselle de chaque palme se trouve des bourgeons axillaires qui donneront naissance aux inflorescences du dattier (Allam, 2008).

#### 4.3.2 Les inflorescences

L'inflorescence de cette plante dioïque (Figure 3) (Allam, 2008). Les sexes étant séparés, il existe donc des pieds mâles (Figure 4) donnant du pollen et des pieds femelles (Figure 4) produisant des fruits qui sont les dattes (Rekis, 2021).



**Figure 3** : Inflorescence mâle et femelle (Rekis, 2021).



**Figure 4:** Photo d'une inflorescence femelle (Originale, 2023).



**Figure 5 :** Photo d'une inflorescence male (Originale, 2023).

### 4.3.3 Fruit

Le fruit est le résultat de la fécondation de la fleur femelle par la fleur mâle. Il est caractérisé par sa couleur, ses dimensions, sa longueur, son diamètre et son poids.

Selon [Krid \(2018\)](#), Les stades d'évolution et les appellations utilisées en Afrique du Nord et en Irak sont illustrés dans le tableau 1.

**Tableau 1** : Stades d'évolution de la datte

Pays	Stades phénologiques de la datte				
<b>Irak</b>	Hababouk	Kimiri	Khalal	Routab	Tamr
<b>Algérie</b>	Loulou	Khalal	Bser	Martouba	Tamr
<b>Libye</b>	-	Gamag	Bser	Routab	Tamr
<b>Mauritanie</b>	Zeï	Tefejena	Engueï	Blah	Tamr

❖ **Hababouk**: il commence juste après la fécondation et dure environ cinq semaines. A ce stade le fruit est entièrement recouvert par le périanthe et se caractérise par une croissance lente (Krid, 2018).

❖ **Kimiri**: il se caractérise par la couleur verte et un grossissement rapide du fruit ainsi qu'une augmentation des concentrations en tanins et en amidon et une légère augmentation des sucres totaux et de la matière sèche. Ce stade dure neuf à quatorze semaines (Krid, 2018).

❖ **Khalal**: ce stade dure trois à cinq semaines. La couleur du fruit passe du vert au jaune clair, puis vire au jaune, rose ou rouge selon les variétés. Cette phase est marquée par une augmentation rapide de la teneur en sucres totaux, de l'acidité active ; par contre la teneur en eau diminue (Krid, 2018).

❖ **Routab**: La couleur jaune ou rouge du stade Khalal passe au foncée ou au noir. Certaines variétés deviennent verdâtres comme la khadraoui (Irak) et la Bouskri (Maroc). Ce stade se caractérise par :

- la perte de la turgescence du fruit, suite à la diminution de la teneur en eau ;
- l'insolubilisation des tanins, qui se fixent sous l'épicarpe du fruit ;
- l'augmentation de la teneur des monosaccharides ;

❖ **Tamr**: C'est le stade final de la maturation de la datte. Le fruit perd beaucoup d'eau, ce qui donne un rapport sucre/eau élevé (Krid, 2018).

## 5 Classification des dattes

D'après Ouamane, (2019), la consistance de la datte est variable .selon cette caractéristique, les dattes sont réparties en trois catégories :

- ❖ Dattes molles : Ahmar (Mauritanie), Kashram et Miskani (Egypte et Arabie saoudite).
- ❖ Dattes demi- molles : Deglet –Nour (Tunisie, Algérie), Mehjoul (Mauritanie), Sifri et Zahidi (Arabie- Saoudite).
- ❖ Dattes sèches de consistances dure : Degla- beida et Mech-degla (Tunisie, Algérie), Amersi (Mauritanie).

## 6 Cycle de développement

Selon [Djoudi, \(2013\)](#), Le palmier dattier en Algérie comporte généralement quatre phases de développement:

### 6.1 Phase jeune

Depuis la plantation jusqu'aux premières productions. Cette phase dure entre 5 à 7 années, selon le milieu et les soins apportés à la culture.

### 6.2 Phase juvénile

C'est la pleine production. Elle se situe autour de 30 ans d'âge du palmier.

### 6.3 Phase adulte

Autour de 60 ans d'âge, début de décroissance de la production surtout si le palmier est dans des conditions de culture médiocres.

### 6.4 Phase de sénescence

80 ans et plus. Chute de la production.

## 7 Cycle végétatif

Le cycle végétatif annuel du palmier dattier a été mentionné par [Djoudi, \( 2013\)](#), selon le tableau ci-dessous :

**Tableau 2** : Cycle végétatif du palmier dattier

Stade et période	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Apparition des spathes (floraison)	■											
Croissance des spathes		■										
Ouverture des spathes(fécondation)			■	■								
Nouaison					■							
Grossissement des fruits						■	■					
Prématuration (Bser)								■				
Maturation (Tmar)									■			
Récolte										■	■	
Repos végétatif											■	■

## 8 Exigences écologiques

Le palmier dattier exige un milieu particulier pour se développer et surtout pour mûrir ses fruits. Les exigences expliquent la répartition géographique de cette espèce fruitière (Allam, 2008).

### 8.1 Température

Le palmier dattier est très exigeant vis-à-vis de la température en ce qui concerne les effets de celle-ci sur le développement et la maturation des fruits. C'est certainement le manque de chaleur à l'époque de la maturation qui détermine vers le Nord la limite de culture de la plante. Il est cultivé dans les régions arides et semi-arides du globe; ces régions sont caractérisées par des étés chauds et longs, une pluviosité faible ou nulle et un degré hygrométrique faible.

La température de 10 °C est généralement considérée comme le point 0 de végétation. L'intensité maximale de végétation est atteinte à 32 °C ; elle se stabilise ensuite pour décroître vers 38 °C – 40 °C. On calcule ses besoins comme étant la somme des températures moyennes journalières supérieures à 18 °C pendant la période allant de la floraison à la maturation.

Le froid se manifeste aussi, sans commettre de dégâts, sur l'activité végétative, par un retard de la reprise de la végétation; au dessous de 7 °C, sa croissance s'arrête, c'est le repos végétatif. Si la température descend au dessous de 0 °C pendant une certaine durée, elle entraîne le dessèchement partiel ou total des feuilles (Allam, 2008).

### 8.2 Lumière

Le dattier est une espèce héliophile. Il est cultivé dans les régions à forte luminosité. L'action de la lumière favorise la photosynthèse et la maturation des dattes. Il faut éviter les densités trop fortes qui favorisent l'émission des rejets plutôt que la maturation des dattes.

### 8.3 Humidité de l'air

L'humidité de l'air a une influence importante sur le palmier, elle peut jouer sur:

- L'apparition des maladies;
- La qualité des dattes (dattes molles ou sèches, pourriture);
- L'époque de la maturation des dattes (maturation rapide en cas de faible humidité avec des vents chauds et secs) (Allam, 2008).

#### 8.4 Vents

Les vents ont une influence néfaste sur la végétation. Ils provoquent un dessèchement et une évaporation interne, occasionnent des pertes d'eau abondantes, brûlent les feuilles surtout des jeunes palmiers et provoquent des tâches et brûlures sur les jeunes fruits. Enfin dans certaines régions, ils provoquent des accumulations de sables qui envahissent peu à peu les palmeraies. Les vents de printemps, Mars et Juin seront les plus redoutables (Allam, 2008).

#### 8.5 Sol

Le palmier dattier est très accommodant sur la nature du sol, il vit dans les sols les plus variés, depuis des sables presque purs, jusqu'à des sols à fortes teneurs en argile. Mais ce sont les sols perméables qui lui conviennent le mieux et qui produisent les meilleures dattes.

Le dattier est susceptible de vivre dans des terres contenant jusqu'à 3 à 4 % de sel.

Malgré sa forte résistance à la salinité, marquée par une croissance sur des sols contenant 3% de sels solubles, le palmier dattier ne se développe plus à des concentrations d'environ 6% en sels (Allam, 2008).

#### 8.6 Eau

Les palmeraies étant sous la stricte dépendance des ressources hydrauliques locales, le choix du sol est surtout effectué en fonction des possibilités d'utilisation de celles-ci. Les besoins en eau d'irrigation sont estimés à 0,33 l/minute par palmier ou 40 l/minute par hectare soit 21,344 m<sup>3</sup> d'eau par an par hectare de palmiers (écartement 9 m x 9 m).

Le dattier supporte des eaux salées (chargées en NaCl et MgCl<sub>2</sub>), mais il donne des meilleurs résultats économiques lorsqu'il est irrigué avec de l'eau douce. Des études faites par M. ROSEAU à la station d'El-Arfiane, montrent que les palmiers dattiers végètent normalement à des concentrations inférieures à 10 grammes de sels par litre.

A 15 g / l, le palmier commence à dépérir.

A 30 g / l, le dépérissement s'accélère et le palmier finit par mourir.

La tolérance en sel est un caractère variétal. Dans la région d'Oued Righ les variétés Ghars et Degla Beida sont plus tolérantes que la Dglet Nour (Allam, 2008).



## 8.7 Drainage

Les palmeraies irriguées avec des eaux présentant une salinité élevée doivent être nécessairement drainées, afin que l'accumulation du sel dans le sol ne rende celui-ci, à la longue, stérile (Allam, 2008).

## 9 Opérations culturales appliquées au palmier dattier

Comme toute espèce fruitière, le dattier nécessite une prévenance durant son cycle de vie. Afin de régulariser la production dattière aussi bien en qualité qu'en quantité et pour que le dattier puisse utiliser les éléments nutritifs absorbés dans la formation de ses tissus, l'entretien de ses régimes et pour améliorer sa vigueur, on effectue les opérations culturales suivantes :

### 9.1 Pollinisation

La pollinisation du palmier dattier présente des aspects spécifiques. C'est une plante dioïque à régime de reproduction allogame. La pollinisation naturelle est effectuée par le vent et parfois par les insectes quand la proportion des mâles dans une palmeraie est très importante. Avec la diminution considérable de l'effectif des palmiers mâles, cette pollinisation devient insuffisante d'où la nécessité d'une pollinisation artificielle. La pollinisation artificielle peut être réalisée selon une méthode traditionnelle ou de manière mécanique. La période de pollinisation chez les palmiers dattiers dépend de la variété mais ne dépasse pas un mois. La saison de pollinisation dure de 30 à 50 jours, suivant la température journalière moyenne. La plupart des pollinisateurs pollinisent en février et mars ; rarement au mois de mai (Krid, 2018).

### 9.2 Limitation – Ciselage

Ce sont des opérations très importantes, elles consistent en un équilibre entre la production du dattier et sa capacité à produire. L'éclaircissement des épillets a pour objectif d'augmenter le calibre et le poids des dattes, d'améliorer leurs caractéristiques, d'assurer une maturation précoce, de diminuer le poids du régime, de fournir une bonne aération et par conséquent diminuer les taux des infestations fongiques et éviter l'alternance (Krid, 2018).

### **9.2.1 Ciselage (appellation à Biskra : Tejmâme et Tegbabe)**

Cette opération est effectuée seulement pour la variété Deglet Nour. Elle consiste à limiter le nombre de fruits par régime en coupant l'extrémité des pédicelles (réduction du nombre de fruits par épillet) ; soit encore en coupant les pédicelles, situés au cœur du régime (réduction du nombre d'épillet) (Krid, 2018).

### **9.2.2 Limitation (appellation locale : TENGHÂSSE)**

L'opération consiste à couper un nombre des régimes au ras du stipe, à l'aide d'un instrument tranchant, les régimes en trop. Il convient de faire un choix judicieux des régimes à la partie moyenne de la frondaison, car ils sont plus gros, donnent des dattes de meilleure qualité et permet d'éliminer les régimes chétifs ou très tardifs (Krid, 2018).

### **9.3 Fixation des régimes (appellation locale : Teâdaâl)**

Cette opération est effectuée pour éviter d'abimer des fruits et de casser les hampes des régimes provoqués soit par leur poids ou par les vents. Vers la fin juillet, les régimes sont fixés et attachés par une petite corde aux palmes vertes. Les variétés à hampes courtes ne sont pas concernées par cette opération (Krid, 2018).

### **9.4 Ensachage des régimes**

Afin d'éviter les dégâts causés par les pluies d'automne, les attaques d'insectes et des oiseaux, les phéoniculteurs recouvrent leurs régimes par des sacs fabriqués de pennes des palmes, de plastique, de papier Kraft ou de toile de tissu. Les sacs sont attachés aux hampes des régimes, la partie inférieure reste ouverte. Cette protection est essentiellement préventive, elle peut être effectuée au stade Khalal (Krid, 2018).

L'opération se pratique trois à quatre semaines, avant la récolte. Au moment de la récolte, on coupe les hampes au dessus de la partie rattachée. Le régime coupé est propre et la chute des fruits est limitée. Cette opération permet également une économie de main d'œuvre. Rapporte que l'ensachage des régimes est très important dans les régions pluvieuses et que cette pratique diminue également les attaques par le ver de dattes (Krid, 2018).

## 9.5 Toilette du palmier dattier et nettoyage de la palmeraie

Après la récolte et chaque année, il faut nettoyer l'exploitation des résidus culturels tels que les palmes sèches, les hampes des régimes, les Kornafs et d'enlever les lifs ; ainsi que les dattes tombées au sol ou sur le pied. Elles doivent être ramassées et brûlées, afin d'éviter les attaques parasitaires. Les principales opérations effectuées sont : la taille des palmes sèches et des kornafs, l'élimination du lif, le ramassage de dattes tombées ... etc (Krid, 2018).

### 9.5.1 Taille des palmes sèches

Chaque année, le bourgeon terminal émet de nouvelles palmes qui, après plusieurs années d'activité (de 4 à 7), se dessèchent et meurent en restant attachées sur le stipe. Les palmes sèches, et uniquement celles qui sont sèches, doivent être coupées. On élimine, en moyenne de 8 à 12 palmes / an. Il ne faut jamais couper les palmes vertes en activité, sauf si elles sont malades ou endommagées (Krid, 2018).

Cette opération est effectuée chaque année, souvent, après la récolte. Elle consiste à l'élimination des palmes jaunâtres se trouvant dans la partie inférieure de la frondaison (Krid, 2018).

Toutes les palmes ayant une activité photosynthétique doivent être maintenues car le nombre de régimes conservés dépend du nombre de ces palmes. Il existe une corrélation étroite entre le nombre de palmes vertes et le poids de dattes récoltées ou encore le nombre de régimes. Un palmier est donc d'autant plus productif qu'il dispose de plus de palmes (Krid, 2018).

### 9.5.2 Taille de kornafs

Chaque année, des palmes sont émises tandis que d'autres sèchent en restant attachées au stipe. Les palmes totalement sèches doivent être éliminées. Cette opération est effectuée, selon les étapes suivantes (calendrier) :

□ En première année ; les palmes sont sciés juste en dessous de la première épines, au niveau de son étranglement.

□ La deuxième année ; on coupe à la base, dans sa partie large. Cette coupe à la scie doit être propre régulière, afin de former une « marche d'escalier ». L'opération permet aux

ouvriers de grimper facilement le long du stipe, afin de réaliser les opérations de conduite (Krid, 2018).

Krid (2018), mentionnée que Ghaleb (2012), signale qu'il faut couper la palme en diagonale, vers l'extérieur afin que l'eau de pluie ne s'accumule pas dans la cavité formée par le kornaf et cause ainsi sa pourriture.

La coupe du kornaf se fait d'une façon horizontale, parallèlement à la surface de la terre. La taille des kornafs se fait, une année après la taille des palmes (Krid, 2018).

### **9.5.3 Nettoyage du lif**

Certains pheniculteurs se refusent d'éliminer le lif, car ils pensent qu'il protège le stipe du froid. Le lif est un refuge privilégié pour les parasites et un lieu d'accumulation de poussières et de déchets apportés par les vents. Il favorise également l'attaque des termites, qui peuvent, en quelques jours, recouvrir la totalité du stipe sur plusieurs mètres de haut. Il est donc conseillé d'éliminer complètement le lif après avoir coupé les bases pétiolaires. On procède alors ; par arrachage et par découpe, en dégagant le lif entre les kornafs éliminés. Le lif est éliminé surtout, au niveau de la partie inférieure du stipe (Krid, 2018).

### **9.5.4 Ramassage des dattes tombées**

De nombreux travaux ont été réalisés sur les principaux ravageurs des palmiers dattiers, ils ont montré que les restes des récoltes et les débris jouent un grand rôle dans l'hivernation des chenilles ; car ils sont considérés comme un abri contre les intempéries.

La pyrale des dattes passe l'hiver, à l'état larvaire, dans les dattes restées à la base du rachis (Kornafs) ou tombées sur le sol ; après la récolte et même dans des fruits momifiés du grenadier et du figuier.

En Tunisie, les restes de la récolte précédente des dattes et des grenades sont les foyers les plus favorables pour l'hivernation des pyrales, sous forme de larves âgées. Ainsi l'un des facteurs déterminants dans l'infestation des grenades et des dattes est le niveau d'entretien, apporté à la parcelle après la saison de la récolte (Krid, 2018).

### 9.5.5 Nettoyage de la palmeraie

La lutte contre les ravageurs commence par l'application des mesures prophylactiques, dont l'objectif est de minimiser l'inoculum primaire, présent dans les palmeraies ou dans les lieux de stockage, par l'entretien et le désherbage des palmeraies, le nettoyage des stipes des palmiers, l'élimination du reste de la récolte et des dattes tombées au sol, l'ensachage des régimes pour empêcher la ponte des œufs de certaines ravageurs notamment les pyralidés, le tri des dattes véreuses après la récolte et le nettoyage des entrepôts avec un mélange de chaux et d'un insecticide approprié.

Après récolte et chaque année, il faut nettoyer la palmeraie et les palmiers des palmes sèches, des hampes des régimes, des kornafs et du lif. Les dattes tombées sur terre, doivent être ramassées et brûlées, afin d'éviter toute extension parasitaire dans la palmeraie. Les résidus et les déchets des cultures constituent un milieu favorable pour de nombreux insectes, notamment les cochenilles, les pyrales, le charançon rouge du palmier et les araignées (Krid, 2018).

**Tableau 3** : Conduite culturale du palmier dattier : opérations et périodes de réalisation

Opération	Période de réalisation
Irrigation	1 irrigation chaque 7 à 15 jours (saisons)
Fertilisation organique	Décembre- Janv- Février
Fertilisation minirale	Décembre- Janv- Février
Pollinisation	Mars-Avril-Mai
Ciselage	Mars-Avril-Mai
Éclaircissage Ciselage	Mars-Avril-Mai
Éclaircissage Limitation du nombre de régimes	Juillet
Descente des régimes	Juin- Juillet- Aout
Ensachage	Aout-Septembre
Attachement des régimes	Juillet - Aout
Lutte contre Bouffaroua	Juillet-Aout
Lutte contre Myélois	Juillet-Aout
Lutte contre Maladies	En cas de besoin
Désherbage	Décembre-Janvier
Toilette : Arrachage du cornafs et reste des	Décembre- Janv

régimes	
Confection des planches	Décembre- Janv
Récolte de Dattes prémature	Aout-Septembre
Récolte de Régimes	Octobre -Novembre-Décembre
Triage-grappillage	Octobre -Novembre-Décembre
Conditionnement -emballage	Octobre -Novembre-Décembre
Stockage sous froid	Octobre -Novembre-Décembre
Transport au marché	Septembre -Décembre

**Source :** (Messak, 2021)

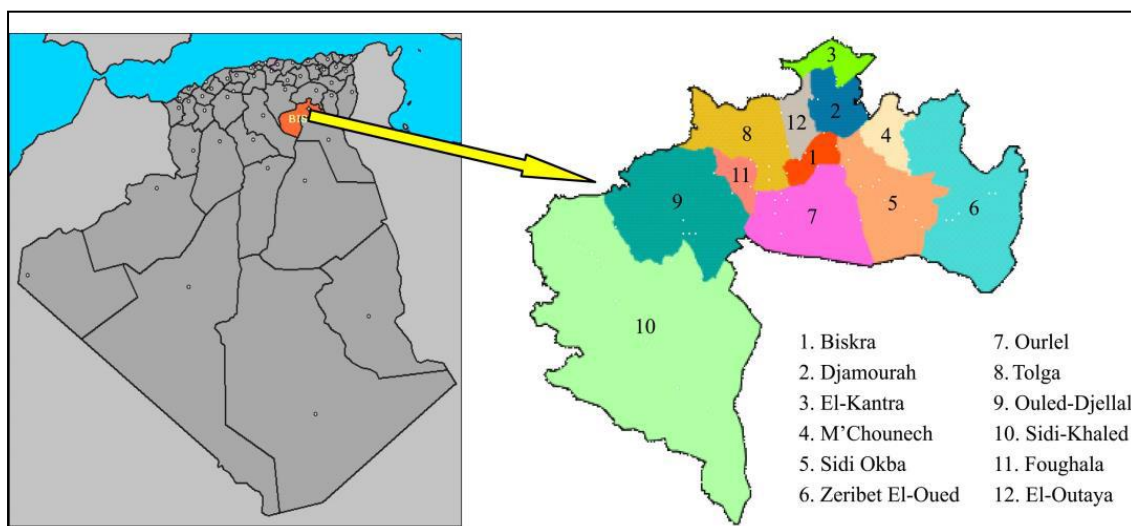
# **Chapitre 02**

## **Matériel et Méthodes**

## Chapitre 2 : Matériel et Méthodes

### 1 Zone d'étude

Biskra est située dans le sud-est de l'Algérie, aux portes du Sahara. L'altitude au-dessus du niveau de la mer est de 112 m. Le chef-lieu de la province est situé à 400 km de la capitale, Alger. Elle a une superficie de 21 671 km<sup>2</sup>, divisée en 12 circonscriptions administratives et 33 communes (**figure 6**). Le climat qui règne dans la région est désertique; sec et doux en hiver avec une température minimale de 4,8 °C au mois de janvier et très chaud et sec en été avec une température maximale pouvant atteindre 50 °C au mois de juillet. La pluviométrie oscille entre 120 et 150 mm par an (Bencheikh *et al.*, 2017). Les principales cultures pratiquées dans la région sont le palmier dattier, les céréales et les cultures maraichères sous serre.



**Figure 6 :** Situation de la zone d'étude (Bencheikh *et al.*, 2017).

### 2 Préparation de l'enquête

Après la recherche bibliographique, qui a été menée au préalable, et la collecte d'informations, nous avons envisagé de mener une enquête qui nous a permis d'approcher les agriculteurs de la région.

Dans une autre partie de notre enquête, nous avons contacté des approbateurs par l'intermédiaire de nos amis, agriculteurs et dirigeants agricoles. Nous avons utilisé un questionnaire composé de questions générales posées de manière simple et compréhensible aux agriculteurs. Le contexte des questions vise à connaître le nombre d'intrants et de produits dans



chaque type et les différents processus que les agriculteurs entreprennent en travaillant. Les agriculteurs interrogés se sentent à l'aise de répondre de manière anonyme aux questions posées.

### **3 Organisation du questionnaire**

Avant d'entamer les enquêtes de terrain, un questionnaire bien détaillé est minutieusement élaboré, il comprend principalement des questions concernant la superficie totale cultivée, le nombre de palmier, la superficie phoenicicole, le nombre de travailleurs permanents, le nombre de travailleurs saisonniers, le nombre d'heures de travail quotidienne, la consommation d'électricité à chaque facture, la consommation électrique totale, les types de carburant utilisés, la consommation totale de carburant, les types d'engrais chimiques utilisés, le poids total d'engrais chimiques de chaque type, les types de pesticides utilisés (insecticides, fongicides et herbicides), le poids total de pesticides de chaque type, le poids du fumier utilisé, le nombre d'heures d'utilisation des machines, les types de machines utilisées, la durée et les fréquences des irrigations, les débits d'eau mobilisés, le rendement obtenu. Ce questionnaire devra également contenir toute information qui semble utile que ce soit sur les pratiques culturales ou sur les aspects socio-économiques des exploitations. Les questions citées auparavant sont structurées en 08 parties, à savoir l'Identification du Phœniciculteur, la deuxième est relative à la palmeraie et son irrigation, la troisième concerne l'Energie de la palmeraie, la quatrième c'est La machinerie dans la palmeraie, le cinquième c'est l'ensachage des régimes le sixième c'est le travail humain dans la palmeraie le septième c'est la fertilisation de la palmeraie et le huitième c'est les pesticides et gestion phytosanitaire de la palmeraie.

Les intrants énergétiques (ou intrants agricoles) qui seront considérés dans cette étude sont ceux qui entrent dans les systèmes de production à la ferme sans compter les opérations post-récolte. L'étude ne considère que l'énergie utilisée dans la production de dattes, sans prendre en compte les sources naturelles d'énergie (rayonnement solaire....etc.).

### **4 Collecte de donnée**

Cette enquête s'est déroulée du Janvier 2023 au Mai 2023, dans la région de Ziban. Les données ont été collectées auprès des agriculteurs à l'aide d'un questionnaire.

En raison du nombre important d'exploitations agricoles et de l'insuffisance des moyens humains et matériels pour couvrir toute la zone cible, l'étude ne concerne qu'un échantillon d'une taille réduite et représentatif de la population. L'échantillon est composé de 80

exploitations, c'est le nombre maximum qu'on a pu collecter sur le terrain. Ce nombre est comparable avec d'autres travaux menés à l'échelle internationale. En effet (Baran et al., 2020) ont utilisé un échantillon composé de 93 fermes d'amandier en Turquie, tandis que (Khoshroo et al., 2018) ont utilisé les données de 41 exploitations produisant le raisin de table en Iran. (Royan et al., 2012) a employé un échantillon de 75 fermes de pêcher pour faire l'analyse énergétique de ce système de production.

À la fin de ce questionnaire et après avoir saisi les résultats de notre questionnaire dans le programme SPSS puis l'EXCEL, pour faciliter le processus d'analyse des informations, et le logiciel MATLAB pour créer les modèles de réseaux de neurones artificiels et de régression linéaire multiple.

**Qui :**  
**Définition de l'unité d'échantillonnage**

**L'unité statistique est du Phœniciculteur, des communes potentielles de la région des Ziban**  
Bordj benazzouz, Tolga, ElGhrous, Lioua, Bouchagroune, Foughala, Mlili ,Lichana, Ourellel, Sidi Okba, Elhaouche, Ain Naga, Zribet El Oued.

**Comment :**  
**Méthode d'échantillonnage**

Constitution de l'échantillon : 80 du Phœniciculteurs.

Choix de la méthode d'échantillonnage : d'une façon aléatoire.

**Mode de recueil de données**

**Entrevue basée sur un questionnaire.**  
**Enquête par contact direct :** Face à face autour – du phœniciculteur sur le site de l'exploitation agricole.  
**Enquête par contact indirect :** Par téléphone pour ceux qui n'ont pas pu se déplacer (son avantage est de gagner du temps)

**Processus de collecte des données**

Tous les individus de l'échantillon sont contactés. Établissement d'un planning d'entretien.

**Structure de questionnaire de l'enquête**

Questionnaire trop long et composé de plus de **200** questions entre fermé et à choix multiple et ouvertes,  
Autours des axes suivants : Les questions citées auparavant sont structurées en 08 parties, à savoir :

1. l'Identification du phœniciculteur,
2. relative à la palmeraie et son irrigation,
3. l'Energie de la palmeraie,
4. La machinerie dans la palmeraie,
5. l'ensachage des régimes
6. le travail humain dans la palmeraie
7. la fertilisation de la palmeraie
8. les pesticides et gestion phytosanitaire de la palmeraie.

**Traitement des données**

L'enquête a permis de construire une base de données par l'SPSS ce qui a permis de cité et classer les variables avant le transférer vers l'Excel pour les calcules et le transformer en Mégajoule par Hectare et la multiplication des résultats par les coefficients après l'utilisation de MATLAB pour la réalisation de modèle.

**Figure 7 :** Démarche méthodologique de l'enquête par questionnaire.

## 5 Analyse énergétique pour la production agricole

L'analyse énergétique constitue la première étape pour étudier la consommation d'énergie des systèmes de production agricole et pour spécifier les mesures qui peuvent être prises pour passer à un système de production plus économe en énergie (Soltanali *et al.*, 2017). En fait, l'efficacité énergétique a un avantage stratégique pour les producteurs et n'est pas seulement une question marginale. Les principaux indices énergétiques qui vont être appliqués durant l'analyse énergétique sont l'efficacité énergétique, l'énergie spécifique, la productivité énergétique et l'énergie nette. Les parts des énergies renouvelables et non renouvelables par rapport à l'énergie totale consommée, ainsi que les taux des énergies directes et indirectes seront également prises en considération. Plusieurs auteurs ont réalisé des analyses énergétiques sur les productions agricoles dans différents pays à travers le monde (Ozkan *et al.*, 2011; Heidari *et Omid*, 2011). Cette démarche a permis de réaliser des analyses énergétiques, économiques et environnementales (Brodt *et al.*, 2013; Pishgar-Komleh *et al.*, 2017).

L'analyse énergétique dans la production végétale est effectuée pour déterminer **où, quand, comment et pourquoi** l'énergie est utilisée. Les informations obtenues seront ensuite utilisées pour améliorer les performances en augmentant le rendement, en diminuant les coûts de production et en réduisant les émissions de gaz à effet de serre (Elsoragaby *et al.*, 2019).

Avant d'entamer l'analyse énergétique, une étape préalable consiste à convertir toutes les variables portant des unités de mesure différentes en variables exprimés en même unité de mesure qui est mégajoule par hectare ( $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) afin de quantifier et de comparer les flux d'énergie impliqués dans le système de production agricole. Cette conversion en équivalents énergétiques permet de mieux comprendre la consommation d'énergie et l'efficacité énergétique du système agricole. Cette conversion facilite à comparer directement la quantité d'énergie entrante (intrants) avec la quantité d'énergie sortie (rendements). Cela permet d'évaluer l'efficacité énergétique globale du système agricole.

Une fois une base de données est obtenue, les données collectées seront transformées en unité d'énergie (MJ). On calcule les équivalences énergétiques selon le **tableau 4**.

**Tableau 4 :** Équivalents énergétiques des intrants (inputs) et de l'extrait énergétique (output) pour la production de datte.

Variables	Unité	Energie équivalent (MJ.Unité <sup>-1</sup> )	References
<b>Inputs:</b>			
Human labour	hr	1.96	(Khoshroo and Izadikhah, 2019)
Machinerie	hr	62.7	(Ozkan et al., 2004a)
Polyethylene (plast)	Kg	9.9	(Medina et al., 2006)
Pesticides:	Kg		
- Insecticides		101.2	(Rafiee et al., 2010)
- Herbicides		85	(Pishgar-Komleh et al., 2012)
Fertilizers:			
-Nitrogen (N)	Kg	66.14	(Mohammadi et al., 2010a)
-Phosphate (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Kg	12.44	(Mohammadi et al., 2010a)
-Potassium (K <sub>2</sub> O)	Kg	11.15	(Mohammadi et al., 2010a)
La chaux (lime)	Kg	1.32	(Baran et al., 2020)
Soufre (sulfur)	Kg	1.1	(Mousavi-Avval et al. 2011)
Fumier	Kg	0.3	(Kizilaslan, 2009)
Diesel fuel	L	56.31	(Contreras et al., 2010)
Essence	L	46.3	(Hosseinzadeh-Bandbafha et al., 2018)
Electricité	kWh	3.6	(Ghorbani et al., 2011)
Eau d'irrigation	m <sup>3</sup>	1.02	(Erdal et al., 2007)
<b>Output:</b>			
Datte	Kg	11.55	(Gebhardt, 2002)

## 6 Modélisation et analyse de sensibilité

### 6.1 Définition d'un Modèle

Un modèle est une représentation simplifiée, relativement abstraite, d'un processus, ou d'un système, en vue de le décrire, de l'expliquer ou de prévoir son comportement. La modélisation des rendements phœnicicoles est donc une représentation, partielle ou totale, des flux d'énergies au sein des fermes phœnicicoles, afin de prédire les rendements phœnicicoles en utilisant les intrants agricoles comme inputs du modèle que l'on veut créer.

Les modèles en tant qu'outils permettent de comprendre les systèmes agricoles, de simuler

et de prévoir leur comportement concernant la consommation et la production d'énergie sous différentes formes. Les modèles sont également utilisés pour soutenir la prise de décision des agriculteurs, des décideurs et des industries agroalimentaires.

### 6.1.1 Modélisation mathématique

La régression linéaire multiple est l'une des techniques mathématiques pour la modélisation énergétique des systèmes de production agricole.

#### Régression linéaire multiple

Soient  $y$  une variable dépendante et  $x_1, x_2, \dots, x_n$  des variables indépendantes, l'équation de régression linéaire multiple est donnée comme suit :

$$y = a + b_1 * x_1 + b_2 * x_2 + \dots + b_i x_i$$

Avec :  $a$  et  $b_i$  sont des constantes.

$y_i$  est l'énergie de sortie (rendement ou extrant énergétique),  $x_i$  sont les intrants consommés dans l'exploitation agricole, et  $b_1, b_2, \dots, b_n$  sont les coefficients de régression,  $a_0$  ; constant et  $e_i$  ; l'erreur.

### 6.1.2 Modélisation basée sur l'intelligence artificielle

Les réseaux de neurones artificiels (RNAs) et le système d'inférence neuro-floue adaptatif (ANFIS) sont les deux systèmes d'intelligence artificielle (IA) couramment utilisés dans la modélisation. Jusqu'à présent, le perceptron multicouche (MLP) et la fonction de base radiale (RBF) ont été appliqués pour développer des RNAs pour modéliser les flux d'énergie pour la production agricole. Le MLP est le type de RNAs le plus couramment utilisé de réseaux de neurones à réaction directe (feedforward).

#### 6.1.2.1 Les réseaux de neurones artificiels (RNA)

Les réseaux de neurones artificiels (RNA) sont des modèles non linéaires, de type « boîte noire », capables de déterminer les relations (que l'on voudrait approcher par le modèle) entre les couples constitués par des variables d'entrée, et une variable de sortie.

Récemment, plusieurs auteurs ont utilisé avec succès les réseaux de neurones artificiels (RNAs) pour prédire le rendement de la culture du basilic (Pahlavan et al., 2012), du blé (Khoshnevisan et al., 2013), de kiwis (Nabavi-Pelesaraei et al., 2016) et du riz (Taheri-Rad et al., 2017). Cependant, il n'existe aucune étude dans la littérature scientifique qui se penche sur l'audit énergétique et la modélisation des rendements de la culture de palmiers dattiers à l'échelle

mondiale. Par conséquent, ce travail se distingue en tant qu'étude originale qui se concentre sur l'analyse énergétique des exploitations produisant des dattes, ainsi que sur la modélisation des rendements en utilisant les intrants agricoles comme données d'entrée.

### 6.1.2.2 Domaines d'application des réseaux de neurones artificiels

Les réseaux de neurones servent aujourd'hui à toutes sortes d'applications dans divers domaines. Par exemple, on a développé un autopilote pour avion, ou encore un système de guidage pour automobile, on a conçu des systèmes de lecture automatique de chèques bancaires et d'adresses postales, on produit des systèmes de traitement du signal pour différentes applications militaires, un système pour la synthèse de la parole, des réseaux sont aussi utilisés pour bâtir des systèmes de vision par ordinateur, pour faire des prévisions sur les marchés monétaires, pour évaluer le risque financier ou en assurance, pour différents processus manufacturiers, pour le diagnostic médical, pour l'exploration pétrolière ou gazière, en robotique, en télécommunication, et j'en passe! Bref, les réseaux de neurones ont aujourd'hui un impact considérable et, il y a fort à parier, que leur importance ira grandissant dans le futur (Parizeau, 2004).

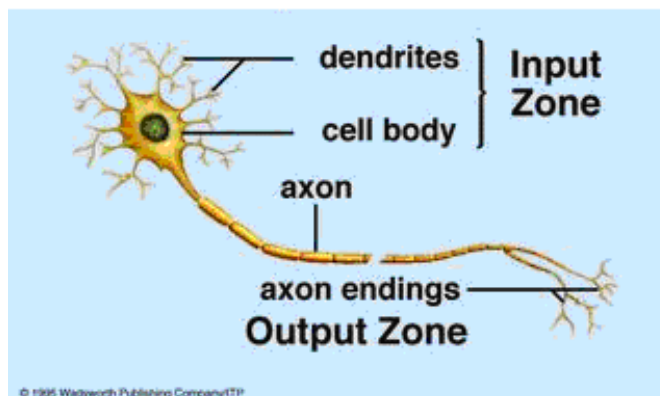
### 6.1.3 Réseau de neurones: fondement biologique

Les modèles neuronaux ont été développés par analogie avec les neurones biologiques, il est donc important de rappeler au préalable son fonctionnement.

#### 6.1.3.1 Le neurone

- Les neurones, qui sont les composants structurels et fonctionnels du système nerveux central, représentent les cellules fondamentales de l'organisme humain. On estime qu'il y a environ cent milliards de neurones dans le corps humain. Bien que ces cellules partagent certaines caractéristiques organisationnelles avec d'autres cellules somatiques, elles sont extrêmement spécialisées en raison de leurs multiples fonctions essentielles à savoir :
    - Recevoir des signaux en provenance de neurones voisins ;
    - Intégrer ces signaux ;
  - Engendrer un flux nerveux ;
  - Conduire le flux nerveux et le transmettre à un autre neurone capable de le recevoir.
- Du point de vue anatomique, le neurone est une cellule composée d'un corps cellulaire et d'un noyau, d'un axone, le corps cellulaire se ramifie pour former les dendrites.

C'est par les dendrites que les informations sont acheminées de l'extérieur vers le soma, qui présente le corps du neurone.



**Figure 8 :** Neurone biologique

### 6.1.3.2 Le corps cellulaire

Il contient le noyau du neurone et effectue les transformations biochimiques nécessaires à la synthèse des enzymes et des autres molécules qui assurent la vie du neurone. Sa forme est pyramidale ou sphérique dans la plupart des cas, elle dépend souvent de sa position dans le cerveau.

### 6.1.3.3 Les dendrites

Chaque neurone possède une « chevelure » de dendrites, celles-ci sont de fines extensions tubulaires, elles se ramifient, ce qui les amènent à former une espèce d'arborescence autour du corps cellulaire, elles sont les récepteurs principaux du neurone pour capter les signaux qui leur parviennent.

### 6.1.3.4 L'axone

L'axone, qui est la fibre nerveuse, sert de moyen de transport pour les signaux émis par le neurone. Il se distingue des dendrites par sa forme et par les propriétés de sa membrane externe. En effet, il est généralement plus long que les dendrites, et se ramifie à l'extrémité, là où il communique avec d'autres neurones, alors que les ramifications des dendrites se produisent plutôt près du corps cellulaire.

Pour former le système nerveux, les neurones sont connectés les uns aux autres suivant des répartitions spatiales complexes, les connexions entre deux neurones se font en des endroits



appelés synapses où ils sont séparés par des espaces synaptiques.

La communication entre les neurones à travers l'espace synaptique se fait par des substances chimiques appelées « neurotransmetteurs ».

#### 6.1.4 Réseaux de neurones artificiels

##### 6.1.4.1 Principe général

Les réseaux de neurones artificiels (RNA) sont des modèles mathématiques non linéaires, de type « boîte noire », capables d'établir des relations entre les données en analysant de manière répétée des exemples. Ces exemples sont constitués de paires de données d'entrée et d'une variable de sortie que l'on souhaite approximer à l'aide du modèle.

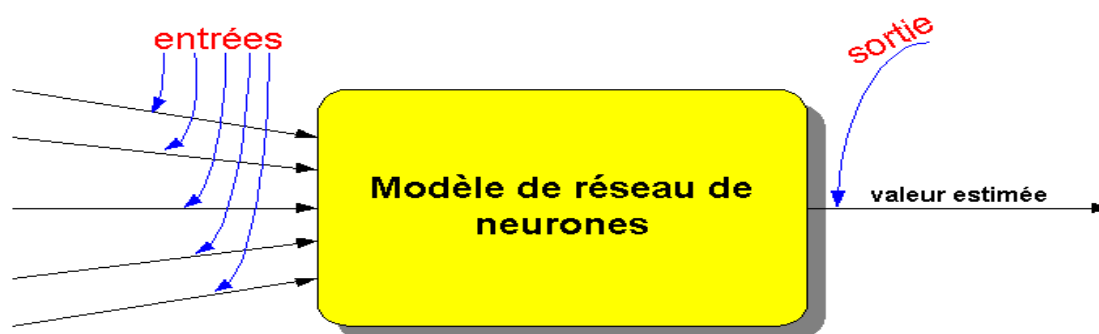


Figure 9 : modèle neuronal.

La modélisation à l'aide de réseaux de neurones artificiels suppose l'adaptation des paramètres du réseau, afin de mettre en évidence les relations qui portent sur les exemples présentés. Les réseaux de neurones artificiels sont constitués d'un ensemble d'éléments de calcul (neurones artificiels), organisés dans une structure spécifique, les paramètres du réseau (les poids) étant représentés par les valeurs associées aux connexions de ces éléments de calcul, un élément de calcul du réseau de neurone artificiel (RNA) comporte plusieurs entrées et une sortie.

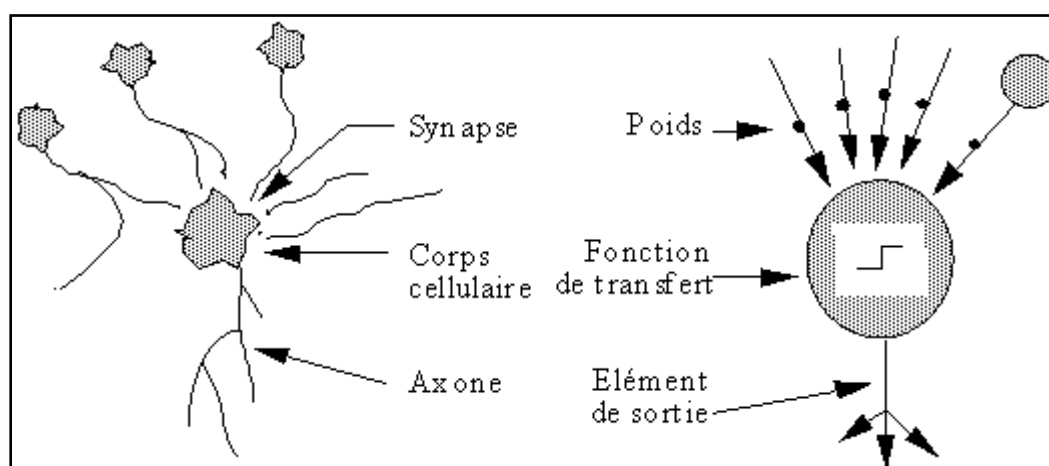
La valeur de sortie est obtenue par l'application d'une relation mathématique (fonction d'activation) sur la somme pondérée d'entrées.

Dans la modélisation à l'aide de réseaux de neurones artificiels, on peut choisir le type de fonctions d'activation, le nombre de neurones et l'arrangement de leurs connexions (à savoir la structure du réseau). Généralement, on utilise des fonctions d'activation de type sigmoïde.

### 6.1.4.2 Structure d'un neurone artificiel (formel)

Un neurone formel, également connu sous le nom de neurone dans le domaine de l'informatique, est une fonction algébrique non linéaire et bornée, dont la valeur est déterminée par des paramètres connus sous le nom de coefficients ou poids. Les variables qui sont fournies en entrée à cette fonction sont généralement appelées "entrées" du neurone, et la valeur produite par la fonction est appelée "sortie". Ainsi, un neurone est essentiellement un opérateur mathématique.

La figure 10 montre la structure d'un neurone artificiel, ce dernier est un processeur élémentaire, il reçoit un nombre de variable d'entrées en provenance de neurones précédents. A chacune de ces entrées est associé un poids  $w$  représentatif de la force de la connexion. Chaque processeur élémentaire est doté d'une sortie unique, qui se ramifie ensuite pour alimenter un nombre variable de neurones avals, à chaque connexion est associée un poids (Heddam, 2006).



**Figure 10 :** Mise en correspondance neurone biologique / neurone artificiel.

Le tableau suivant représente une comparaison entre les deux réseaux de neurones (biologique et artificiel).

**Tableau 5 :** Analogie entre les neurones biologiques et artificiels

Neurone biologique	Neurone artificiel	Représentation symbolique
Soma	Neurone	
Dendrite	Intrant ou entrée ( <i>Input</i> )	$x_i, x$ (intrant net)
Axone	Extrant ou sortie ( <i>Output</i> )	$Y$
Synapse	Poids (weight)	$w_i$

Chaque neurone artificiel reçoit un nombre variable d'entrées ( $x_i$ ) en provenance de neurone amont. A chacune de ces entrées est associé un poids ( $w_i$ ) représentatif de la force de la connexion.

Un poids d'un neurone artificiel représente donc l'efficacité d'une connexion synaptique, un poids négatif vient inhiber une entrée, alors qu'un poids positif vient l'accentuer (Benkaci, 2006)

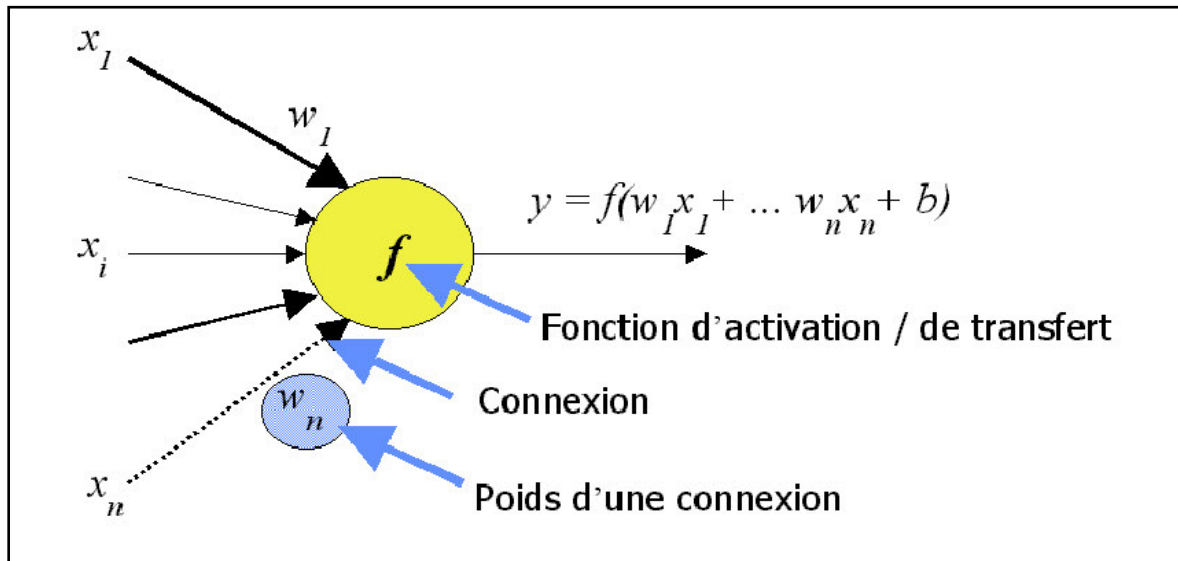


Figure 11 : Neurone formel.

#### 6.1.4.2.1 Fonctionnement mathématique du neurone artificiel

Le fonctionnement mathématique du neurone artificiel est contrôlé par deux fonctions à savoir :

- La fonction de base (fonction discriminant) ;
- Et la fonction dynamique.

#### 6.1.4.2.2 Fonction de base (fonction discriminant)

Elle définit l'activité du neurone, la plus utilisée est la fonction linéaire (la somme pondérée), elle est définie par :

$$\phi(w_i, x_i) = w_1 * x_1 + \dots + w_n * x_n - b = \sum_{i=1}^{i=n} (x_i * w_i) - b$$

**Avec :**

$x_1, x_2, \dots, x_n$  : Entrées, ou encore les excitations ;

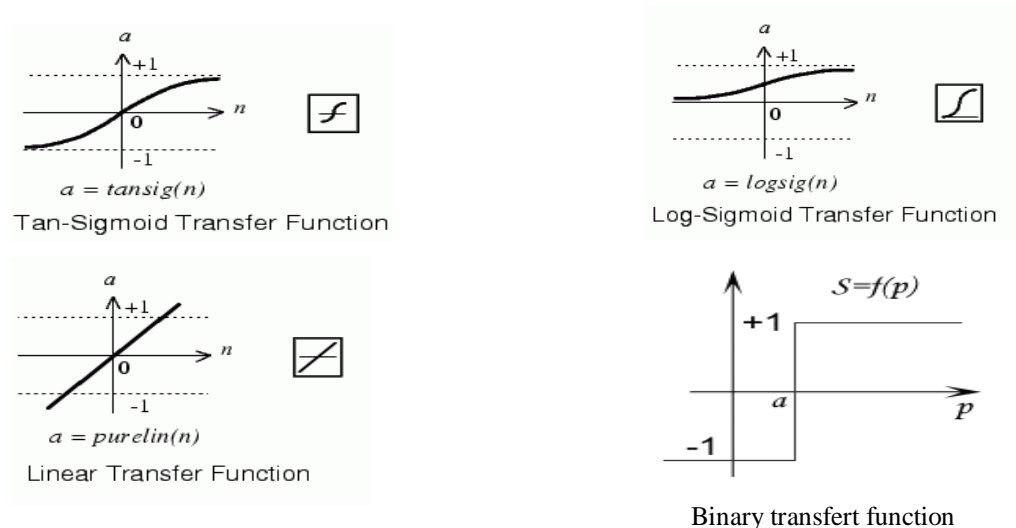
$w_1, w_2, \dots, w_n$  : Coefficients synaptiques ou poids synaptiques ;

b : Représente le biais (constant).

### 6.1.4.2.3 Fonction dynamique

C'est la fonction dite d'activation (transfert) qui a pour objectif de rendre l'activité du neurone bornée. Cette fonction doit être non linéaire, continue dérivable et monotone. La fonction d'activation calcule la valeur de l'état du neurone. C'est cette valeur qui sera transmise aux neurones avals (Benkaci, 2006). Le choix d'une fonction de transfert se révèle être un élément constitutif important des réseaux de neurones.

Il existe de nombreuses formes possibles pour la fonction de transfert, les plus courantes sont les fonctions linéaires, binaires, sigmoïdes, et radiales (gaussiennes).



**Figure 12:** Différents types de fonctions de transfert.

On remarquera qu'à la différence des neurones biologiques dont l'état est binaire, la plupart des fonctions de transfert sont continues, offrant une infinité de valeurs comprises dans l'intervalle  $[-1, +1]$  ;  $[0, +1]$  ou même  $[-\infty, +\infty]$ .

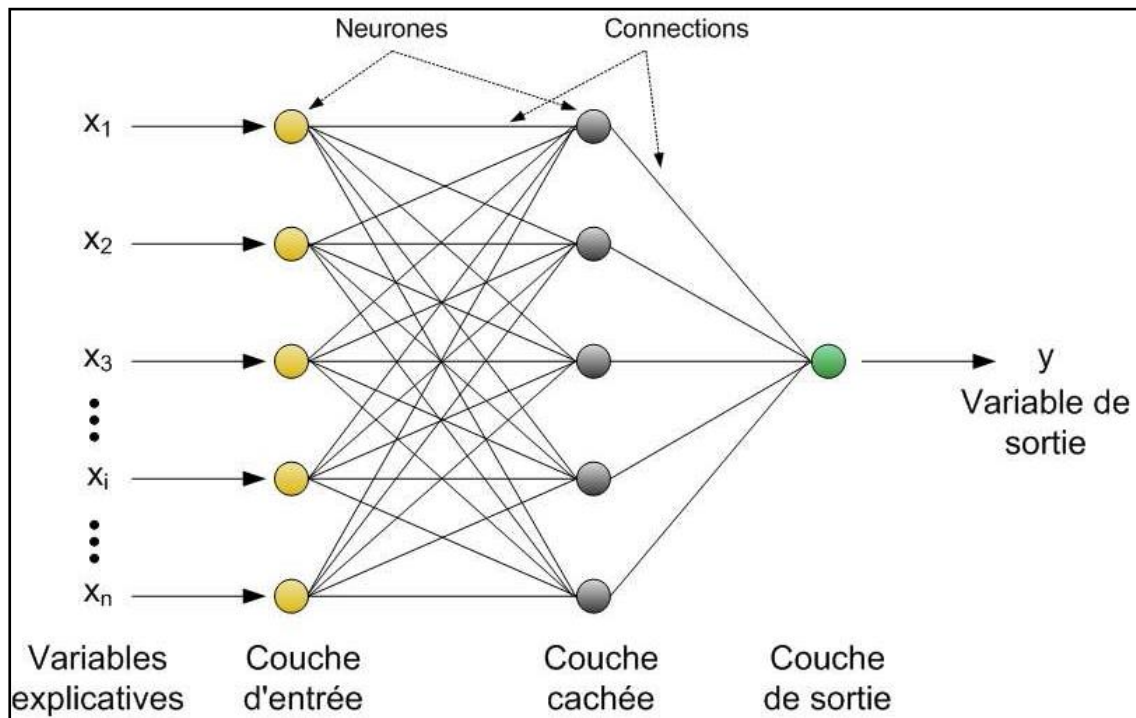
## 6.2 Classification des réseaux de neurones artificiels

Il existe de nombreux types de réseaux de neurones, on peut les classer selon leur architecture et leur mode d'apprentissage.

### 6.2.1 Architecture générale des réseaux de neurones

Un réseau de neurones est un maillage de plusieurs neurones, généralement organisé en couches, effectuant un calcul selon une fonction d'activation (neurones) et des connexions

reliant les neurones entre eux (poids).

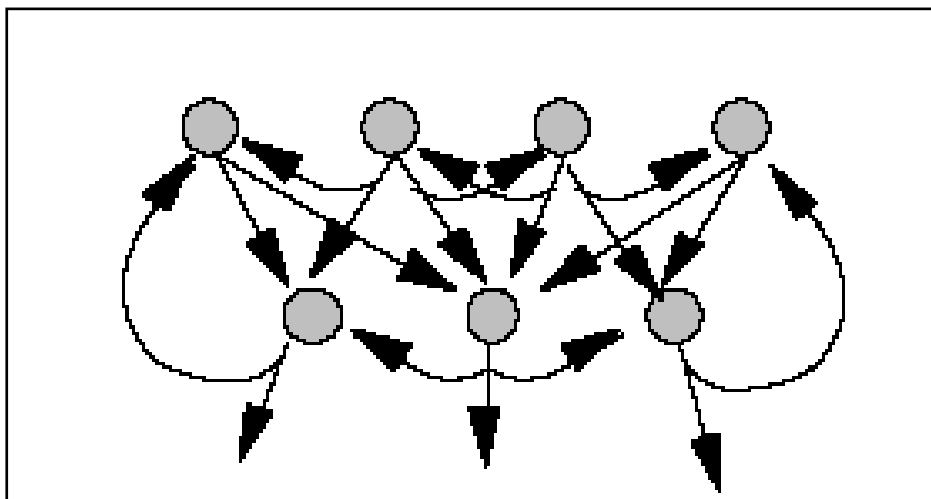


**Figure 13 :** Réseau de neurones artificiels.

Selon l'architecture, les réseaux de neurones peuvent être classés en deux types, Les réseaux de neurones bouclés et les réseaux de neurones non bouclés (en couches).

### 6.2.2 Réseaux de neurones dynamiques

Ils sont appelés aussi, réseaux de neurones bouclés ou récurrents, contrairement aux réseaux de neurones non bouclés, les réseaux de neurones bouclés peuvent avoir une topologie de connexions quelconque, comprenant notamment des boucles qui ramènent aux entrées la valeur d'une ou plusieurs sorties.



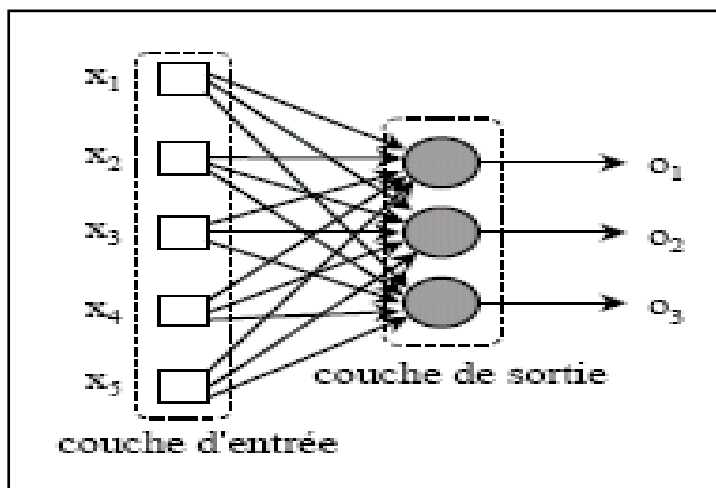
**Figure 14 :** Réseau bouclé.

### **6.2.3 Réseaux de neurones non bouclés ou en couches (Perceptron)**

Appelés aussi "réseaux "Feed-Forward", ce sont des réseaux dans lesquels l'information se propage de couche en couche sans retour en arrière possible (feed back). Un réseau de neurones non bouclé (en couches) réalise une (ou plusieurs) fonctions algébriques de ses entrées, par composition des fonctions réalisées par chacun de ses neurones.

#### **6.2.3.1 Le Perceptron monocouche**

C'est historiquement le premier RNA, c'est le Perceptron de Rosenblatt. C'est un réseau simple, puisque il ne se compose que d'une couche d'entrée et d'une couche de sortie. Il est calqué, à la base, sur le système visuel et de ce fait a été conçu dans un but premier de reconnaissance des formes. Cependant, il peut aussi être utilisé pour faire de la classification et pour résoudre des opérations logiques simples (telle "ET" ou "OU"). Sa principale limite est qu'il ne peut résoudre que des problèmes linéairement séparables. Il suit généralement un apprentissage supervisé selon la règle de correction de l'erreur (ou selon la règle de Hebb).



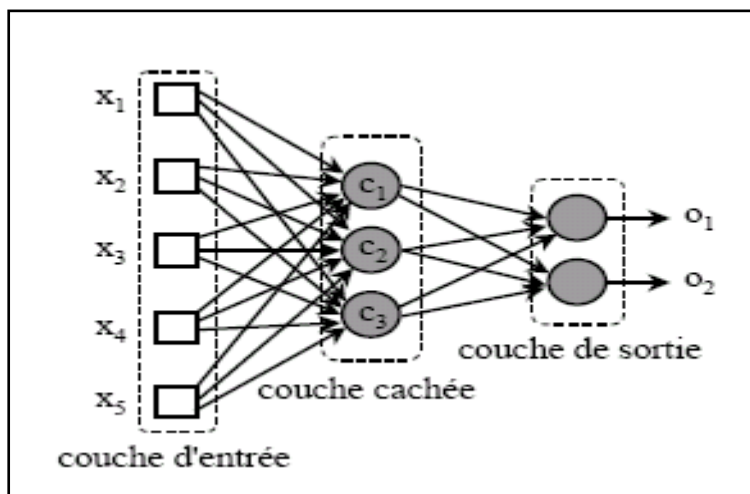
**Figure 15 :** Réseaux à une seule couche.

### 6.2.3.2 Le Perceptron multicouches

Le Perceptron multicouches est sans doute le plus simple et le plus connu des réseaux des neurones, la structure est relativement simple : une couche d'entrée, une couche de sortie et une ou plusieurs couches cachées. Chaque neurone n'est relié qu'aux neurones de couche précédente.

Réseau multicouche : les neurones sont arrangés par couche. Il n'y a pas de connexion entre neurones d'une même couche et les connexions ne se font qu'avec les neurones de couches avales. Habituellement, chaque neurone d'une couche est connecté à tous les neurones de la couche suivante et celle-ci seulement. Ceci nous permet d'introduire la notion de sens de parcours de l'information (de l'activation) au sein d'un réseau et donc définir les concepts de neurone d'entrée, neurone de sortie. Par extension, on appelle couche d'entrée l'ensemble des neurones d'entrée, couche de sortie l'ensemble des neurones de sortie, les couches intermédiaires n'ayant aucun contact avec l'extérieur sont appelées couches cachées.

Chaque neurone dans une couche du réseau de neurones est relié à tous les neurones de la couche précédente et de la couche suivante (à l'exception des couches d'entrée et de sortie), sans qu'il y ait de connexions entre les neurones d'une même couche. Les fonctions d'activation couramment utilisées dans ce type de réseaux sont principalement les fonctions à seuil ou sigmoïdes. De plus, l'apprentissage se déroule de manière supervisée en utilisant la règle de correction d'erreur.



**Figure 16 :** Réseaux "FeedForward" multicouches.

### 6.3 Apprentissage des réseaux de neurones

Le processus de calibrage (ou apprentissage) consiste à déterminer les valeurs des paramètres du modèle qui minimisent l'erreur de modélisation. Dans le contexte des réseaux de neurones, l'apprentissage du modèle neuronal fait référence à une phase de développement au cours de laquelle le comportement du réseau est modifié en réponse aux stimuli qu'il reçoit de son environnement, jusqu'à ce qu'il atteigne le comportement souhaité. Généralement, les paramètres ajustés sont les poids synaptiques qui relient les neurones entre eux.

L'objectif de l'apprentissage est de réduire l'erreur globale du modèle jusqu'à atteindre un niveau acceptable d'erreur.

Il existe plusieurs règles d'apprentissage qui peuvent être regroupées en trois grandes catégories, l'apprentissage supervisé et l'apprentissage semi-supervisé ou par renforcement et l'apprentissage non supervisé (Dreyfus *et al.*, 2004).

### 6.4 Apprentissage supervisé des réseaux de neurones artificiels

L'apprentissage supervisé des réseaux de neurones artificiels consiste à fournir au modèle neuronal à la fois les entrées et les sorties désirées, c'est-à-dire un ensemble de paires d'exemples (entrées-sorties attendues). L'apprentissage neuronal repose donc sur des exemples de comportement. La réponse du neurone de sortie est ensuite comparée aux valeurs attendues. L'objectif de l'apprentissage supervisé est d'inculquer au réseau un comportement de référence. L'apprentissage supervisé implique de guider le réseau à travers des exemples pour qu'il puisse apprendre à produire les sorties souhaitées en fonction des entrées fournies.



### 6.5 Algorithmes d'apprentissage supervisé

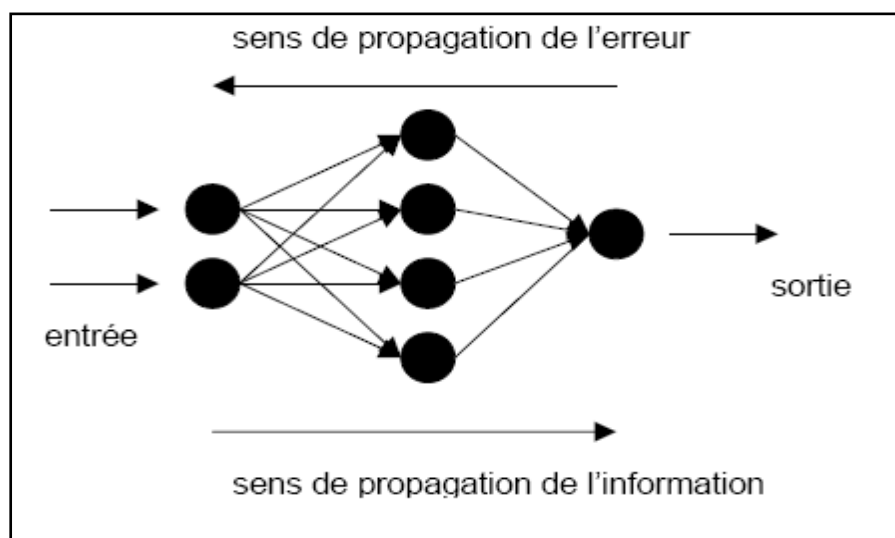
Les algorithmes d'apprentissage itératifs utilisés dans les réseaux de neurones explorent l'espace des paramètres (i.e. poids et biais du réseau) à partir d'un point de départ fixé par les valeurs initiales de ces paramètres et selon une trajectoire qui sera fonction de l'algorithme utilisé et des données.

L'apprentissage "supervisé", pour les réseaux de neurones formels, consiste à modifier les coefficients (poids synaptique  $W$ ) de telle manière que les sorties du réseau de neurones soient, pour les exemples utilisés lors de l'apprentissage, aussi proches que possible des sorties "désirées", qui peuvent être la valeur de la fonction que l'on veut approcher ou de la sortie du processus que l'on veut modéliser, ou encore la sortie souhaitée du processus à commander. La plupart des algorithmes d'apprentissage des réseaux de neurones formels sont des algorithmes d'optimisation, s cherchent à minimiser, par des méthodes d'optimisation non linéaire, une fonction de coût qui constitue une mesure de l'écart entre les réponses réelles du réseau et ses réponses désirées.

Cette optimisation se fait de manière itérative, en modifiant les poids en fonction du gradient de la fonction de coût: le gradient est estimé par une méthode spécifique aux réseaux de neurones, dite dans notre cas, la méthode de rétro-propagation, puis il est utilisé par l'algorithme d'optimisation proprement dit. Les poids sont initialisés aléatoirement avant l'apprentissage, puis modifiés itérativement jusqu'à obtention d'un compromis satisfaisant entre la précision de l'approximation sur l'ensemble d'apprentissage et la précision de l'approximation sur un ensemble de test disjoint du précédent. Contrairement à des affirmations maintes fois répétées, l'apprentissage des réseaux de neurones n'est pas spécialement lent: il existe des algorithmes d'optimisation non linéaires extrêmement rapides qui permettent de faire des développements industriels sur de simples PC. L'apprentissage des réseaux de neurones bouclés (pour réaliser des modèles dynamiques) est très semblable à celui des réseaux non bouclés.

### 6.6 La Backpropagation (rétro-propagation)

La rétro propagation du gradient était à la base de la réussite réalisée par les réseaux de neurones artificiels, c'est la méthode la plus utilisée aujourd'hui dans les algorithmes d'apprentissage des réseaux multicouches. Il s'agit d'une méthode d'apprentissage supervisée fondé sur la modification des poids synaptiques dans le sens inverse de propagation de l'information dans le réseau et en fonction de l'erreur produite, d'où la nomenclature de rétro propagation ou Backpropagation.



**Figure 17 :** Rétro- propagation des gradients

## 7 Choix de paramètres du modèle neuronal

### 7.1 Choix d'un réseau de neurones

Il existe un grand nombre de types de réseaux de neurones qui sont utilisés dans de nombreux domaines, mais chaque type a son domaine propice d'utilisation, cependant, l'utilisation de plusieurs types et la comparaison entre eux constituent le seul moyen pour déterminer le meilleur type en fonction de champs de recherche.

D'après des recherches récentes (Khoshroo *et al.*, 2018; Nabavi-Pelesaraei *et al.*, 2016), les PMC apportent de bons résultats pour la modélisation des rendements à partir des intrants agricoles (intrants énergétiques).

### 7.2 Choix de nombre de couches cachées

Les résultats obtenus par plusieurs chercheurs (Nabavi-Pelesaraei *et al.*, 2016; Taheri-Rad *et al.*, 2017), en utilisant le PMC avec l'algorithme de Backpropagation, variante de Levenberg-Marquardt, et les variables climatiques comme entrées de réseaux pour estimer les rendements de différentes cultures, confirment que les modèles neuronaux à une seule couche cachée sont suffisants pour rendre compte de la relation non linéaire existante entre les intrants agricoles et les rendements correspondants.

### 7.3 Choix de nombre de neurones par couche cachée

Le nombre d'unités cachées joue un rôle crucial dans le contrôle de la capacité du réseau de neurones.

L'erreur commise par un réseau de neurones est inversement proportionnel au nombre de neurones cachés (Dreyfus, 2004) ; malheureusement, ce résultat, comme d'autres considérations théoriques n'est pas constructif, en ce sens qu'il ne peut que donner des estimations, ou des bornes larges, du nombre de neurones cachés nécessaires. Il n'existe pas, à l'heure actuelle, de résultat théorique permettant de prévoir le nombre de neurones cachés nécessaires pour obtenir une performance spécifiée du modèle, compte tenu des données disponibles. Il faut donc nécessairement mettre en œuvre une procédure numérique de conception de modèle (Dreyfus, 2004).

### 8 Analyse de sensibilité

L'analyse de sensibilité est employée afin d'identifier les variables d'entrée qui ont le plus d'impact sur les résultats du modèle. L'utilisation de toutes les informations disponibles ne garantit pas toujours une meilleure capacité prédictive, car les variables d'entrée peuvent être corrélées entre elles. Si la performance du modèle ne varie pas significativement avec ou sans une variable particulière, cela indique que cette variable est considérée comme moins importante pour la cible et peut donc être exclue des entrées du réseau.

Une évaluation de la sensibilité a été réalisée pour déterminer l'importance relative de chaque variable d'entrée dans la prédiction des rendements des cultures de palmiers dattiers. Lors de la construction des modèles, l'analyse de sensibilité vise à évaluer l'importance des variables prédictives dans les modèles établis. Cette analyse classe les variables d'entrée en fonction de l'impact sur les performances du modèle en cas de suppression d'une variable. Ainsi, on peut identifier les variables qui peuvent être en toute sécurité négligées dans les analyses ultérieures, ainsi que les variables essentielles qui doivent être conservées (Olszewski et al., 2008). Les résultats de cette analyse peuvent être utilisés à titre informatif ou pour simplifier la sélection des variables d'entrée (Gazzaz et al., 2012).

Dans cette étude, l'analyse de sensibilité repose sur l'examen des effets des variables d'entrée sur la variable dépendante (les rendements) en utilisant la méthode dite "leave-one-out" ou "éliminer une seule variable parmi l'ensemble des variables candidates". Cette approche

consiste à évaluer la variation de l'erreur du réseau de neurones qui serait obtenue si une variable d'entrée était supprimée de l'ensemble des entrées (Pastor-Bárcenas *et al.*, 2005).

Cette méthode utilise deux indicateurs : le ratio de l'erreur du réseau et le rang. Le ratio des erreurs du réseau reflète l'impact sur le fonctionnement du réseau lorsque l'on élimine une variable d'entrée. Il correspond au rapport entre l'erreur obtenue après avoir éliminé une variable unique et l'erreur obtenue en utilisant toutes les variables, c'est-à-dire le rapport entre l'erreur du modèle réduit et celle du modèle complet (qui inclut toutes les variables d'entrée). Plus le ratio est élevé, plus la variable d'entrée est importante pour le modèle, et vice versa. Lorsque le ratio est inférieur ou égal à 1.0, la variable peut être rejetée et supprimée du modèle. Ensuite, les variables indépendantes se voient attribuer des rangs en fonction de leurs ratios, la variable ayant le ratio le plus élevé étant classée en première position (Olszewski *et al.*, 2008). Le calcul du ratio est effectué de la manière suivante:

$$Ratio = \frac{RMSE_{\text{modèle élagué}}}{RMSE_{\text{modèle complet}}} \quad (\dots)$$

L'analyse de sensibilité nous permet donc de:

- ✓ Choisir le meilleur ensemble de variables d'entrée (les variables clés) pour améliorer la performance de modèle et assurer la parcimonie de ce dernier par l'élimination (élagage) des variables d'entrées auxquelles le modèle n'est pas sensible;
- ✓ Évaluer l'effet de chaque variable d'entrée sur le modèle par la détermination des variables d'entrées les plus influentes et celles les moins influentes (des entrées qui ne sont pas importants).

# **Chapitre 03**

## **Résultats et Discussion**

## Chapitre 3 : Résultats et discussion

### 1 Modélisation des rendements phœnicicoles par les réseaux de neurones artificiels (RNA) et la régression linéaire multiple (RLM)

#### 1.1 Implémentation des modèles RNA et celui de RLM

Le logiciel Matlab 7.4 (version d'essai) est utilisé pour implémenter tous les modèles réseaux de neurones artificiels (RNA) et ceux de la régression linéaire multiple (RLM), en particulier les boîtes à outils de réseaux de neurones artificiels et celle de statistiques. Deux programmes informatiques ont été écrits en langage Matlab et utilisés pour développer plusieurs modèles de RNA et de RLM.

L'ensemble de données a été divisé en deux parties ; le premier (70 % de l'ensemble de données) a été utilisé pour l'entraînement (calage) tandis que le reste (30 %) pour la validation. Plusieurs architectures de RNA ont été testées en faisant varier le nombre de neurones cachés de 1 à 30 avec un incrément de 1.

Pour créer les réseaux de neurones, nous avons utilisé l'architecture la plus couramment utilisée, à savoir le perceptron multicouche à action directe (PMC) utilisant l'algorithme d'entraînement par rétro propagation (BP) et l'algorithme d'apprentissage de Levenberg-Marquardt, avec fonctions de transfert sigmoïde et linéaire dans les couches cachées et de sortie, successivement.

#### 1.2 Evaluation de performance des modèles

Le seul critère de conformité et de performance d'un modèle est son adéquation avec les données observées.

Après avoir implémenté un modèle, une tâche délicate c'est l'estimation de sa qualité et sa performance, pour cela on utilise généralement plusieurs critères graphiques et statistiques.

##### 1.2.1 Critère graphique

Ce critère donne une idée générale sur la performance de modèle du fait qu'il apporte un jugement visuel sur la qualité de modèle à reproduire fidèlement la réalité. Mais ce critère n'est pas suffisant d'où la nécessité de faire appel aux critères statistiques.

## 1.2.2 Critères statistiques

Critères statistiques consistent à déterminer une fonction qui va minimiser l'erreur entre les données simulées par le modèle, et celles observées (Benkaci, 2006). On a utilisé deux critères statistiques, le Coefficient de corrélation (CC) et l'erreur quadratique moyenne (root mean square erreur : RMSE).

### 1.2.2.1 Coefficient de corrélation (CC)

Le coefficient de corrélation (CC) mesure la force de la relation entre deux variables. Les valeurs de CC varient de -1 à +1; la force de la relation est indiquée par la valeur absolue de coefficient, tandis que sa direction est indiquée par le signe. Le coefficient de corrélation (CC) peut être calculé à l'aide de la formule suivante:

$$CC = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{obs} - \bar{Y}_{obs})(Y_{sim} - \bar{Y}_{sim})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_{obs} - \bar{Y}_{obs})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_{sim} - \bar{Y}_{sim})^2}} \right] \quad (\dots)$$

Où CC est le coefficient de corrélation;  $Y_{obs}$  et  $Y_{sim}$  et sont les valeurs observées et simulées respectivement; et  $\bar{Y}_{obs}$  et  $\bar{Y}_{sim}$  sont la moyenne des valeurs observées et simulées, N est le nombre d'observations. Un coefficient de corrélation proche de l'unité signifie que le modèle conçu est très efficace et vice versa.

Selon Legates et McCabe (1999), l'utilisation du coefficient de corrélation seul n'est pas suffisante pour évaluer la qualité d'un modèle. Pour cette raison, nous avons utilisé d'autres indicateurs comme Root Mean Square Error (RMSE).

### 1.2.2.2 Erreur quadratique moyenne (RMSE)

Le RMSE est la racine de la moyenne arithmétique des carrés des écarts entre les prévisions et les observations, il doit être aussi petit que possible. Une concordance parfaite entre les valeurs simulées et celles observées donnerait un RMSE = 0.

Le RMSE est un indicateur de la capacité du modèle, un faible RMSE indique que le modèle a une bonne performance, et vice-versa (Sungwon et Hungo, 2008).

L'erreur quadratique moyenne (RMSE) a été utilisée comme une mesure de la qualité de l'ajustement du modèle, elle est calculée comme suit:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_{obs} - Y_{sim})^2}{N}} \quad (\dots)$$

Où : RMSE est l'erreur quadratique moyenne; et  $Y_{obs}$  et  $Y_{sim}$  sont les valeurs observées et simulées, respectivement; N est le nombre d'observations (échantillons).

## 2 Résultats de la modélisation par les RNA et la RLM

### 2.1 Variables d'entrée

Dans ce travail, la main d'œuvre, la machinerie, le film plastique, les insecticides, les herbicides, l'azote (N), le phosphore ( $P_2O_5$ ), le potassium ( $K_2O$ ), le fumier de ferme (FYM), le carburant (fuel), l'électricité, l'eau pour l'irrigation, la densité de plantation, l'âge de la palmeraie, le niveau d'instruction et l'expérience de l'agriculteur ont été utilisés comme inputs afin de modéliser les rendements phœnicicoles (exprimé en unité d'énergie :  $MJ.ha^{-1}$ ) via les modèles de RNA. Ensuite, les résultats de simulation du modèle RNA sont comparés à ceux obtenus avec la régression multi linéaire (MLR).

### 2.2 Variables de sorties

Les rendements phœnicicoles exprimés en mégajoule par hectare.

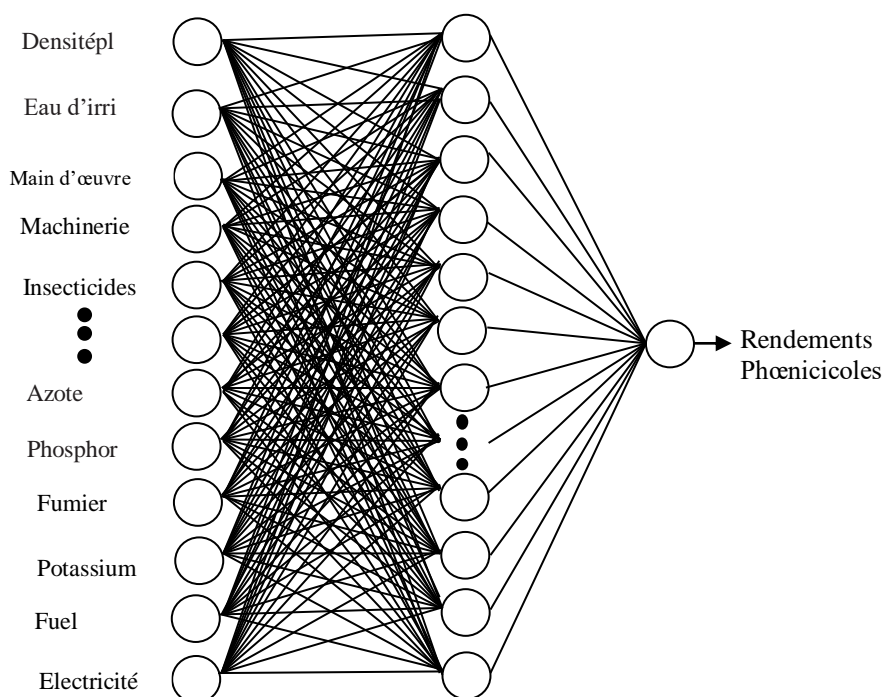
Trente réseaux de neurones de type Perceptron multicouche (MLP) ont été créés sous Matlab 7.4 en faisant varier le nombre de neurones dans la couche cachée de 1, 2...30. Selon les critères de performance (R et RMSE), un réseau de neurones Perceptron multicouche (PMC) avec 16 entrées, 23 neurones dans la couche cachée et une sortie (rendements phœnicicoles en  $MJ.ha^{-1}$ ) a été déterminé comme le meilleur modèle RNA (la meilleure architecture est 16-23-1). [Khoshroo et al., \(2018\)](#) ont démontré que la meilleure architecture d'RNA est 7-6-1 pour prédire le rendement en raisin. Dans une autre étude. [Taheri-Rad et al., \(2017\)](#) ont révélé qu'un réseau de type 8-25-1 est le bon modèle pour estimer le rendement du riz. Alors que [Mohammadi et al., \(2010b\)](#) ont conclu que le modèle RNA avec une structure 6-4-1 était le meilleur modèle pour prédire le rendement des kiwis dans la province de Mazandaran, en Iran.



La formule de régression linéaire multiple : obtenu

**Rendement** =  $-0.054593 - 0.21949 * HL - 0.052639 * mach + 0.119774 * carb + 0.11526088 * Plast - 0.3967737 * N + -0.1606311 * KP + 0.3896724 * K + 0.0119560 * Insect + 0.02322565 Herb + 0.1215337 * Eau + 0.3016949 * Elect + 0.238094 * Fumier + 0.5959608 * Densité - 0.004058315 * Niveau + 0.2697958263 * Age p - 0.015900703 * Expérience.$

La **figure 18** illustre la structure d'un réseau neuronal MLP à trois couches entièrement connecté utilisé pour prédire les rendements phœnicicoles dans la province de Biskra.



**Figure 18** : Structure du modèle de RNA utilisé pour la prédiction des rendements phœnicicoles.

Comme le montre le **tableau 6**, le modèle RNAa des bonnes estimations où le R varie de 0,9626 à 0,7983, tandis que le coefficient de corrélation (R) pour le modèle de RLM oscille de 0,6462 à 0,6040, pour les phases d'entraînement (calage) et de validation, respectivement. Pour le critère root mean square error (RMSE), les valeurs obtenues par le modèle RNA étaient de 35672,27 MJ.ha<sup>-1</sup>, 28250,3 MJ.ha<sup>-1</sup> et 48927,42, tandis que les valeurs de RMSE fournies par le modèle MLR étaient de 70166,77MJ.ha<sup>-1</sup>, 72659,75MJ.ha<sup>-1</sup> et 63888,75MJ.ha<sup>-1</sup> pour l'ensemble de données, celle d'entraînement (calage) et de validation, successivement. Nous pouvons conclure que le modèle RNA a surpassé le modèle MLR en termes des Deux critères de performance (R et RMSE). Le modèle du RNA est capable de capturer des relations complexes et non linéaires encapsulées dans des données.

Le **tableau 6** montre les résultats de simulation des modèles RNA et MLR pour l'ensemble de données, entraînement et validation, successivement.

**Tableau 6** : Critère de Performance du modèle de RNA et celui de RLM

Modèles	Toutes les données		Entraînement		Validation	
	R	RMSE (MJ.ha <sup>-1</sup> )	R	RMSE (MJ.ha <sup>-1</sup> )	R	RMSE (MJ.ha <sup>-1</sup> )
RNA	0,9253	35672,27	0,9626	28250,3	0,7983	48927,42
RLM	0,6361	70166,77	0,6462	72659,75	0,6040	63888,75

Jargan *et al.*, (2022) ont trouvé un résultat légèrement supérieur à la nôtre où les auteurs ont utilisé un réseau de neurones artificiels pour modéliser les rendements de grenade et les coefficients de détermination compris entre 0.86 et 0.91.

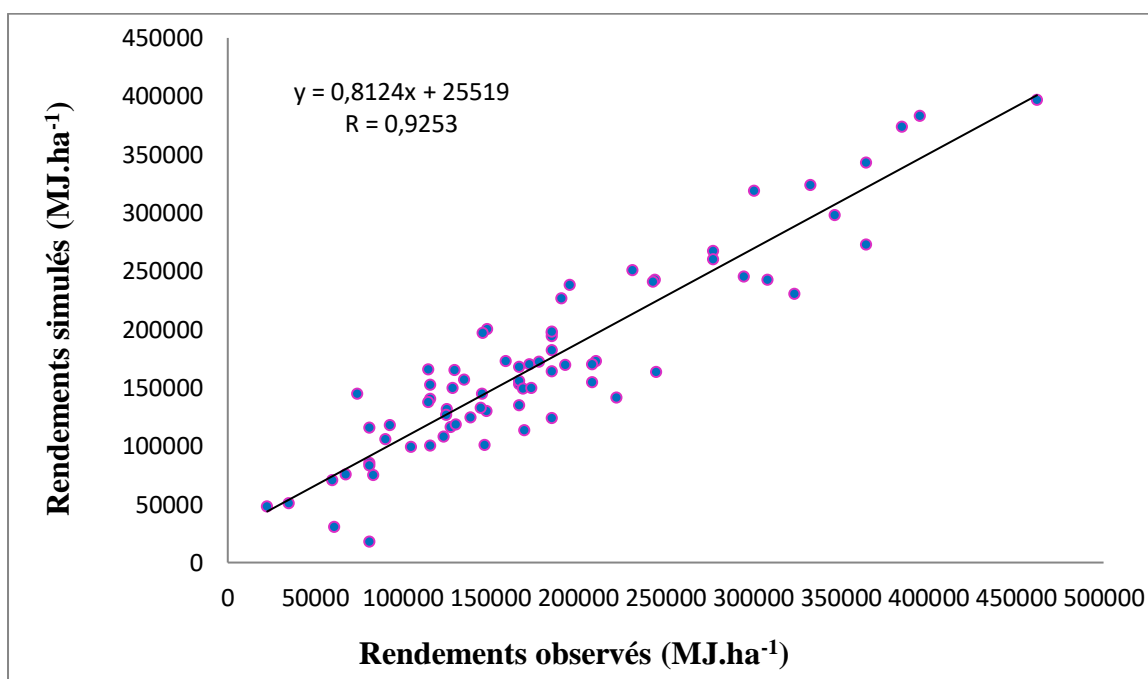
Nos résultats sont en accord avec celui de Singh, (2008) où l'auteur a fait un travail similaire pour prédire le rendement du maïs par un réseau de neurones PMC et une régression linéaire multiple utilisant la main d'œuvre, les engrais et les pesticides comme inputs et a révélé la supériorité du réseau de neurones à anticipation multicouche sur la régression linéaire multiple.

Les résultats du modèle RNA décrits dans ce travail ont surpassé ceux enregistrés par Ozkan *et al.*, (2011b) où ces auteurs ont utilisé la fonction de production Coub-Douglass pour prédire le rendement de la tomate sous serre à double récolte (automne et été) en Turquie et le coefficient de corrélation (R) variait entre 0,65 et 0,74 pour les saisons d'automne et d'été, respectivement. Un résultat similaire a été obtenu par l'étude de Khoshnevisan *et al.*, (2014) alors que ces auteurs ont utilisé RNA pour prédire les rendements de pommes de terre en Iran sur la base des apports énergétiques, et le coefficient de corrélation (R) était de 0,925 pour l'ensemble de données. Alors que Khoshroo *et al.*, (2018) ont trouvé des résultats légèrement meilleurs que les nôtres, où ils ont utilisé des RNA pour prédire les rendements de raisin. Les prédictions du modèle de RNA ont montré un bon accord avec les rendements observés avec des coefficients de corrélation oscillant entre 0.92 et 0.88 pour le calage et la validation respectivement.

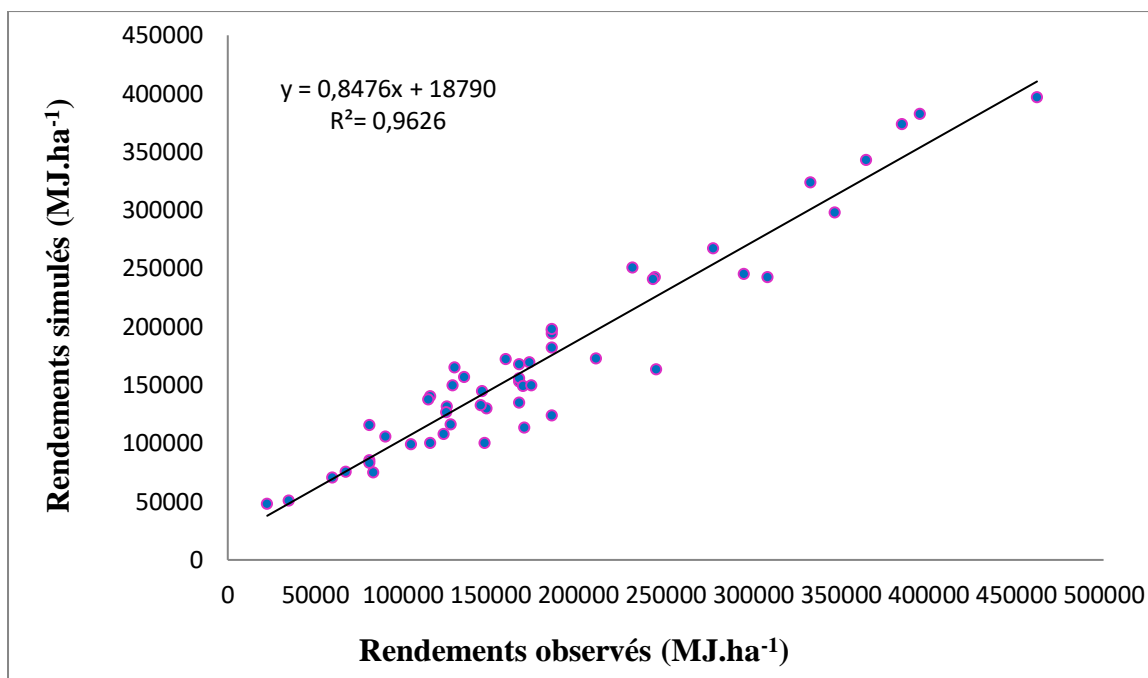
Bien qu'aucune étude de la modélisation par les RNA avec les variables d'entrée étudiées dans le présent travail n'ait encore été réalisée pour prédire les rendements phœnicicoles, il semble que le modèle RNA (avec R = 0,92 pour l'ensemble des données) donne de très bonnes estimations des rendements phœnicicoles.

Divers auteurs ont signalé la supériorité de l'RNA sur le MLR pour estimer le rendement en graines de l'Ajowan à travers des composants de rendement en graines (Niazian *et al.*, 2018) et prédire la consommation d'énergie dans la production de blé en fonction des conditions de la ferme (taille de la superficie cultivée), considérations sociales des agriculteurs (niveau d'éducation) et intrants énergétiques (utilisation de N et P et fréquence d'irrigation) (Safa et Samarasinghe., 2011). Les conclusions des auteurs susmentionnés confirment une fois de plus la robustesse, la stabilité, l'efficacité et la précision du modèle RNA utilisé dans cette étude pour prédire les rendements phœnicicoles.

Pour illustrer les résultats fournis par les modèles de RNA, nous avons dessiné les figures 19, 20 et 21 qui affichent la présentation graphique des diagrammes de dispersion des rendements observés par rapport aux rendements prédits obtenus par les modèles RNA pour l'ensemble de donnée, le calage et la validation, respectivement.



**Figure 19 :** Diagrammes de dispersion entre les rendements observés et ceux estimés par le modèle de RNA pour l'ensemble de données.

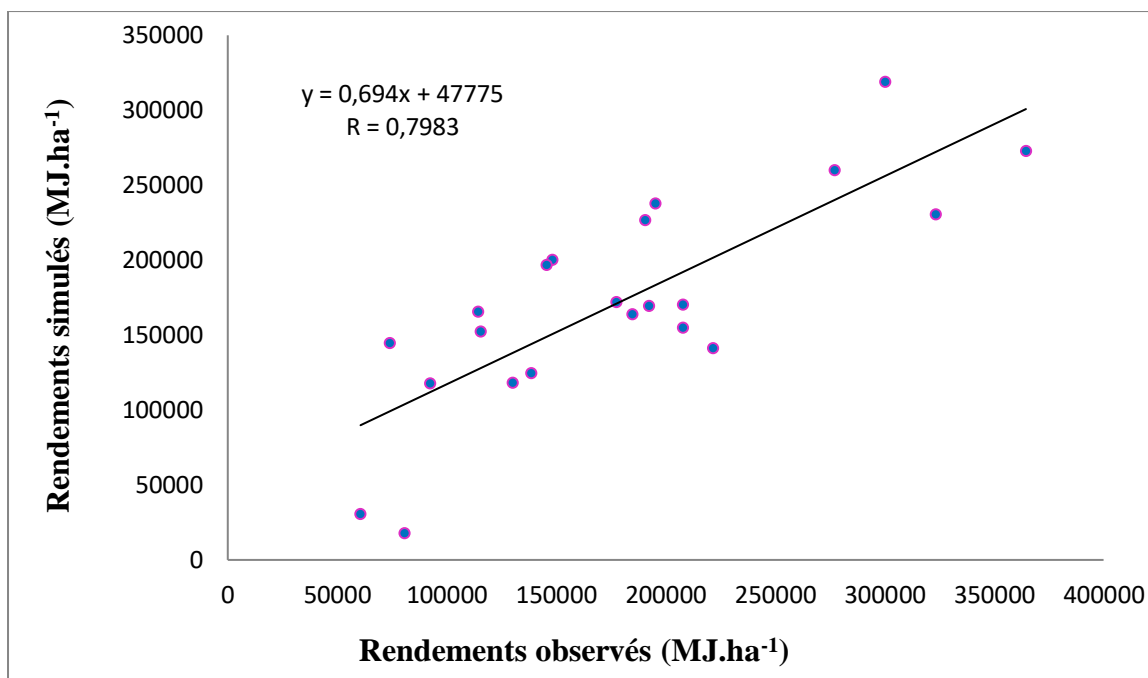


**Figure 20 :** Diagrammes de dispersion entre les rendements observés et ceux estimés par le modèle de RNA durant la période de calage (entraiment).

D'après ces diagrammes de dispersion de figure 19, 20 et 21, il est évident que les estimations du modèle de RNA sont relativement proches des valeurs observées correspondantes, ce qui confirme à nouveau la qualité des résultats obtenue par le RNA.

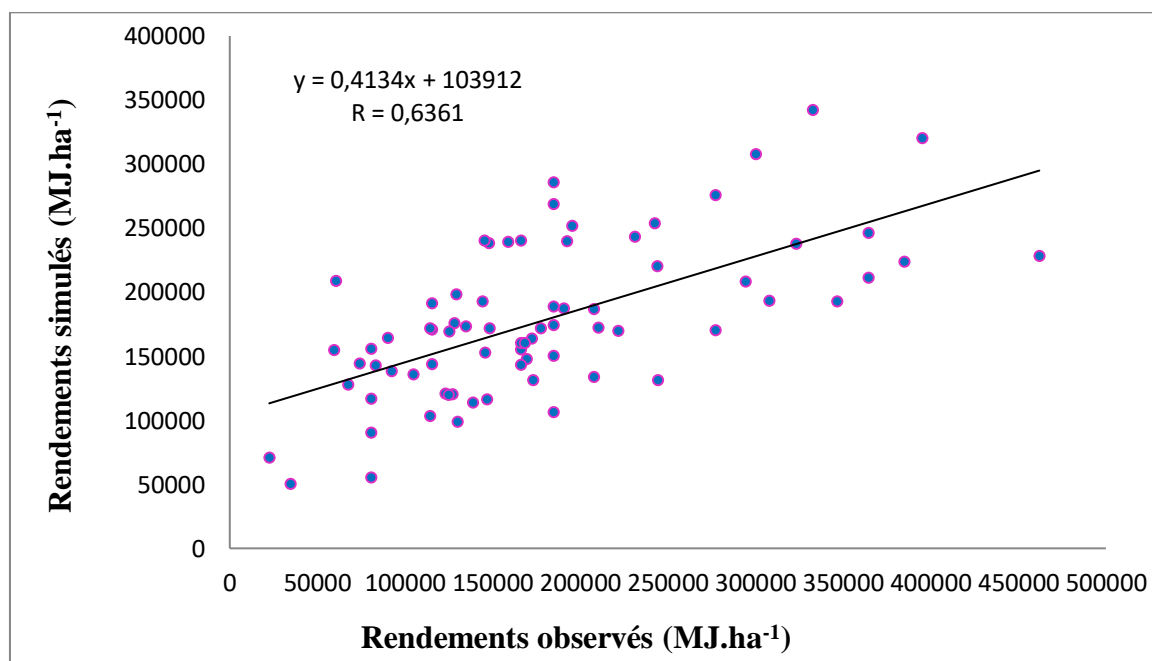
Les figure 19 et 20 montrent que les corrélations étaient si étroite et la pente voisine de un, il paraît raisonnable de confondre les valeurs observées et celles simulée par le modèle. Nous avons donc enregistré une bonne corrélation existant entre la série observée et simulée avec un coefficient de corrélation oscillant entre  $R=0.92$  et  $0,96$  pour l'ensemble de donnée et la phase de validation, ce qui donne une idée sur le potentiel de ce réseau dans la modélisation des rendements phœnicicoles.

Comme la montre la figure c1, durant la phase de validation, on a enregistré une petite détérioration de la simulation du modèle de RNA, mais dans des limites très raisonnable avec un coefficient de corrélation  $0,7983$ .

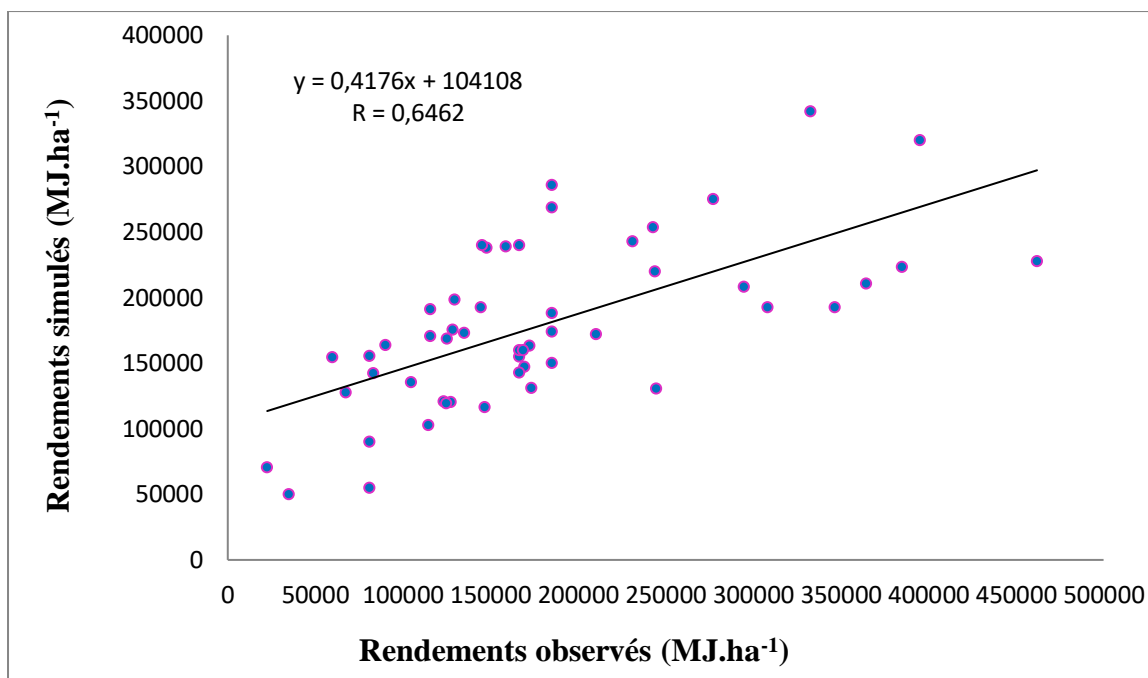


**Figure 21** : Diagrammes de dispersion entre les rendements observés et ceux estimés par le modèle de RNA durant la période de validation.

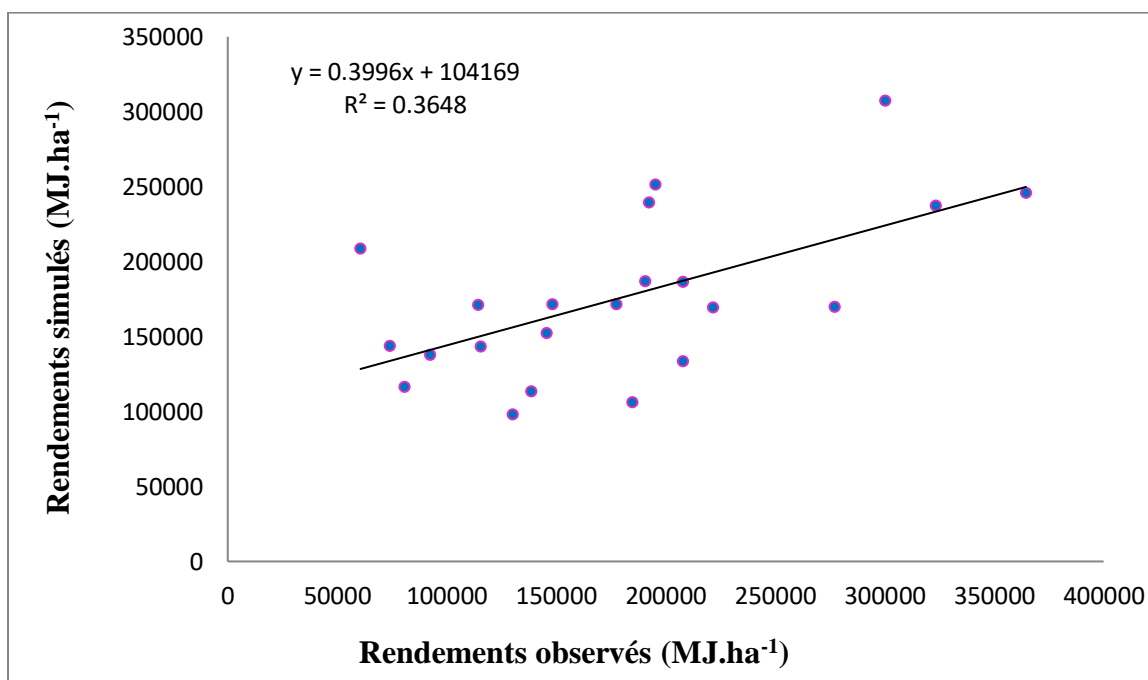
Les résultats obtenus par le modèle de régression linéaire multiple (RLM) sont illustrés dans les figures 22, 23 et 24 sous forme de diagrammes de dispersion entre les rendements observés par rapport aux rendements prédits obtenus par les modèles RLM pour l'ensemble de donnée, le calage et la validation, respectivement.



**Figure 22** Diagrammes de dispersion entre les rendements observés et ceux estimés par le modèle de RLM pour l'ensemble de données.



**Figure 23 :** Diagrammes de dispersion entre les rendements observés et ceux estimés par le modèle de RLM durant la période de calage (entraînement).



**Figure 24 :** Diagrammes de dispersion entre les rendements observés et ceux estimés par le modèle de RLM durant la période de validation.

Les figures 22 et 23 et 24 montrent des corrélations faibles existant entre la série observée et simulée avec un coefficient de corrélation oscillant entre 0,63, 0,64 et 0,36 pour l'ensemble de donnée, la phase de calage et celle de validation. En plus de ça les points sont très dispersés, ce

qui donne une idée sur la faiblesse de RLM dans la modélisation des rendements phœnicicoles, du fait que la technique de RLM n'est pas capable de capturer les relations complexes non linéaires incorporées dans les données.

### 3 Résultats de l'analyse de sensibilité

L'analyse de sensibilité permet d'évaluer l'importance des variables d'entrée sur les résultats du modèle, comme mentionné par [Pahlavan et al., \(2012\)](#). Pour évaluer la contribution individuelle de chaque facteur de production, énergétique ou non énergétique, sur les rendements du palmier-dattier, une analyse de sensibilité a été réalisée en excluant une variable spécifique. Lorsque le ratio est inférieur à 1,0, cela suggère que la variable peut être rejetée et retirée du modèle. En fonction des ratios obtenus, les variables indépendantes sont classées et la variable la plus significative pour le réseau reçoit le rang 1 ([Olszewski et al., 2008](#)).

Dans **le tableau 7**, tous les ratios sont supérieurs à 1, ce qui indique que toutes les variables d'entrée utilisées jouent un rôle déterminant dans le rendement. Il est important de souligner que le rendement est le résultat des interactions complexes entre les facteurs de production et ceux pédoclimatiques.

Lors de l'utilisation du modèle de prédiction des rendements des palmiers-dattiers présenté dans cette étude, il est primordial de prendre en compte la spécificité du contexte local, telle que les conditions pédoclimatiques de la région d'étude.

Sur la base des résultats de l'analyse de sensibilité utilisant la méthode "leave-one-out" sur le modèle de RNA, les facteurs suivants ont été identifiés selon leur ordre d'importance, comme les plus influençant pour prédire le rendement du palmier dattier dans les Ziban (Tableau 7) :

**Tableau 7** : Résultats de l'analyse de sensibilité

Models	Ratio	Rang
Sans N	1,6095	<b>1</b>
Sans film plastic	1,4724	<b>2</b>
Sans K <sub>2</sub> O	1,4498	<b>3</b>
Niveau d'instruction	1,4330	<b>4</b>
Sans Age palmeraie	1,3754	<b>5</b>
Sans Fumier	1,3725	<b>6</b>
Sans main d'œuvre	1,3579	7
Sans Herbicide	1,3427	8
Sans Eau irrigation	1,3212	9
Sans Densité	1,3105	10
Sans Machinerie	1,3086	11
Sans Insecticide	1,3042	12
Sans Fuel	1,2881	13
Sans électricité	1,2637	14
Sans Expérience d'agriculteur	1,2587	15
Sans P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,1137	16

Sur la base des résultats de l'analyse de sensibilité du modèle de RNA, les facteurs suivants ont été identifiés comme les plus influents pour prédire le rendement du palmier dattier :

### 1. L'azote (N)

L'analyse de sensibilité des intrants révèle que l'azote (N) a un impact très important sur les rendements phœnicocoles. En effet, (Jules et Robert, 2008) ont rapporté qu'en Algérie les exportations en éléments fertilisants sont de l'ordre de 72 kg d'azote N, 5 kg of phosphore et 27kg de potassium pour une palmeraie de 120 palmier/ha. (Belaoussi, 2019) a démontré que la fertilisation azotée augmente le nombre d'inflorescences par palmier.

### 2. Le film plastique

Le deuxième facteur déterminant du rendement est le film plastique, cela pourrait être expliqué par les considérations suivantes :

- ✓ Il traduit indirectement du le nombre de régimes par hectare.
- ✓ Il agit comme barrière protectrice diminuant les pertes de poids hydrique dû à la chaleur et aux vents.
- ✓ Il traduit indirectement le niveau d'entretien à travers le travail humain (القائمة).



✓ L'étude d'Açourene, S., et Benchabane, A. (2001) ont montré une différence significative entre les rendements de palmiers protégés et ceux non protégés. Le poids de régimes protégés est de l'ordre de 11,65 à 15,9 kg/régime par contre le poids de régime non protégé est compris entre 9.9 et 13,95 kg/régime.

### 3. Le potassium ( $P_2O_5$ )

C'est le troisième facteur déterminant du rendement, En effet, il joue un rôle important dans l'augmentation de la productivité et dans l'amélioration de la qualité (Sedra M.H., 2003).

Le niveau d'instruction occupe la quatrième place parmi les facteurs les plus importants.

### 4. Le niveau d'instruction des phoeniculteurs

Cette variable a une influence considérable sur le rendement. Des niveaux d'éducation plus élevés pourraient impliquer de meilleures connaissances des pratiques culturelles et de gestion, conduisant à un meilleur rendement.

### 5. L'âge de la palmeraie

L'âge de la palmeraie vient en cinquième position, il a un effet sur le rendement. Les palmeraies relativement plus âgées peuvent avoir des rendements plus élevés en raison de systèmes racinaires plus développés. Il est à noter que majorité des palmeraies enquêtées sont en pleine production (âge compris entre 10 à 40 ans).

### 6. Le fumier

Le **tableau 7** montre que le fumier occupe la sixième place. En effet, la fumure organique a plusieurs bienfaits : elle favorise l'activité microbienne du sol, permet l'amélioration de sa rétention en eau et de sa structure et fournit des éléments nutritifs essentiels (surtout l'azote) et de nombreux oligoéléments fertilisants. Dans le cas de l'apport de la fumure organique, il est conseillé d'épandre 5 à 240 kg de fumier par palmier sur la surface autour de l'arbre (rayon de 1 à 2 m) en fonction de l'âge de l'arbre suivi d'un binage de la cuvette (Sedra M.H., 2003). Alors que Bliss et Mathez (1946) recommandent le traitement Azote (TN) et matière organique (MO) de 181,4 kg de fumier et 1,9 kg d'azote / palmier / an sous forme de sulfate d'ammonium, dosant 20,5 %. Ce traitement a donné un rendement moyen de 165 kg de dattes par palmier.

### **7. La main d'œuvre (le travail humain)**

En phoeniciculture, les pratiques culturales sont généralement réalisées par le travail humain. Cette variable inclut le savoir-faire, sachant que la plupart des opérations exigent l'intervention humaine, même lorsque l'opération est mécanisée. L'une des spécificités de système de culture phoenicicole est sa forte demande en main d'œuvre (y-compris la main d'œuvre féminine).

### **8. Le désherbage chimique**

L'utilisation d'herbicides a montré une valeur de rapport de 1,3428, indiquant son importance. Le désherbage permet de contrôler la croissance des mauvaises herbes qui peuvent nuire à la croissance et au rendement. Car, elles peuvent concurrencer les palmiers pour les ressources disponibles, notamment l'eau, les nutriments, ce qui peut entraîner une croissance réduite et une production de fruits inférieure. Cette variable à un effet positif sur le rendement, toute fois, il est capital d'appréhender l'effet des variables dans son ensemble en complémentarité et interaction

### **9. L'eau d'irrigation**

L'eau d'irrigation vient en neuvième place. Le palmier dattier est une culture exigeante en termes d'irrigation, Pour une bonne productivité de l'arbre, l'eau d'irrigation doit être suffisante sans être excessive selon sa densité de plantation. Les besoins annuels en eau pour une plantation mature varient de 12000 à 20000 m<sup>3</sup>/ha, en fonction de la salinité, de la structure et du travail du sol, de la méthode d'irrigation et des conditions climatiques de l'environnement (Sedra M.H., 2003).

### **10. La densité de plantation**

La densité de plantation de palmiers dattiers joue un rôle important dans le rendement à l'hectare. Des densités plus élevées peuvent permettre d'obtenir un rendement plus élevé à l'hectare, car elles permettent de maximiser l'utilisation de l'espace disponible et d'optimiser la production de chaque arbre. Mai, le choix de la densité de plantation optimale dépendra des conditions spécifiques du site, des pratiques culturales utilisées et des objectifs de production visés.

En effet, la distance entre les palmiers influence la quantité de lumière, d'eau, de nutriments et d'espace disponibles pour chaque arbre, ce qui peut avoir un impact significatif sur

la croissance et la production de fruits.

Les plantations de palmiers dattiers peuvent être établies à différentes densités, en fonction des conditions locales et des objectifs de production. En général, les densités de plantation les plus courantes varient entre 80 et 120 arbres par hectare, bien que des densités plus élevées ou plus faibles puissent être utilisées selon les circonstances.

Des densités de plantation plus élevées peuvent permettre d'obtenir un rendement plus élevé à l'hectare, car elles permettent de maximiser l'utilisation de l'espace disponible et d'optimiser la production de chaque arbre. Toutefois, une densité de plantation trop élevée peut également entraîner une concurrence excessive entre les arbres pour les ressources disponibles, ce qui peut réduire la croissance et la production de fruits.

### 11. La mécanisation

Le **tableau 7** montre que la mécanisation occupe la onzième place. Selon l'enquête, la mécanisation intervient lors du travail de sol (confection des planches, amendement (apport de sable), fertilisation (organique et minérale) et du désherbage. Ces opérations améliorent le rendement, ce qui justifie la valeur de son ratio (tableau 7).

Le travail du sol peut aider à améliorer la structure et la fertilité, ce qui favorise la croissance des palmiers et augmente le rendement. Un sol bien travaillé permet une meilleure infiltration de l'eau et des nutriments, ainsi qu'un meilleur développement des racines. Cependant, un travail excessif du sol peut également perturber l'équilibre biologique du sol et entraîner une perte de matière organique, ce qui peut réduire la fertilité à long terme.

Le désherbage mécanique peut également avoir un impact positif sur la croissance et le rendement des palmiers en limitant la compétition des mauvaises herbes pour l'eau, les nutriments.

### 12. La désinsectisation

Le traitement par les insecticides et acaricides joue un rôle dans la protection des palmiers contre les ravageurs et les acariens, ce qui améliore la croissance et le rendement. Les ravageurs et les acariens peuvent causer des dommages considérables aux palmiers dattiers, détruisent des régimes entiers ainsi leur capacité à produire des fruits de qualité et en quantité suffisante. Les palmeraies modernes (la majorité des palmeraies de la région d'étude) sont plus consommatrices de pesticides. Selon [Idder \(2011\)](#) : « Le Boufaroua *Oligonychus afrasiaticus* (Mc Gregor) est un

acarrien ravageur des palmeraies algériennes. Pour se nourrir, il pique les dattes qui se dessèchent ensuite en fin de maturité et deviennent impropres à la commercialisation et à la consommation humaine. Des pertes économiques importantes sont alors enregistrées ».

### 13. Le fuel

Selon l'enquête, le fuel est consommé essentiellement pour les moyens de transports des personnels prenant en charge les palmeraies et pour l'irrigation des fermes n'ayant pas accès au réseau électrique, mais ce dernier ne concerne qu'un nombre très faibles de palmeraies.

### 14. L'électricité

L'électricité est utilisée principalement pour faire fonctionner les équipements hydro-agricoles (pompes). La consommation d'électricité est préférée chez les phoeniculteurs car elle est moins coûteuse que le fuel.

### 15. Expérience en phoeniculture

L'expérience de l'agriculteur positivement corrélée avec le rendement. Les phoeniculteurs expérimentés ont généralement une meilleure technicité et connaissance des pratiques spécifiques aux palmiers-dattiers. Ce qui se manifeste par de meilleures décisions, une optimisation des ressources et une augmentation de la productivité.

### 16. Le phosphore

Le **tableau 7** montre que le phosphore vient en dernière avec un ratio de 1,1137. En comparaison avec l'azote et le potassium, le palmier a des besoins en phosphore relativement moindre.

Selon [Jules et Robert, \(2008\)](#), les exportations d'éléments fertilisants en Algérie sont estimées à environ 72 kg d'azote (N), 5 kg de phosphore et 27 kg de potassium pour une plantation de 120 palmiers par hectare.

Il est important de noter que ces résultats sont spécifiques à la région de Biskra. Les facteurs influençant le rendement du palmier dattier peuvent varier d'une région à l'autre en raison des variations du climat, des conditions du sol et des pratiques agricoles. Par conséquent, les facteurs identifiés ne sont pas nécessairement valables pour d'autres régions ou environnements. Il convient de noter que l'effet d'un facteur est inter lié avec d'autres.

# Conclusion

## Conclusion

Ces dernières années, l'émergence des techniques d'intelligence artificielle a fourni des résultats prometteurs dans le domaine agricole. Le présent travail explore la capacité du réseau de neurones artificiels de type Perceptron Multi-couche à prédire les rendements phœnicoles dans la Willaya de Biskra, à travers une enquête par questionnaire, auprès de 74 phœniculteurs dans la région des Ziban, et à hiérarchiser des intrants énergétiques et non énergétiques (densité de plantation, expérience de l'agriculteur...) en fonction de leur contribution à la sortie du modèle (rendement) à l'aide d'une analyse de sensibilité.

Sur la base des résultats de l'étude, les conclusions suivantes peuvent être énoncées:

Les résultats de la modélisation ont montré que la meilleure architecture de RNA contient une couche d'entrée avec seize variables, une couche cachée avec vingt-trois neurones et une couche de sortie avec une variable de sortie (structure 16-23-1). Le modèle RNA a surpassé le modèle de MLR en termes de divers critères de performance et a donné des prédictions satisfaisantes des rendements phœnicoles dans la zone étudiée ( $r=0,7983$ ). Le RNA semble être une technique robuste, stable et efficace pour la prédiction des rendements phœnicoles.

Ce travail a permis de fournir des 1<sup>ers</sup> résultats encourageants et révèlent que les outils basés sur l'intelligence artificielle sont très utiles pour prédire les rendements phœnicoles.

En dépit que plusieurs facteurs contrôlant la variation des rendements soient inconnus (qualité de l'eau et sol) et que les processus complexes impliquées dans les systèmes de production phœnicoles ne sont pas encore entièrement compris, les résultats obtenus sont très satisfaisants, en se référant à la bonne concordance entre les valeurs observées et celles prédites par le modèles développé.

Les modèles de réseaux de neurones artificiels contribuent au développement des outils d'aide à la décision pour la gestion des systèmes de production agricole, ils appuieront la prise de décision.

L'analyse de sensibilité à l'aide de la méthode dite « leave-one-out » a révélé que l'azote a un impact élevé sur le rendement phœnicoles, suivi du film plastique qui traduit indirectement du le nombre de régimes par hectare. Ensuite viennent le potassium ( $K_2O$ ), le niveau d'instruction, l'âge palmeraie, le Fumier, la main d'œuvre, l'herbicide, l'eau irrigation,

la densité de plantation, la mécanisation, les Insecticides, le fuel, l'électricité, l'expérience d'agriculteur et le phosphore, respectivement.

Pour continuer d'avancer sur cette voie, les points suivants seront recommandés comme perspectives de recherche :

Pour une modélisation plus fine des rendements phœnicicoles, l'utilisation des variables supplémentaires décrivant la qualité de l'eau, la qualité des sols et les conditions de l'environnement est recommandée.

# **Références bibliographiques**



**Références bibliographiques**

- Alam, M. S., Alam, M. R., et Islam, K. K. (2005). Energy flow in agriculture: Bangladesh. *American Journal of Environmental Sciences*, 1(3), 213-220.
- Allam, A. (2008). *Etude de l'évolution des infestations du palmier dattier (Phoenix dactylifera Linné, 1793) PAR Parlatoria blanchardi TARG.(Homoptera Diaspididae TARG. 1892) dans quelques biotopes de la région de Touggourt* (Doctoral dissertation, INA).
- Açourene, S., et Benchabane, A. (2001). Effets de l'ensachage par le polyéthylène sur le rendement et la qualité de la datte de la variété DegletNour du palmier dattier (Phoenix dactyliferaL.). *Revue Recherche Agronomique*, (9), 43-54.
- Aghel, H. (2011). A case study of energy use and economical analysis of irrigated and dryland wheat production systems. *Applied Energy*, 88 (1), 283-288.
- Baran, M. F., Eren, O., Gökdoğan, O., et Oğuz, H. I. (2020). Determination of Energy Efficiency and Greenhouse Gas (GHG) Emissions in Organic Almond Production in Turkey. *ErwerbsObstbau*, 62(3).
- Baruah, D. C., et Bora, G. C. (2008). Energy demand forecast for mechanized agriculture in rural India. *Energy Policy*, 36 (7), 2628-2636.
- Babahani, S. (2011). *Analyses biologique et agronomique de palmiers mâles et conduite de l'éclaircissage des fruits chez les cultivars Ghars et Deglet Nour* (Doctoral dissertation, ENSA).
- Baruah, D. C., et Bora, G. C. (2008). Energy demand forecast for mechanized agriculture in rural India. *Energy Policy*, 36 (7), 2628-2636.
- Bencheikh, A., et al., (2017). Sustainability evaluation of agricultural greenhouse structures in southern of Algeria using AHP, case of study: Biskra province. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 19 (1), 56-64.
- Brodth, S., Kramer, K. J., Kendall, A., etFeenstra, G. (2013). Comparing environmental impacts of regional and national-scale food supply chains: A case study of processed tomatoes. *Food Policy*, 42, 106-114.
- Bochu, J. L. (2002). PLANETE: Méthode pour l'analyse énergétique de l'exploitation agricole et l'évaluation des émissions de gaz à effet de serre. *Toulouse, Solagro*.
- Benkaci A.T., (2006). Modélisation pluie-débit mensuelle et journalière par les modèles conceptuels et les systèmes neuro-flous (application aux bassins algériens). Thèse doctorat

INA-Alger, El Harrach.

BELAROUSSI, M. E. (2019). Etude de la production du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) variété Deglet Nour: cas des régions de Oued Mya et Oued Righ (Doctoral dissertation, 2019).

Bliss D.E., Mathez F., 1946. The arkell date garden fertilizer experiment. Ann. Rep. Date Growers' Inst., 23 : 25-33.

Chao, C. T., et Krueger, R. R. (2007). The date palm (*Phoenix dactylifera* L.): overview of biology, uses, and cultivation. *HortScience*, 42(5), 1077-1082.

Contreras, A., Díaz, G., Gallardo, L., et Loaiza, R. (2010). Energy ratio analysis of genetically-optimized potato for ethanol production in the Chilean market. *Spanish journal of agricultural research*, (3), 559-569.

Djoudi, I. (2013). *Contribution à l'identification et à la caractérisation de quelques accessions du palmier dattier (Phoenix Dactylifera. l) dans la région de Biskra* (Doctoral dissertation, Université De Mohamed Khider Biskra).

Dreyfus G., Samuelides M., Martinez J., Gordon M., Badran F., Thiria S., Herault L., (2004). Réseaux de neurones - Méthodologies et applications. Editions Eyrolles, 200 p.

Demircan, V., Ekinci, K., Keener, H. M., Akbolat, D., et Ekinci, C. (2006). Energy and economic analysis of sweet cherry production in Turkey: a case study from Isparta province. *Energy Conversion and Management*, 47(13-14), 1761-1769.

D.S.A., Direction des services agricoles (2023). Les données statistiques de l'année.

Erdal, G., Esengün, K., Erdal, H., et Gündüz, O. (2007). Energy use and economical analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. *Energy*, 32(1), 35-41.

Elsoragaby, S., Yahya, A., Mahadi, M.R., Nawi, N.M., Mairghany, M., 2019. Energy utilization in major crop cultivation. *Energy* 173, 1285–1303.

Ghorbani, R., Mondani, F., Amirmoradi, S., Feizi, H., Khorramdel, S., Teimouri, M., et Gebhardt, S. E. (2002). Nutritive value of foods (No. 72). US Department of Agriculture, Agricultural Research Service.

Gazzaz N.M., Yusoff M.K., Aris A.Z., Juahir HetRamli M.F., 2012. Artificial neural network modeling of the water quality index for Kinta River (Malaysia) using water quality variables as predictors. *Marine Pollution Bulletin*, 64, 2409–2420.

Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Safarzadeh, D., Ahmadi, E., Nabavi-Pelesaraei, A., (2018). Optimization of energy consumption of dairy farms using data envelopment analysis\_A case

- study: Qazvin city of Iran. *J. Saud. Soc. Agric. Sci* 17, 217\_228.
- Heidari, M. D., et Omid, M. (2011). Energy use patterns and econometric models of major greenhouse vegetable productions in Iran. *Energy*, 36(1), 220-225.
- Hatirli, S. A., Ozkan, B., et Fert, C. (2006). Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production. *Renewable Energy*, 31(4), 427-438.
- Idder M.A., (2011). La lutte biologique en palmeraies algérienne cas de la cochenille blanche, la pyrale des dattes et du Boufaroua. Thèse doctorat, ENSA El Harrach Alger, Algérie, 140p.
- Jørgensen, S. E., et Gromiec, M. J. (Eds.). (2016). Developments in environmental modelling. 1st ed. Elsevier, pp. 27–28.
- Karkacier, O., Goktolga, Z. G., et Cicek, A. (2006). A regression analysis of the effect of energy use in agriculture. *Energy Policy*, 34(18), 3796-3800.
- Mohammadi, A., et Omid, M. (2010). Economical analysis and relation between energy inputs and yield of greenhouse cucumber production in Iran. *Applied energy*, 87(1), 191-196.
- Parizeau, M. (2004). Réseaux de neurones. *GIF-21140 et GIF-64326*, 124.
- Karkacier, O., Goktolga, Z. G., et Cicek, A. (2006). A regression analysis of the effect of energy use in agriculture. *Energy Policy*, 34(18), 3796-3800.
- Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., Yousefi, M., et Movahedi, M. (2013). Modeling of energy consumption and GHG (greenhouse gas) emissions in wheat production in Esfahan province of Iran using artificial neural networks. *Energy*, 52, 333-338.
- Khoshroo, A., et Izadikhah, M. (2019). Improving efficiency of farming products through benchmarking and data envelopment analysis. *International Journal of Management and Decision Making*, 18(1), 15-30.
- Khoshroo, A., Emrouznejad, A., Ghaffarizadeh, A., Kasraei, M., et Omid, M. (2018). Sensitivity analysis of energy inputs in crop production using artificial neural networks. *Journal of cleaner production*, 197, 992-998.
- Kizilaslan, H. (2009). Input–output energy analysis of cherries production in Tokat Province of Turkey. *Applied Energy*, 86(7-8), 1354-1358.
- Krid, K. (2018). *Efficiencie de l'ensachage des régimes et toilettage du palmier dattier Phoenix dactylefira Linné 1953 sur Ectomyelois ceratoniae Zeller (Lepidoptera: Pyralidae). Impact sur la qualité des dattes (Cultivar Deglet Nour)* (Doctoral dissertation, Université Kasdi Merbah–Ouargla).

- Medina, A., Cooman, A., Parrado, C. A., et Schrevens, E. (2006, October). Evaluation of energy use and some environmental impacts for greenhouse tomato production in the high altitude tropics. In *III International Symposium on Models for Plant Growth, Environmental Control and Farm Management in Protected Cultivation 718* (pp. 415-422).
- Mobtaker, H. G., Keyhani, A., Mohammadi, A., Rafiee, S., et Akram, A. (2010). Sensitivity analysis of energy inputs for barley production in Hamedan Province of Iran. *Agriculture, Ecosystems et Environment*, 137(3-4), 367-372.
- Mohammadi, A., et Omid, M. (2010a). Economical analysis and relation between energy inputs and yield of greenhouse cucumber production in Iran. *Applied Energy*, 87(1), 191-196.
- Mousavi-Avval SH, Rafiee S, Jafari A, Mohammadi A (2011). Energy flow modeling and sensitivity analysis of inputs for canola production in Iran. *J Clean Prod* 19:1464–1470.
- Nabavi-Pelesaraei, A., Rafiee, S., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., et Shamsirband, S. (2016). Modeling energy consumption and greenhouse gas emissions for kiwifruit production using artificial neural networks. *Journal of Cleaner Production*, 133, 924-931.
- Naderloo, L., Alimardani, R., Omid, M., Sarmadian, F., Javadikia, P., Torabi, M. Y., et Alimardani, F. (2012). Application of ANFIS to predict crop yield based on different energy inputs. *Measurement*, 45(6), 1406-1413.
- Olszewski, T., Ryniecki, A., et Boniecki, P. (2008). Neural network development for automatic identification of the endpoint of drying barley in bulk. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 53(1), 26-31.
- Ouamane, R. (2019). *Effet de la salinité des sols sur la production des dattes Essai de fertilisation phospho-potassique sur le palmier dattier dans la région des Ziban* (Doctoral dissertation, Université de Biskra).
- Ozkan, B., Akcaoz, H., et Fert, C. (2004b). Energy input–output analysis in Turkish agriculture. *Renewable energy*, 29(1), 39-51.
- Ozkan, B., Ceylan, R. F., et Kizilay, H. (2011). Energy inputs and crop yield relationships in greenhouse winter crop tomato production. *Renewable energy*, 36 (11), 3217-3221.
- Ozkan, B., Kurklu, A., et Akcaoz, H. (2004a). An input–output energy analysis in greenhouse vegetable production: a case study for Antalya region of Turkey. *Biomass and Bioenergy*, 26 (1), 89-95.
- Pahlavan, R., Omid, M., et Akram, A. (2012). Energy input-output analysis and application of artificial neural networks for predicting greenhouse basil production. *Energy*, 37(1), 171-176.

- Pastor-Bárceñas O., Soria-Olivas E., Martín-Guerrero J.D., Camps-Valls G., Carrasco-Rodriguez J.L., del Valle-Tascón S., 2005. Unbiased sensitivity analysis and pruning techniques in neural networks for surface ozone modelling. *Ecological Modelling*, 182 (2), 149–158.
- Pishgar-Komleh, S. H., Akram, A., Keyhani, A., Raei, M., Elshout, P. M. F., Huijbregts, M. A. J., et Van Zelm, R. (2017). Variability in the carbon footprint of open-field tomato production in Iran-A case study of Alborz and East-Azerbaijan provinces. *Journal of cleaner production*, 142, 1510-1517.
- Pishgar-Komleh, S.H., Ghahderijani, M., Sefeedpari, P., 2012. Energy consumption and CO2 emissions analysis of potato production based on different farm size levels in Iran. *J. Clean. Prod.* 33, 183\_191.
- Rafiee, S., Avval, S. H. M., et Mohammadi, A. (2010). Modeling and sensitivity analysis of energy inputs for apple production in Iran. *Energy*, 35(8), 3301-3306
- Rekis, A. (2021). *Conservation des ressources phytogénétiques en Algérie. Cas des palmiers dattiers cultivés et sub-spontanés (Phoenix dactylifera L.)* (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider de Biskra).
- Royan, M., Khojastehpour, M., Emadi, B., et Mobtaker, H. G. (2012). Investigation of energy inputs for peach production using sensitivity analysis in Iran. *Energy Conversion and Management*, 64, 441-446.
- Soltanali, H., Nikkhah, A., et Rohani, A. (2017). Energy audit of Iranian kiwifruit production using intelligent systems. *Energy*, 139, 646-654.
- Sedra, M. H. (2003). Le bayoud du palmier dattier en Afrique du Nord.
- Taheri-Rad, A., Khojastehpour, M., Rohani, A., Khoramdel, S., et Nikkhah, A. (2017). Energy flow modeling and predicting the yield of Iranian paddy cultivars using artificial neural networks. *Energy*, 135, 405-412.

### Site web

<https://www.fao.org/>

<https://madr.gov.dz/>

## Résumé

Il est devenu aujourd'hui inévitable de modéliser, que l'on recherche à analyser, comprendre ou prédire différents systèmes de production agricoles. Cependant, les systèmes de production phœnicicoles n'ont pas reçu la considération et l'attention qu'il mérite.

Dans ce travail, des réseaux de neurones artificiels (RNA) combinés à une analyse de sensibilité ont été appliqués pour prédire les rendements phœnicicoles et faire ressortir les intrants énergétiques et non énergétiques les plus influents sur la productivité. Les données d'entrée utilisées sont l'azote (N), le phosphore ( $P_2O_5$ ), le potassium ( $K_2O$ ), la main d'œuvre, la machinerie, le film plastique, les insecticides, les herbicides, le fumier (FYM), le carburant (fuel), l'électricité, l'eau d'irrigation, la densité de plantation, l'âge de la palmeraie, le niveau d'instruction et l'expérience de l'agriculteur ; la sortie est le rendement phœnicicole.

Les modèles ont été créés à l'aide de données collectées au hasard par une enquête en face à face auprès de 74 phœniculteurs dans la Wilaya de Biskra. Différents modèles de RNA ont été testés en faisant varier le nombre de neurones dans la couche cachée de 1 à 30. Sur la base de critères statistiques, la meilleure structure trouvée est 16-23-1. Ce modèle de RNA a été utilisé pour estimer les rendements phœnicicoles. Ensuite, les résultats du modèle RNA ont été comparés à ceux de la technique de régression linéaire multiple (MLR). Les résultats ont montré que le modèle de RNA fournissait des prédictions plus précises que la technique MLR avec des coefficients de corrélation de 0.9253, 0.9626 et 0.7983 pour l'ensemble de données, les phases d'entraînement (calage) et de validation, respectivement, alors que le coefficient de corrélation pour la RLM varie de 0.6040 à 0.6462.

L'analyse de sensibilité a révélé que l'azote (N), le film plastique (qui traduit indirectement du le nombre de régimes par hectare), le potassium ( $K_2O$ ), sont les intrants les plus influents sur les rendements phœnicicoles, suivis par le niveau d'instruction, l'âge palmeraie, le fumier, la main d'œuvre, l'herbicide, l'eau irrigation, la densité de plantation, la mécanisation, les insecticides, le fuel, l'électricité, l'expérience d'agriculteur et le phosphore, respectivement.

En conclusion, les RNA sont des outils simples et efficaces pour prédire les rendements phœnicicoles et faire sortir les informations sur les systèmes de production via une analyse de sensibilité.

**Mots-clés :** Palmier dattier; Réseaux de neurones artificiels; Régression linéaire multiple; Prédiction; Analyse de sensibilité.

## Abstract

It has become inevitable today to model and analyze various agricultural production systems, whether for understanding, analysis, or prediction purposes. However, date palm production systems have not received the consideration and attention they deserve.

In this study, artificial neural networks (ANNs) combined with sensitivity analysis were applied to predict date palm yields and identify the most influential energy and non-energy inputs on productivity. The input data used included nitrogen (N), phosphorus ( $P_2O_5$ ), potassium ( $K_2O$ ), Human labor, machinery, plastic film, insecticides, herbicides, farmyard manure (FYM), fuel, electricity, irrigation water, planting density, palm grove age, farmer's education level, and experience. The output was date palm yield.

The models were created using randomly collected data through face-to-face surveys with 74 date palm farmers in the Biskra province. Different ANN models were tested by varying the number of neurons in the hidden layer from 1 to 30. Based on statistical criteria, the best structure found was 16-23-1. This ANN model was used to estimate date palm yields. The results of the ANN model were then compared to those of the multiple linear regression (MLR) technique. The results showed that the ANN model provided more accurate predictions than MLR, with correlation coefficients of 0.9253, 0.9626, and 0.7983 for the entire dataset, training (calibration) phase, and validation phase, respectively, while the correlation coefficient for MLR ranged from 0.6040 to 0.6462.

Sensitivity analysis revealed that nitrogen (N), plastic film (which indirectly represents the number of bunches per hectare), and potassium ( $K_2O$ ) were the most influential inputs on date palm yields, followed by education level, palm grove age, manure, labor, herbicide, irrigation water, planting density, mechanization, insecticides, fuel, electricity, farmer's experience, and phosphorus, respectively.

In conclusion, ANNs are simple and effective tools for predicting date palm yields and obtaining information about production systems through sensitivity analysis.

**Keywords:** Date palm; Artificial neural networks; Multiple linear regression; Prediction; Sensitivity analysis.

## ملخص

أصبح من الضروري اليوم نمذجة وتحليل مختلف أنظمة إنتاج الزراعة، سواء لغرض الفهم والتحليل أو التنبؤ. ومع ذلك، لم تحظ أنظمة إنتاج نخيل التمر بالاعتبار والاهتمام الذي تستحقه.

في هذه الدراسة، تم استخدام الشبكات العصبية الاصطناعية (ANNs) بالاشتراك مع تحليل الحساسية لتوقع إنتاجية نخيل التمر وتحديد العوامل الطاقوية وغير الطاقوية الأكثر تأثيرًا على الإنتاجية. تضمنت تبيانات الإدخال النيتروجين (N) والفسفور ( $P_2O_5$ ) والبوتاسيوم ( $K_2O$ ) والعمالة والآلات والأفلام البلاستيكية ومبيدات الأعشاب الضارة والمبيدات الحشرية والسماد العضوي والوقود والكهرباء ومياه الري وكثافة الزراعة وعمر حقل النخيل ومستوى تعليم الفلاح وخبرته والوقود والكهرباء ومياه الري وكثافة الزراعة وعمر حقل النخيل ومستوى تعليم الفلاح والخبرة. وكانت المخرجات إنتاجية نخيل التمر.

تم إنشاء النماذج باستخدام بيانات تم جمعها عشوائيًا من خلال مسوحات وجهًا لوجه مع 74 مزارع نخيل التمر في محافظة بسكرة. تم اختبار نماذج مختلفة لشبكات الأعصاب الاصطناعية من خلال تغيير عدد الخلايا العصبية في الطبقة المخفية من 1 إلى 30. بناءً على المعايير الإحصائية، تم العثور على أفضل هيكل هو 16-23-1. تم استخدام هذا النموذج ANN لتقدير إنتاج نخيل التمر. ثم تم مقارنة نتائج نموذج ANN مع تقنية الانحدار الخطي المتعدد (MLR). أظهرت النتائج أن نموذج ANN قدم توقعات أكثر دقة من MLR، بمعاملات ارتباط بلغت 0.9253 و 0.9626 و 0.7983 على التوالي لمجموعة البيانات بأكملها ومرحلة التدريب (المعايرة) ومرحلة التحقق، بينما تراوح معامل الارتباط لـ MLR من 0.6040 إلى 0.6462.

كشفت تحليل الحساسية أن النيتروجين (N) والأكاسيد البلاستيكية (التي تعكس بطريقة غير مباشرة عدد العناقيد في الهكتار) والبوتاسيوم ( $K_2O$ ) هي العوامل الأكثر تأثيرًا على إنتاجية نخيل التمر، تليها مستوى التعليم وعمر حقل النخيل والسماد العضوي والعمالة ومبيد الأعشاب ومياه الري وكثافة الزراعة والآلية والمبيدات الحشرية والوقود والكهرباء وخبرة الفلاح والفسفور على التوالي.

في الختام، تعد شبكات الأعصاب الاصطناعية أدوات بسيطة وفعالة لتوقع إنتاجية نخيل التمر والحصول على معلومات حول أنظمة الإنتاج من خلال تحليل الحساسية.

**الكلمات المفتاحية:** نخيل التمر؛ شبكات الأعصاب الاصطناعية؛ الانحدار الخطي المتعدد؛ التوقع؛ تحليل الحساسية.