

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENTS SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOUD MAMMERIDE TIZI OUZOU
FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES
AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT DE BIOCHIMIE ET MICROBIOLOGIE



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du Diplôme de Master en Biotechnologies

Spécialité : Biotechnologie et Valorisation des Plantes

Thème

**Etude de l'effet du travail du sol sur la mycorhization du
blé dur *Triticum durum* Desf.**

Réalisé par : Mlle DAOUI Meriem

Le 14/12/2021

Devant le jury :

Président : M. HADJ MOHAND

MAA à l'UMMTO

Promotrice : Mme BOUDIAF NAIT-KACI M.

Pr à l'UMMTO.

Co-promotrice : Mme SMAIL-SAADOUN N.

Pr à l'UMMTO

Examineur 1 : Melle ZAREB A.

MAA à l'UMMTO

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer toute ma gratitude et mes remerciements à mon enseignante et ma promotrice Mme BOUDIAF NAIT-KACI M. pour tout le temps qu'elle m'a accordé et d'avoir cru en moi. Je vous remercie sincèrement pour tout le soutien que vous m'aviez accordé, vos encouragements ont su me remettre sur le droit chemin dans les moments où le moral n'était pas au rendez-vous. Que Dieu vous accueille dans son vaste paradis.

Je remercie également ma Co-promotrice : Mme SMAIL-SAADOUN N. pour m'avoir suivi et apporté conseils pour la rédaction de ce travail.

J'adresse mes remerciements :

Au président du jury M. HADJ MOHAND MAA à l'UMMTO, de m'avoir fait l'honneur d'accepter de présider le jury.

A Melle ZAREB A. MAA à l'UMMTO d'avoir honoré en acceptant de juger ce travail.

Je dédie ce travail à mes parents

A Mme BOUDIAF NAIT-KACI M.

Et à mon amie Sabrina

LISTE DES ABREVIATIONS

AC : agriculture de conservation

APP : appareil de pré-pénétration

CMA : champignons mycorhiziens arbusculaires

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

ITGC : Institut Technique des Grandes Cultures

K : Potassium

MADR : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural

MOS : matière organique du sol

N : Azote

ONFAA : Observatoire National des Filières Agricoles et Agroalimentaires

P : Phosphore

SAU : surface agricole utile

SD : semis direct.

LISTE DES FIGURES

| | |
|---|----|
| Figure 1 : Localisation de la domestication des blés dans le croissant fertile | 5 |
| Figure 2 : Description d'un polymère de blé et de ses composants | 7 |
| Figure 3 : Anatomie d'un épi de blé..... | 8 |
| Figure 4 : Anatomie schématique du grain de blé et proportion relative des principaux tissus du grain. | 9 |
| Figure 5 : Stades phénologiques de développement du blé | 11 |
| Figure 6 : Production moyenne des céréales en Algérie (2000- 2017)..... | 19 |
| Figure 7 : Schéma des différentes étapes de colonisation des champignons mycorhiziens arbusculaires | 31 |
| Figure 8 : Structures de colonisation des champignons ectomycorhiziens et endomycorhiziens à arbuscules..... | 32 |
| Figure 9 : Représentation schématique de l'effet du mycélium des champignons mycorhiziens à arbuscule sur la formation et la stabilisation d'agrégats de sol | 34 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|--|----|
| Tableau 1 : Classification botanique du blé dur | 6 |
| Tableau 2 : distribution histologique des principaux constituants du grain de blé | 12 |
| Tableau 3 : Caractéristiques et origine des principales variétés de blé dur en Algérie | 21 |

TABLE DES MATIERES

Liste des figures

Liste des tableaux

| | |
|--|-----------|
| INTRODUCTION GENERALE..... | 1 |
| Chapitre 1 : Etude de la plante..... | 3 |
| 1. Historique et origine génétique du blé..... | 4 |
| 2. Classification | 6 |
| 3. Description botanique | 6 |
| 3.1. Appareil végétatif..... | 6 |
| 3.2. Appareil reproducteur..... | 7 |
| 4. Stades phénologiques du blé dur | 8 |
| 4.1. Période végétative | 8 |
| 4.1.1. Germination (Levée) | 8 |
| 4.1.2. Tallage | 9 |
| 4.2. Période reproductrice | 9 |
| 4.2.1. Montaison gonflement..... | 9 |
| 4.2.2. Epiaison floraison | 9 |
| 4.2.3. Remplissage du grain | 10 |
| 4.2.4. Maturation..... | 11 |
| 5. Composition chimique du grain de blé..... | 11 |
| 6. Exigences du blé dur..... | 12 |
| 6.1. Exigences pédoclimatiques..... | 12 |
| 6.1.1. Température | 12 |
| 6.1.2. Eau | 12 |
| 6.1.3. Lumière | 12 |
| 6.1.4. Sol | 13 |
| 6.2. Exigences culturales | 13 |
| 6.2.1. Préparation du sol | 13 |
| 6.2.2. Semis | 13 |
| 6.2.3. Fertilisation | 13 |
| 7. Valeur nutritionnelle du blé dur | 15 |
| Chapitre 2: Céréaliculture..... | 16 |
| 1. Introduction..... | 17 |
| 2. Production de blé en Algérie | 18 |
| 2.1. Situation agronomique | 18 |
| 2.2. Zone de production | 19 |
| 2.3. Contraintes biotiques et abiotiques de la production de blé | 19 |
| 3. Principales variétés du blé dur | 21 |

| | |
|---|-----------|
| Chapitre 3 : Techniques culturales : Travail conventionnel avec labour ou semis direct | 23 |
| 1. Introduction..... | 24 |
| 2. Effets des techniques culturales sur le rendement | 25 |
| Chapitre 4 : Mycorhization du blé dur..... | 27 |
| 1. Symbiose mycorhizienne | 28 |
| 1.1. Endomycorhize..... | 29 |
| 1.1.1. Mycorhize vésiculaire et arbusculaire..... | 29 |
| 1.2. Ectomycorhize..... | 31 |
| 2. Rôle de la symbiose mycorhizienne arbusculaire dans la croissance et le développement de la plante | 33 |
| 3. Champignons mycorhiziens du blé dur..... | 34 |
| 4. Effet du système de culture sur la diversité des CMA | 35 |
| 5. Biodiversité et potentiel agricole | 36 |
| Conclusion générale | 37 |
| Références bibliographiques | 39 |

Introduction générale

Le blé est la première céréale cultivée dans le monde. Cette denrée tant appréciée, représente l'une des plus importantes ressources alimentaires de l'Homme. Outre son importance économique et sociale, elle est aussi la principale source nutritive en Algérie (Jouve *et al.*, 1995). Pour répondre à une demande intérieure croissante, l'Algérie produit 2 millions de tonnes de blé dur et importe presque la même quantité (1,7 million de tonnes, moyenne 2011-2015) (Kirouani *et al.*, 2018). En dépit des progrès nationaux, les rendements des céréales en général et du blé en particulier demeure faibles et très irréguliers. Cette faible productivité est due à des contraintes d'ordre abiotiques (sécheresse, températures élevées et salinité), biotiques et humaines (techniques culturales appliqués) (Hamadache *et al.*, 2002).

La préparation du sol est l'une des plus importantes opérations dans l'itinéraire technique, elle vise à améliorer les conditions favorables à la croissance des plantes. Les agriculteurs comptent plusieurs options de travail du sol, lesquelles peuvent toutes être classées dans un des trois principaux systèmes de travail du sol : le semis direct, le travail minimum du sol, et le travail conventionnel du sol. Ce dernier modifie les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol et rend le sol plus vulnérable à l'érosion et affecte la survie des champignons mycorhiziens (Kabir, 2005). Tous ces problèmes, ajouter à cela le coût économique, ont incité à adopter des pratiques de labour de conservation durables tels que le semis direct. Comparativement aux autres pratiques de travail du sol, le semis direct procure plusieurs avantages économiques, environnementaux et agronomiques. Cette pratique permet de protéger les sols, en améliorant les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol du sol (Kabir, 2005).

La plupart des recherches sur le blé dur sont menées pour augmenter sa productivité. Ces dernières années, plusieurs méthodes ont été utilisées, y compris l'utilisation de micro-organismes. Les champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA) semblent jouer un rôle important dans les plantes dans diverses conditions de sol (Nadji *et al.*, 2017). Le passage d'une agriculture conventionnelle à une agriculture durable à faible niveau d'intrants exige une gestion d'un système plus complexe dont les CMA constituent un élément clé (Sieverding, 1991 ; Kabir, 2005).

L'objectif de ce travail est d'expliquer comment les pratiques en matière de travail du sol affectent la richesse des espèces de champignons mycorhiziens symbiotiques du blé dur *Triticum turgidum* Desf. et leur effet sur le rendement en grain.

Pour cela, nous avons subdivisé ce mémoire en 4 chapitres:

- ❖ le chapitre 1 dans lequel nous avons détaillé l'origine génétique et la botanique du blé dur ;
- ❖ le chapitre 2 dans lequel nous avons décrit l'état de la céréaliculture en Algérie ;
- ❖ le chapitre 3 dans lequel nous avons détaillé l'effet des techniques culturales sur le rendement ;
- ❖ le chapitre 4 dans lequel nous avons détaillé l'effet du travail du sol sur les champignons mycorhiziens du blé dur ;
- ❖ Nous avons terminé le travail par une conclusion.

Chapitre 1. Etude de la plante

1. Historique et origine génétique du blé

Le blé dur (*Triticum turgidum* ssp. *durum* Desf.) est l'une de ces céréales connue depuis l'antiquité (Ruel, 2006). C'est un allo tétraploïde ($2n = 28$, AABB) qui a pour origine l'hybridation suivie d'un doublement chromosomique spontané entre *Triticum urartu* (génome AA) et une espèce voisine, *Aegilops speltoides* (génome BB) (Huang et al., 2002). Il provient des territoires de la Turquie, de la Syrie, de l'Iraq et de l'Iran (Feldman, 2001). Sa culture se situerait, selon les archéologues, entre 8900 et 7000 av. J.-C. Ceci correspond au début de la période du Dryas qui fut localement un épisode climatique de sécheresse et de refroidissement, qui a pu aboutir à l'arrêt progressif du mode de vie «chasseur-cueilleur» et entraîner la domestication de certaines plantes - dont les blés - et, via le stockage de ressources alimentaires, la création de premières communautés villageoises (Hayden, 1990 ; Wadley & Martin, 1993).

En ce qui concerne la localisation de la domestication des blés, la plupart des recherches archéologiques ont confirmé que son origine se situe dans les zones du croissant fertile (Figure 1) (Bonjean, 2001).

L'expansion de la culture des blés à partir du Croissant fertile au cours des huitièmes et septième millénaires avant l'an 2000 a suivi plusieurs voies de diffusion vers l'Afrique du nord. La route la plus ancienne gagna l'Égypte vers – 6 000 ans avant aujourd'hui et se poursuivit vers la Libye à l'Est. D'autres voies d'introduction furent maritimes à partir du Sud de l'Italie et de la Sicile, parvinrent aux côtes de la Tunisie, du Maroc et de l'Algérie (Feldman, 2001 ; Bonjean, 2001).

On considère généralement que la culture du blé dur a commencé et s'est développée en Algérie après la conquête arabe. La plupart des auteurs s'accordent à dire que la céréaliculture algérienne a été dominée par le blé dur depuis cette date et jusqu'à la colonisation française. (Laumont & Erroux, 1961). La mise au point de méthodes analogues au «dry farming», l'emploi des engrais phosphatés, la reprise de la colonisation dans l'intérieur, puis la mise en circulation de semences sélectionnées et la découverte de variétés nouvelles, la mécanisation de la culture enfin ont amené une nouvelle extension des champs de blé sur les Hautes plaines constantinoises et en bordure des steppes. Mais le climat défavorable et les méthodes de production encore anarchiques n'ont pas permis une augmentation sensible des rendements moyens. (Despois, 1951).

Alors que, pendant longtemps, la culture de l'orge a été plus étendue que celle du blé, celle-ci l'emporte, et de façon croissante, depuis le début du XXe siècle. C'est le résultat non seulement des progrès de la culture européenne qui s'intéresse de moins en moins à l'orge, de moindre valeur commerciale (Despois, 1951).

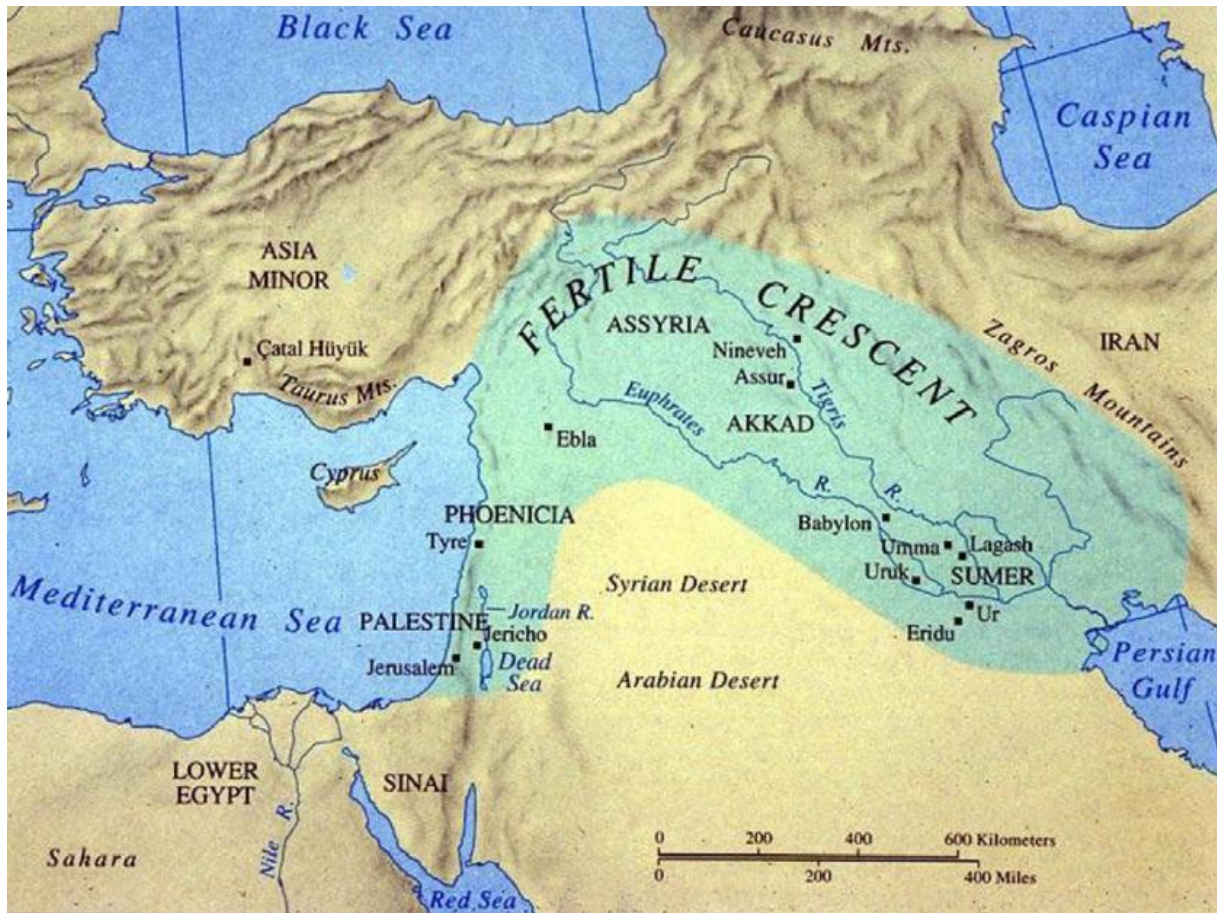


Figure 1. Localisation de la domestication des blés dans le croissant fertile (vert)
<http://resourcesforhistoryteachers.wikispaces.com/7.7>

La culture du blé a historiquement entraîné trois grands types de modifications :

La première phase a été une étape de transition entre collecte manuelle d'espèces sauvages dans leur habitat originel et l'apparition des premiers champs cultivés (Bonjean, 2001). Le gène Q est le gène responsable de la diffusion de la culture du blé. La mutation de ce gène a engendré l'allèle Q. Celui-ci influence de manière pléiotropique de nombreux caractères liés à la domestication (Simons, 2006), tels que des glumes souples (Singh, 1969), un rachis solide (Jantasuriyarat et al., 2004), des épis compacts (Muramatsu, 1963) et un caractère de battage libre. Comparé à l'allèle originel q qui confère un épi cassant, des glumes tenaces, des rachis fragiles et des graines qui ne se battent pas librement (Simons, 2006).

La seconde phase a commencé une fois la domestication des blés est effectuée à la moitié du XIXe siècle. Le blé s'est adapté à de nouveaux climats, souvent extrêmes ce qui a engendré une diversification de type printemps à type hiver (Bonjean & Picard, 1990 ; Bonjean, 2000).

Dans l'histoire de la culture du blé, le XIXe siècle s'annonce comme le temps du grand virage vers la modernité. Des agriculteurs vont se spécialiser dans la sélection de variétés nouvelles. La découverte de la sélection généalogique a ouvert la voie de l'amélioration génétique moderne du blé (Bonjean & Picard, 1990 ; Bonjean & Leblond,

2000). Cette méthode est également appelée sélection individuelle ou sélection par la méthode de lignées pures ou pedigree. Elle est utilisée surtout pour l'amélioration des plantes autogames (Zahour, 1992). Cette méthode consiste à choisir des individus dans une population hétérogène et procéder ensuite à l'étude des descendance en autofécondation en suivant la filiation généalogique de chaque individu (plante ou épis par ligne), d'où le nom de sélection généalogique (Demarly et Sibi, 1996). Cette découverte va aboutir à l'augmentation de la productivité et une réponse renforcée aux engrais (Bonjean, 2001).

Cette histoire d'évolution des blés n'est, en effet, pas fixe. Diverses technologies issues de l'informatique ont permis d'aller plus loin dans l'analyse du vivant. L'analyse des génomes et la compréhension de leur fonctionnement a permis une amélioration prodigieuse de la qualité et la productivité des blés (Bonjean, 2001).

2. Classification

Le blé dur est une plante herbacée appartenant au groupe des céréales à paille. C'est une monocotylédone classée de la manière suivante (Naville, 2005) (Tableau 1) :

Tableau 1 : Classification botanique du blé dur (Naville, 2005).

| | |
|--------------------|-----------------------------|
| Règne | Plantae |
| Sous-règne | Cormophyte |
| Embranchement | Spermaphytes |
| Sous embranchement | Angiospermes |
| Classe | Monocotylédones |
| Ordre | Commélini florales |
| Sous ordre | Poales |
| Famille | Graminées |
| Tribu | Triticées |
| Genre | <i>Triticum</i> |
| Espèce | <i>Triticum durum</i> Desf. |

3. Description botanique

3.1. Appareil végétatif

Le blé possède deux types de racines au cours de son développement, les racines séminales ou primaires issues de l'embryon, et les racines secondaires ou adventives propres aux talles secondaires. Les racines secondaires assurent dès le second mois, la plus grande partie de la nutrition de la plante (Moule, 1971 ; Hamadache, 2001).

Selon Belaid (1986), la tige du blé dur est cylindrique, interrompu par des nœuds, d'où émerge une longue feuille, séparés par des entre-nœuds pleins. La tige principale, appelée maitre brin, se développe à la base de la plante et les tiges secondaires appelées talles (Gate, 1995).

Les feuilles sont alternes, lancéolées à nervures parallèles formées de deux parties (figure 2.) : La partie inférieure qui correspond à la gaine qui entoure la tige et permet d'attacher le limbe au nœud, et la partie supérieure en forme de lame (le limbe) (Belaid, 1996). Les feuilles portent à leur jonction avec la gaine des oreillettes ou stipules vêtues et une ligule (Moule, 1971). L'ensemble du nœud, de l'entre nœud, de la feuille et du bourgeon axillaire forme un phytomère. Chez toutes les graminées la présence et la forme des oreillettes ou stipules et de la ligule, permet de déterminer l'espèce avant l'apparition de l'épi (Soltner, 1999).

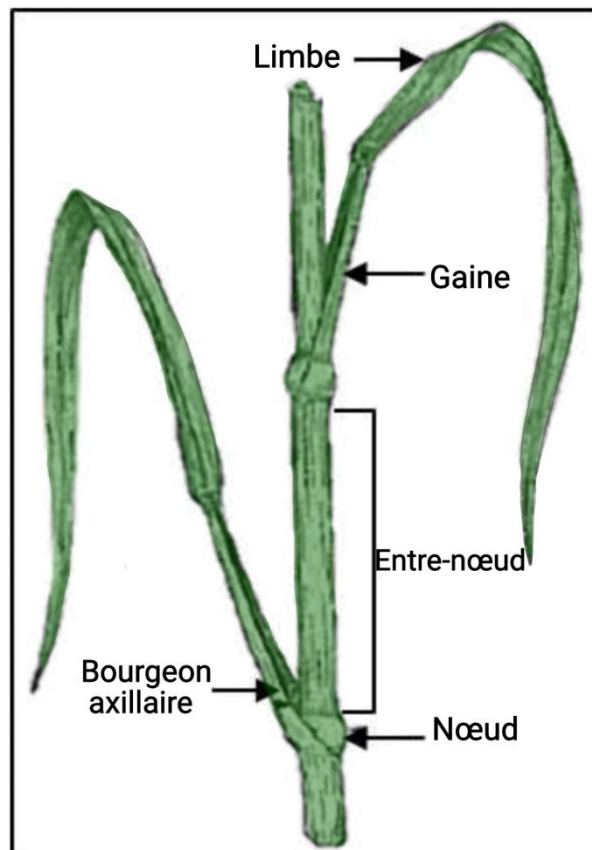


Figure 2. Description d'un phytomère de blé et de ses composants (Moore & Moser, 1995).

3.2.Appareil reproducteur

Les fleurs sont groupées en inflorescences de type épi, constitué d'un ensemble d'unités appelées : épillets. L'épillet est une petite grappe de une à cinq fleurs enveloppées chacune par deux glumelles (inférieures et supérieures) (Figure.3) (Moule, 1971). L'épi est constitué d'un axe appelé le rachis sur le quel sont fixés les épillets (Belaid, 1996). Ces derniers à leur tour se composent d'un axe, appelé rachillet, inséré dans l'inflorescence principale (Boulal et *al.*, 2007).

Le blé est une plante autogame où à autofécondation, c'est-à-dire que la fécondation a lieu à l'intérieur des glumelles, avant que les étamines n'apparaissent à l'extérieur (Soltner, 1999).

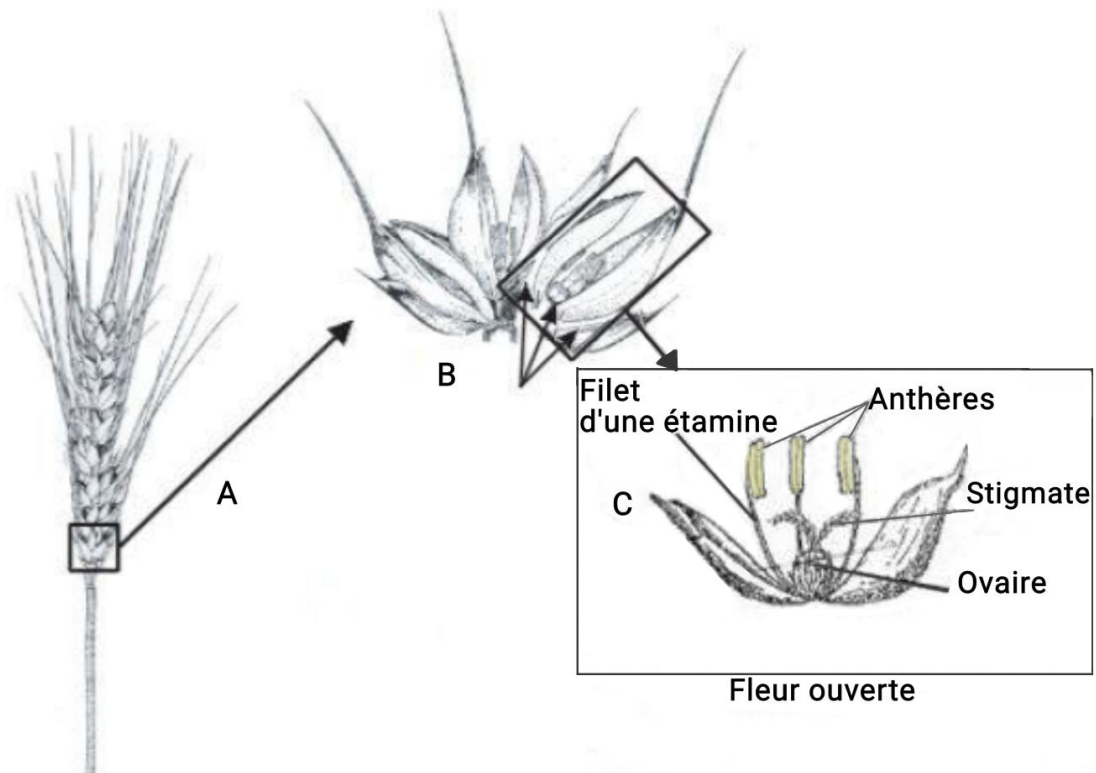


Figure 3. Anatomie d'un épi de blé (Heiser, 1990).

A. Epi composé de plusieurs épillets possédant plusieurs fleurs ; B. Epillet à trois fleurs ; C. Composantes d'une fleur.

D'après Soltner (1999) ; Feillet (2000) et Ferreira (2011), le grain de blé est un caryopse. Ce fruit sec indéhiscent à maturité, est constitué d'une seule graine et de téguments. Le caryopse de blé est nu (les glumelles n'adhèrent pas au caryopse). (Figure 4)

Selon Maciejewski (1991) et Surget & Barron (2005) le caryopse est constitué de :

- l'enveloppe du fruit ou péricarpe, soudée au tégument de la graine;
- l'albumen constitue presque tout l'intérieur du grain et se compose principalement d'amidon (80%) ;
- l'embryon (3% du poids du grain) qui comprend le coléoptile (gaine protectrice de la tige de la plantule), l'ébauche de feuilles, la radicule et la coléorhize (gaine protectrice des racines);
- le scutellum ou cotylédon, appliqué contre l'albumen et absorbant les éléments nutritifs lors de la germination.

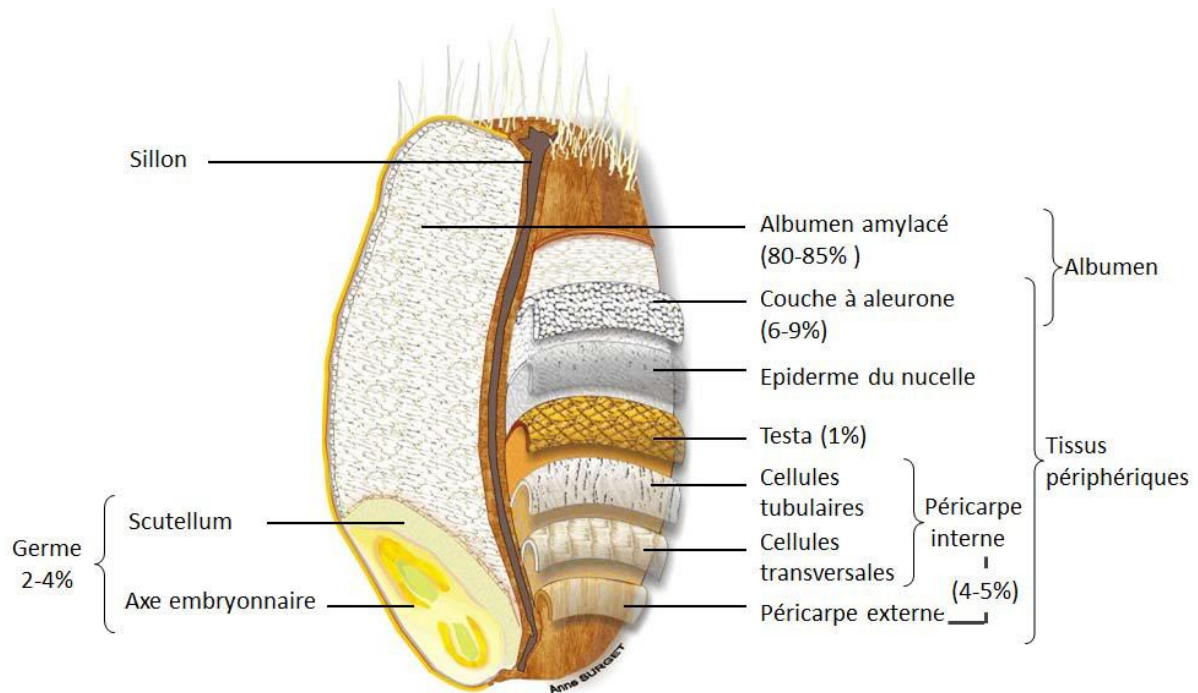


Figure 4. Anatomie schématique du grain de blé et proportion relative des principaux tissus du grain (Surget & Barron, 2005).

4. Stades phénologiques du blé dur

Le cycle végétatif du blé est une succession de périodes subdivisées en phases et en stades (Figure.5). La connaissance et l'identification précise de chaque phase, sont indispensables pour contrôler les interventions culturales et tirer le maximum de chacune d'elles (Gate & Giban 2003).

Différentes échelles de notation ont été développées portant soit sur des changements d'aspect externe, soit sur les modifications d'aspect interne des organes producteurs.

Par ailleurs, le développement physiologique de la plante passe par les stades suivants :

3.1. Période végétative

Elle se caractérise par un développement strictement herbacé et s'étend de la germination à l'ébauche de l'épi.

3.1.1. Stade levée

Le blé germe dès que la température dépasse le zéro de germination (0 °C) (Moule, 1971). La levée est notée lorsque 50% des plantes sont sorties de la terre. Durant cette première phase le blé va être très sensible aux conditions climatiques (Belaid, 1996).

Elle débute par le passage de la graine de l'état de vie ralentie à l'état de vie active au cours de la germination qui est caractérisée par l'émergence du coléorhize donnant naissance à des racines séminales et par la croissance du coléoptile, manchon qui perfore le sol et protège la première feuille fonctionnelle. Ensuite ce coléoptile s'arrête de croître et se dessèche (Clément, 1981 ; Laffont, 1985 ; Soltner, 2005).

Selon Maciejewski (1991) ; Gate (1995) ; Belaid (1996) et Soltner (1999), le stade levée englobe trois étapes successives :

- la germination débute avec l'imbibition de la graine en eau et correspond à l'entrée de la semence en vie active et au tout début de croissance de l'embryon, marque le passage à vie autotrophe grâce à la chlorophylle contenue dans la première feuille ;
- l'élongation du coléoptile, premier organe du système aérien à émerger à la surface du sol ;
- la croissance de la première feuille qui perce en son sommet le coléoptile.

3.1.2. Tallage

La production de talles commence à l'issue du développement de la troisième feuille (Moule, 1971). L'apparition de ces talles se fait à un rythme régulier à celui de l'émission des feuilles. A partir des bourgeons situés à l'aisselle des talles primaires initiées à la base du brin maître, les talles secondaires peuvent apparaître et être susceptibles d'émettre des talles tertiaires (Austin & Jones, 1975). Le nombre de talles produites dépend de la variété, du climat, de l'alimentation minérale et hydrique de la plante, ainsi que de la densité de semis (Masle-Meynard, 1980).

4.2. Période reproductrice

4.2.1. Montaison (gonflement)

La montaison est caractérisée par l'allongement des entre-nœuds et la différenciation des pièces florales. Pendant cette phase de croissance active : les besoins en éléments nutritifs notamment en azote sont accrus (Grancourt & Prats, 1971). La montaison s'achève à la fin de l'émission de la dernière feuille et des manifestations du gonflement que provoquent les épis dans la gaine.

4.2.2. Epiaison floraison

Elle est marquée par la méiose pollinique et l'éclatement de la gaine avec l'émergence de l'épi. C'est au cours de cette phase que s'achève la formation des organes floraux (l'anthèse) et s'effectue la fécondation. Cette phase est atteinte quand 50 % des épis sont à moitié sortis de la gaine de la dernière feuille (Gate, 1995).

4.2.3. Remplissage du grain

Cette phase marque la modification du fonctionnement de la plante qui sera alors orienté vers le remplissage des grains à partir de la biomasse produite. Les besoins des grains sont inférieurs à ce que fournissent les parties aériennes (plus de $\frac{3}{4}$ de la matière sèche sont stockés au niveau des tiges et des feuilles). Par la suite, les besoins augmentent et le poids des grains dans l'épi s'élève, alors que la matière sèche des parties aériennes diminue progressivement (Gate, 1995).

4.2.4. Maturation du grain

La phase de maturation correspond à la phase au cours de laquelle le grain perd progressivement son humidité. Elle débute à la fin du palier hydrique marqué par la stabilité de la teneur en eau du grain pendant 10 à 15 jours. Au-delà de cette période, le grain ne perdra que l'excès d'eau qu'il contient et passera progressivement aux stades « rayable à l'angle » (20 % d'humidité) puis « cassant sous la dent » (15 % d'humidité) (Gate, 1995).

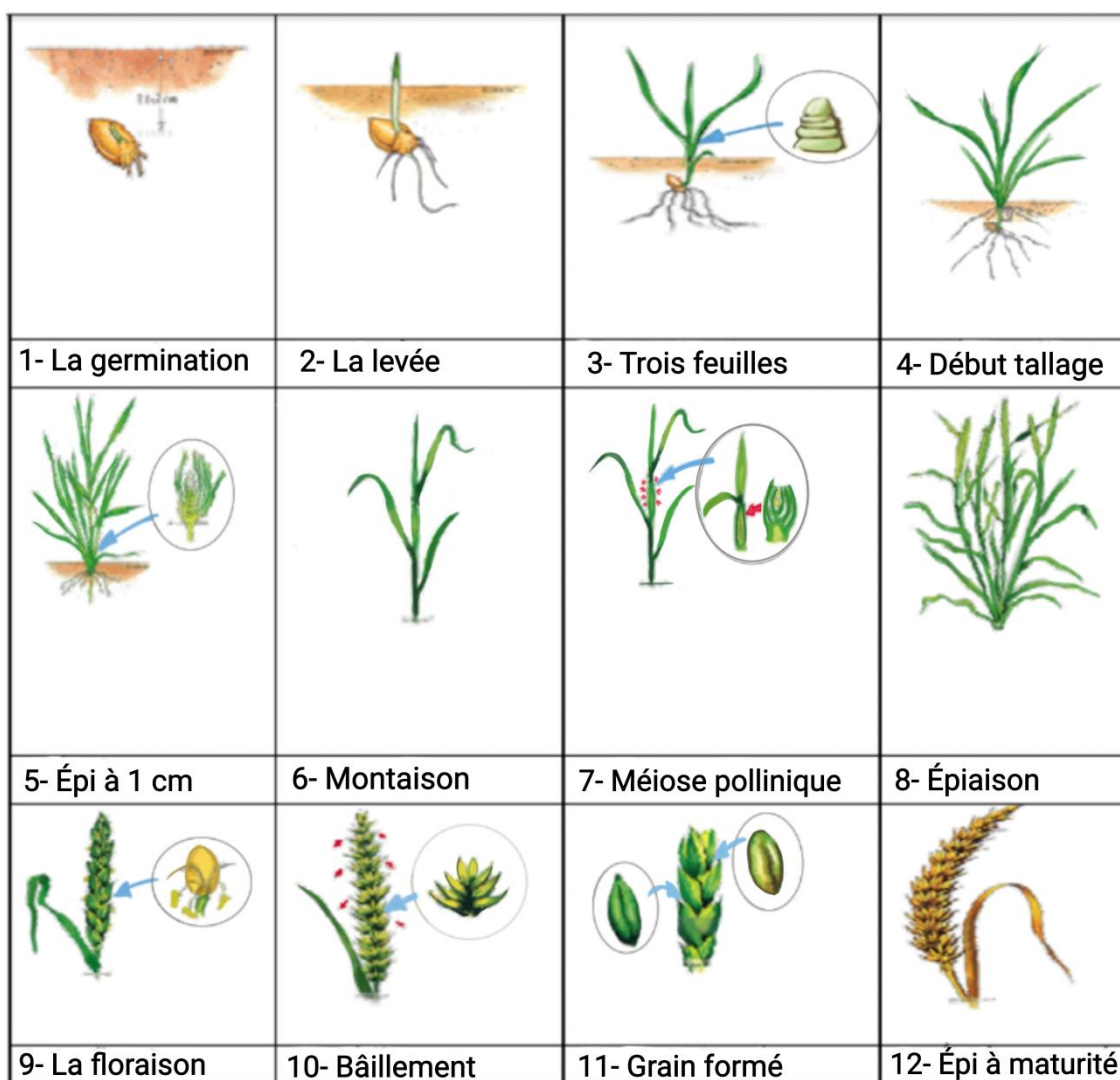


Figure 5. Stades phénologiques de développement du blé (Source : blé hybride HYNO ongllet "le blé en général")

5. Composition chimique du grain de blé

Le grain de blé est principalement constitué d'amidon (environ 70%), de protéines (10 à 15%), selon les variétés et les conditions de culture). Les autres constituants, pondéralement sont mineurs (quelques % seulement), sont les lipides, la cellulose, les sucres libres, les minéraux et les vitamines (Feillet, 2000). Ils sont ainsi une bonne source de minéraux (et plus spécifiquement de magnésium) (Demirbas, 2005), de vitamines du groupe B, et contiennent

des molécules ayant des activités d'intérêt (vitamine E, composés anti-oxydants, phyto-oestrogènes) (Favier *et al.*, 1995). Ces constituants se répartissent de manière inégale au sein des différentes fractions histologiques du grain (Tableau 2).

Tableau 2. Distribution histologique des principaux constituants du grain de blé d'après Feillet (2000).

| Parties du Grain Constituants | (%) péricarpe | (%) aleurone | (%) albumen | (%) germe |
|----------------------------------|---------------|--------------|-------------|-----------|
| Amidon | 0 | 0 | 82 | 0 |
| Protéines | 10 | 30 | 12 | 31 |
| Lipides | 0 | 9 | 2 | 12 |
| Sucres réducteurs | 0 | 0 | 1.8 | 30 |
| Pentosanes | 43 | 46 | 1.6 | 7 |
| Cellulose | 40 | 3 | 0.1 | 2 |
| Minéraux | 7 | 12 | 0.5 | 6 |

6. Exigences du blé

6.1. Exigences pédoclimatiques

6.1.1. Température

La température conditionne à tout moment la physiologie de blé selon le zéro de végétation et de germination : la température à partir de laquelle un blé germe et pousse, est de 0°C. Cependant l'optimum se situe entre 20 et 22°C entre ces deux extrêmes, une température élevée sera favorable au développement et à la croissance (Simon *et al.*, 1989). Selon Simon *et al.* (1989), une température élevée est favorable au développement et à la croissance, cependant, Baldy (1983) ajoute que les fortes températures provoquent une levée trop rapide et parfois un déséquilibre entre la partie aérienne et la partie souterraine.

6.1.2. Eau

L'eau constitue le véhicule des éléments nutritifs avec lequel s'effectuent les différentes réactions métaboliques, ce qui le rend par conséquent indispensable pour le développement et la croissance de la plante (Soltner, 1990). On exprime souvent le besoin en eau par la quantité d'eau utilisée par la plante pour fabriquer une unité (un kilogramme, par exemple) de matière sèche. Le blé des besoins en eau de l'ordre de 500 à 550 kg d'eau pour un kilogramme de matière sèche (un kilogramme d'eau représente sur 1 m² une hauteur de 1mm) (Boyeldieu, 1997).

6.1.3. Lumière

Comme pour les autres facteurs, le blé a des exigences déterminées en lumière. L'insuffisance de lumière entraîne l'étiollement des feuilles, l'affaiblissement des tiges et enfin la verse. C'est surtout la densité du semis qui est en rapport direct avec l'intensité de lumière nécessaire et la possibilité de verse. Un peuplement très dense diminue l'éclairement et provoque la verse.

6.1.4. Sol

Pour bien réussir, le blé exige du sol certaines conditions bien précises. Il réussit très bien dans les sols fertiles, de bonne constitution et d'une réaction (pH) neutre. Afin que les racines puissent se développer convenablement et utiliser la fertilité du sol, celui-ci doit être bien ameubli et profond. D'après Grancourt & Prats (1971), les textures idéales sont : Limoneuses, argilo-siliceuse et argilo-calcaire, riche en éléments fertilisants et sable, à pH approchant de la neutralité. Selon Soltner (2000), trois caractéristiques font la bonne «terre à blé» :

- une texture fine: limono argileuse, qui assurera aux racines fasciculées du blé une grande surface de contact, et permettra une bonne nutrition ;
- une structure stable, qui résiste à la dégradation par les pluies d'hiver ;
- une bonne profondeur, et une richesse suffisante en colloïdes afin d'assurer la bonne nutrition nécessaire aux grands rendements.

6.2. Exigences culturales

6.2.1. Préparation du sol

Le blé nécessite un sol bien préparé et ameubli sur une profondeur de 12 à 15 cm pour les terres patentes (limoneuse en générale), ou de 20 à 25 cm pour les autres terres. Le sol doit être légèrement motteux et suffisamment tassé en profondeur, une structure fine en surface pour permettre un semis régulier et peu profond (Grancourt & Prats, 1970).

6.2.2. Semis

La date de semis est un facteur limitant vis-à-vis du rendement. C'est pourquoi la date propre à chaque région doit être respectée sérieusement pour éviter les méfaits climatiques. En Algérie, il peut commencer dès la fin d'octobre avec un écartement entre les lignes de 15 à 25 cm et une profondeur de semis de 2,5 à 3 cm (Chabi *et al.*, 1992)

6.2.3. Fertilisation

La pratique d'une fertilisation raisonnée permet l'augmentation du rendement. Sa maîtrise est essentielle à l'amélioration de la production (Guennouni, 2017). Par ailleurs, il faut répondre aux besoins de la culture en fonction du moment de la saison où sont rencontrés ces besoins (Brulsema *et al.*, 2016).

- **Azote**

L'azote est un élément nutritif indispensable pour la croissance et le développement du blé. C'est le pivot de la production de biomasse, du rendement et de la qualité des produits récoltés. C'est l'élément essentiel de la synthèse protéique par la formation du radical Amine (NH₂) indispensable aux liaisons peptidiques (Mazliak, 1998). Son apport dépend de la fertilité initiale du sol (Bouaziz & Soudi, 1997). À ce propos, la libération de l'azote à partir de la matière organique pourrait être évaluée par des méthodes biologiques ou chimiques basées sur l'incubation ou l'hydrolyse des échantillons du sol (Keeney, 1982). La mesure de l'azote nitrique initial a pour but d'estimer les doses optimales à apporter dans les régions arides (Keeney, 1982 ; Archer, 1988 ; Badraoui *et al.*, 1992) pour éviter de polluer les nappes phréatiques par les nitrates (Bouaziz & Soudi, 1997).

Pour de meilleurs rendements, l'apport doit être fourni au fur et à mesure de ses besoins. Généralement son apport est fractionné en deux apports : au stade début tallage et au stade début montaison (Mossaddaq, 1990).

- **Phosphore**

Le phosphore est l'un des éléments fondamentaux parmi les trois éléments majeurs (N, P, K). Il participe à tous les stades de développement des végétaux en sa qualité de support énergétique (Duthil, 1973). Il joue un rôle important dans la formation et la maturation des grains, ainsi que la croissance des racines (Moughli, 2000) et il complète des activités métaboliques, en particulier la synthèse des protéines (Tanwar & Shaktawat, 2003).

L'application d'engrais phosphatés est essentielle pour obtenir un rendement optimal des cultures lorsque les sols sont limités en phosphore (Shujie & Yunfa, 2011). D'après Storia *et al.* (2013), les apports de phosphore dépendent de la concentration de cet élément dans le sol et des conditions environnementales qui affectent la quantité de phosphore disponible pour la plante.

Dans un essai au champ, l'étude des effets de différentes doses d'engrais phosphaté sur le rendement de trois variétés de blé, réalisée par Saha *et al.* (2014) a montré que des apports allant de 60 à 120 kg de P₂O₅/ha augmentent significativement le rendement en grain et les prélèvements du phosphore par la culture du blé.

En fonction des conditions pédoclimatiques, et des besoins de la culture, c'est durant la phase tallage et floraison que l'absorption des principaux éléments est la plus importante. L'engrais doit donc être apporté lors du labour ou en début de cycle et au plus près des jeunes racines (Nedjeh, 2015).

- **Potassium**

Le blé dur est peu exigeant en potassium (Lesouder, 2017). Des études ont montré l'efficacité de l'apport potassique sur l'accroissement des rendements en grain et en biomasse et de la qualité des grains de blé dur ainsi qu'une meilleure résistance au stress thermique (Aissa & Mhiri, 2002).

7. Valeur nutritionnelle du blé dur

La composition chimique du grain de blé révèle sa haute valeur nutritionnelle. Comme dans le grain de toutes les céréales, le constituant nettement majoritaire est l'amidon. Présent majoritairement dans l'albumen, il constitue environ les trois quarts de la matière sèche (Godon, 1986). En conséquence, c'est un aliment très énergétique, avec en moyenne un apport équivalent à 1505,5 kcal/personne/jour (plus de 50% de l'apport énergétique moyen de l'être humain (FAO, 2008)) (Abis *et al.*, 2009). La famille des constituants qui vient en deuxième position, est celle des protéines qui en font sa richesse principale, en dépit de leur déficit en certains acides aminés essentiels comme la Lysine (Godon, 1991) avec un apport moyen de 45,53g de protéine /personne/j et 5,43 g de lipide/personne/j (Abis *et al.*, 2009).

D'après Tocquet (2001), le germe de blé accumule les substances les plus précieuses et vitalisantes du grain, il constitue l'une des meilleures sources de fer, de magnésium et de vitamines E et B. Selon Favier (1989), la couche à aleurone est extrêmement riche de point de vue nutritionnel et est même parfois appelé « couche merveilleuse ». En effet, bien qu'elle ne constitue que 6% seulement du poids du grain, elle contient à elle seule : 16 à 20% des protéines du grain entier, 31% des lipides, 58% des minéraux, 38% de la thiamine et 37 à 82% des autres vitamines du groupe B. Mais il faut savoir qu'elle contient aussi une quantité notable d'acide phytique (insolubilisant des protéines et des minéraux tels que Ca, Mg, Fe, Zn) et des fibres qui diminuent la digestibilité des autres constituants.

Chapitre 2. Céréaliculture

1. Introduction

L'Algérie est le plus grand pays d'Afrique couvrant plus de deux millions de kilomètres carrés. La plupart des activités agricoles sont situées dans le nord du pays en raison des vastes zones désertiques non cultivables qui s'étendent vers le sud. Les cultures dominantes sont annuelles et concernent principalement les grandes cultures telles que les céréales. Avec 238 millions d'hectares de terres arables, l'Algérie ne dispose que de 3,4% de terres potentiellement arables (Benbelkacem, 2014). La production des céréales, jachère comprise, occupe environ 80% de la superficie agricole utile (SAU) du pays, la superficie emblavée annuellement en céréales se situe entre 3 et 3,5 millions d'ha (Djermoun, 2009).

Le secteur céréalier se situe au premier ordre des priorités économiques et sociales du pays. Il occupe une place privilégiée dans les différents plans de développement socioéconomiques que l'Algérie a élaboré depuis l'indépendance. Cette culture tient de loin, la première place quant à l'occupation des terres agricoles, puisqu'elle sert d'aliment de base pour une grande proportion de la population algérienne aussi bien dans les milieux ruraux qu'urbains (Boulal *et al.*, 2007). Ce sont les cultures annuelles les plus importantes pour l'agriculture algérienne (Malki & Redjel, 2000). En effet, elles occupent 60% des terres cultivées et représentent l'activité d'une masse importante de la population (Aïdaoui & Hartani, 2000).

L'industrie de transformation occupe une place « leader » dans le secteur des industries agroalimentaires avec près de 400 unités de production (263 unités pour les minoteries et 135 unités pour les semouleries réparties sur le territoire national) (Bessaoud *et al.*, 2019). Elles disposent de capacités importantes de triturations; produisant plus du double des besoins du marché intérieur (+230%), réparties entre les moulins publics (95%) et privés (135%), soit respectivement une capacité de trituration de l'ordre de 19000 et de 27000 T/jour (Djermoun, 2009).

En matière d'emploi, plus de 500 000 emplois permanents et saisonniers sont procurés par le système céréalier (MADR, 2018).

En relation avec le marché mondial et selon les données statistiques de la direction des études et de la prospective des Douanes (DEPD) (2019), les produits céréaliers occupent le premier rang avec 34,15% de la facture globale des importations.

Depuis longtemps, le blé est complètement ancré dans le régime alimentaire algérien. La diversité culinaire est très riche en produits dérivés du blé. C'est une culture très importante pour plusieurs raisons :

- la surface réservée à ce type de culture est de 743 millions d'hectares (FAO, 2015), plus grande que la surface de toutes les autres cultures réunies (Haldore, 1982) ;
- Le blé apporte plus de calories et plus de protéines dans l'alimentation humaine, que n'importe quelle autre culture alimentaire ; il fournit plus de 60% de l'apport

Chapitre 2. Céréaliculture

calorifique et 75 à 80% de l'apport protéique de la ration alimentaire de la population (Borlaug, 1982);

2. Production de blé en Algérie

2.1. Situation agronomique

Chaque année, environ 3,3 millions d'hectares sont consacrés à des cultures céréalières. Si on s'intéresse d'une manière plus précise au blé, on constate qu'il occupe une place très importante dans la structure spatiale de l'activité agricole. Il occupe environ 1,5 million d'hectares (Abis, 2012). C'est l'espèce la plus cultivée en Algérie avec 45% de la superficie céréalière emblavée. La production est constituée essentiellement du blé dur et de l'orge, qui représentent respectivement 51% et 29% de l'ensemble des productions de céréales en moyenne 2010-2017 (Figure 6) (MADR, 2018).

En dépit de ces grandes superficies normalement suffisantes pour la consommation, la production céréalière reste faible et très variable d'une année à l'autre. Pour preuve et sur une période de douze campagnes agricoles, la production de blé dur a varié de 17.73 à 19.91 millions de quintaux, avec une moyenne de 19.43 millions de quintaux, soit 49.32 % de la production totale des céréales. L'autosuffisance reste difficile à atteindre, du fait que les efforts enregistrés sont contrecarrés par un taux de croissance démographique élevé (MADR, 2018).

Pour faire face à ces besoins sans cesse croissants, l'Algérie importe actuellement environ 1,9 Mt de blé dur pour répondre à la demande, qui représente environ 60% des besoins nationaux (Kirouani *et al.*, 2018).

Selon Amara *et al.* (2007) et Kelkouli (2008), ces faiblesses de la production sont dues à plusieurs facteurs, parmi lesquels :

- contraintes abiotiques, la sécheresse en premier lieu ; mais aussi les contraintes édaphiques : une profondeur du sol réduite par des accumulations calcaires dures, limitant la réserve hydrique et le développement racinaire ;
- la faible utilisation des intrants pour leur cherté ou par peur des effets négatifs durant les périodes sèches ;
- le non-respect de l'itinéraire technique, notamment les techniques culturales, la préparation du sol en particulier, dû au manque de sensibilisation et de matériel adéquat ;
- le manque de maîtrise des techniques de production.

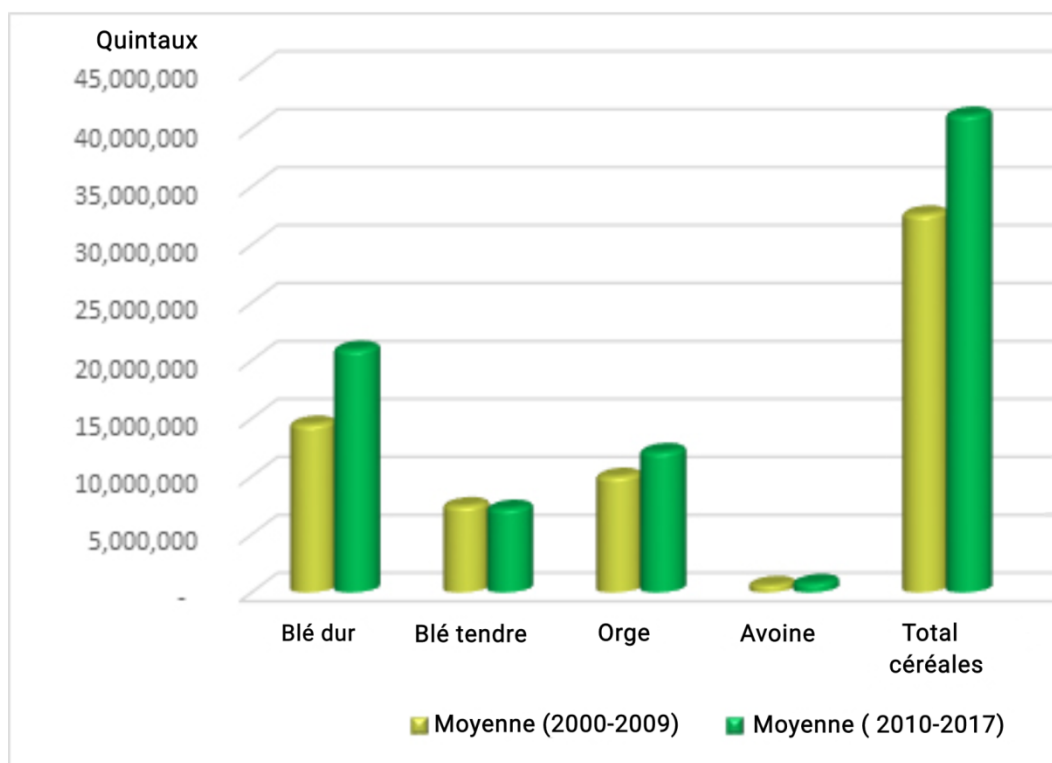


Figure 6. Production moyenne des céréales en Algérie (2000- 2017) (MADR, 2018)

2.2. Zone de production

La production du blé est essentiellement localisée dans les régions semi-arides qui représentent 85% de la surface agricole utile ; celle-ci s'étend sur moins de 3,6% de la surface totale du pays (Bessaoud *et al.*, 2019).

Les céréales se répartissent dans des zones agro-climatiques homogènes suivantes :

- les plaines littorales, sub-littorales et le nord des Hauts Plateaux forment une zone à haute potentialité céréalière (34% de la superficie emblavée), où la pluviométrie atteint 450 mm/an ;
- le sud des Hauts Plateaux forme une zone agropastorale, où la céréaliculture vivrière est liée à l'élevage ovin (50% de la superficie emblavée) ; il pleut près de 400 mm/an ;
- la zone steppique où la culture des céréales (15,5% de la superficie emblavée) est dominée par les orges ; l'élevage ovin est associé au pâturage de la steppe et où il pleut entre 200 et 400 mm/an ;
- les zones du sud pratiquent la céréaliculture sous irrigation et dans les oasis (1,5% de la superficie emblavée) (Bessaoud *et al.*, 2019).

2.3. Contraintes biotiques et abiotiques de la production du blé dur

Depuis qu'elles sont cultivées en Algérie, les populations de blé dur sont confrontées et soumises à diverses contraintes (Aggoun *et al.*, 2006). Leurs effets sur le rendement en grains

Chapitre 2. Céréaliculture

et ses composantes sont différemment ressentis selon les conditions climatiques de l'année (Mekhlouf *et al.*, 2012).

Plusieurs facteurs peuvent être incriminés dans la limitation de la production du blé dur et la qualité du produit récolté en Algérie.

- **Stress hydrique**

Le manque d'eau ou déficit hydrique représente le stress abiotique le plus sévère auquel la culture du blé dur fait face dans les conditions de productions des zones arides et semi-arides (Bessaoud *et al.*, 2019). L'eau joue un rôle essentiel dans la croissance et le développement de la culture du blé dur. Le manque d'eau affecte tous les aspects morphologiques et physiologiques et le rendement sera affecté en fonction de l'intensité du déficit hydrique et de sa position dans le cycle de la plante (Monneveux, 1997 ; Slama *et al.*, 2005). Le stress hydrique se traduit par :

- une levée irrégulière, qui crée des plants défectueux et hétérogènes ;
- une réduction de la croissance racinaire, du développement foliaire puis du nombre de grains due aux régulations internes de la plante (stratégie d'évitement) ;
- une mauvaise valorisation des engrais azotés, due à des défauts de mise en solution des engrais puis de prélèvement par la plante ce qui induit au mitadinage des grains ;
- une sénescence accélérée et un défaut de remplissage du grain (échaudage) (Amigues *et al.*, 2006) ;
- une réduction du nombre d'épis et de rendement en grains au stade gonflement ou à l'anthèse. Le stade gonflement est le stade le plus sensible au déficit hydrique puisqu'une sécheresse survenant à ce stade peut réduire le rendement en grains de près de 70% (Ben Naceur *et al.*, 1999).

- **Stress thermique**

Wahid *et al.* (2007) définissent le stress thermique comme étant une augmentation de la température au-delà d'un seuil pendant une période donnée, suffisante pour causer des dommages irréversibles à la croissance et au développement des plantes. En effet, une légère augmentation de la température au stade reproductif du blé peut modifier, non seulement le poids final du grain, mais aussi le nombre de grains par épi et par unité de surface, affectant ainsi, le rendement et la qualité du grain (Hays *et al.*, 2007). Hasanuzzaman *et al.* (2013) notent que durant cette phase, une courte période de stress thermique inhibe la production des fleurs et l'avortement de celles initiées. L'augmentation de la stérilité dans les conditions de stress thermique est due à l'altération de la méiose au niveau des organes mâles et femelles, l'altération de la germination du pollen et de la croissance du tube pollinique, la diminution de la viabilité des ovules, l'anomalie des stigmates, la réduction du nombre de grains de pollen retenus par le stigmate, la perturbation du processus de fécondation.

Chapitre 2. Céréaliculture

En zone des Hauts Plateaux, les basses températures qui coïncident avec le stade floraison (gelées printanières) sont aussi à craindre, car elles provoquent la coulure des fleurs et affectent le rendement de la culture (Bouzerzour & Monneveux, 1992).

Les effets du stress thermique sur les processus de la plante entière sont multiples, influençant la germination, l'émergence, les feuilles, les racines, le développement et la croissance des talles, la production de la matière sèche, la pollinisation, la fertilisation, le remplissage des graines, le rendement et la qualité des graines (Prasad *et al.*, 2008).

• Maladies et ravageurs

Les maladies cryptogamiques constituent une contrainte biotique majeure pour la céréaliculture algérienne. Les principales maladies du blé dur en Algérie sont les rouilles (dont la plus redoutable en cas d'attaque est la rouille noire), les septorioses et la jaunisse nanisante (Sayoud *et al.*, 1999). Les autres maladies présentes à des degrés moins importants sont : l'oïdium, le piétin échaudage, le nématode à kyste, les charbons, ainsi que les pourritures racinaires (fusarioses) (Le Boulch & Mangne, 1999).

Les insectes ravageurs susceptibles de s'attaquer au blé sont fort nombreux, parmi les plus redoutables : la cécidomyie des céréales (ou mouche de Hesse) (Matile, 1993), les pucerons du blé qui sont souvent des vecteurs de virus (Capisano, 1997), les punaises des blés dont les dégâts sont souvent constatés au tallage, à l'épiaison et sur les grains et le cèphe des chaumes (Oufroukh & Hamadi, 1993).

3. Principales variétés du blé dur

Les variétés de blé dur ont chacune leurs caractéristiques propres. L'origine et les caractéristiques des principales variétés de blé dur sont détaillées dans le tableau 2 ci-dessous.

Tableau 3 : Caractéristiques et origine des principales variétés de blé dur en Algérie (Boufenar-Zaghouane & Zaghouane, 2006).

| Variétés | Origine | Principales caractéristiques |
|---------------|---------|--|
| Waha | Algérie | Caractéristiques variétales : Paille courte et demi pleine, précoce, Résistante à l'oïdium et au piétin verse, Mieux adaptée aux régions arides et semi-arides, bonne productivité. |
| Vitron | Espagne | Caractéristiques variétales : <input type="checkbox"/> Semi-précoce de type hiver à tallage moyen avec un rendement en grain optimal de 60qx/ha et de poids de mille grain élève <input type="checkbox"/> Résistante au froid et sensible à la sécheresse <input type="checkbox"/> Tolérante à la verse Caractéristiques technologiques : <input type="checkbox"/> Assez résistante à la moucheture et au mitadinage. |

Chapitre 2. Céréaliculture

| | | |
|---------------------------|---------|--|
| Sémito | Italie | <p>Caractéristiques variétales :</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Semi-précoce de type hiver à tallage fort avec un rendement en grain optimal de 50qx/ha et de poids de mille grain moyen. <input type="checkbox"/> Tolérante au froid et sensible à la sécheresse. <input type="checkbox"/> Tolérante à la verse. <p>Caractéristiques technologiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Assez résistante à la moucheture et de qualité très bonne. |
| GTA dur | Mexique | <p>Caractéristiques variétales :</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Précoce de type hiver à tallage fort avec un rendement en grain optimal de 50qx/ha et de poids de mille grain moyen, <input type="checkbox"/> Résistante au froid et à la sécheresse <input type="checkbox"/> Moyennement résistante à la verse. <p>Caractéristiques technologiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Assez sensible à la moucheture et de qualité bonne |
| Ammar 6 | Algérie | <p>Caractéristiques variétales :</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Précoce de type hiver à tallage fort avec un rendement en grain optimal de 50qx/ha et un poids de mille grain élevé, <input type="checkbox"/> Résistante au mitadinage. <p>Caractéristiques technologiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> La qualité de la semoule est bonne |
| Oued el-Bared | Algérie | <p>Caractéristiques variétales :</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Précoce de type hiver à tallage fort avec un rendement en grain optimal : 52,83 qx /ha et de poids de mille grain élevé, <input type="checkbox"/> Tolérante au froid et à la sécheresse, <input type="checkbox"/> Résistante à la verse. <p>Caractéristiques technologiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> La qualité de la semoule est bonne. |
| Mohamed Ben Bachir | Algérie | <p>Caractéristiques variétales :</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Résistante au stress hydrique (système racinaire bien développé). <input type="checkbox"/> Rendement stable. <input type="checkbox"/> Paille haute. <input type="checkbox"/> Faible rendement. |

Chapitre 3. Techniques culturales : Travail conventionnel avec labour ou semis direct

1. Introduction

L'agriculture conventionnelle est le résultat de l'intégration de la science, de la technologie et de la pratique dans les pays industrialisés pour augmenter la productivité afin de satisfaire, à des prix bas, la demande croissante de produits alimentaires de la population (Laajimi & Murua., 1995). Cette pratique, à base d'engrais chimiques de synthèse, de traitement insecticides, herbicides et en fongicides, a atteint ses limites compte tenu des effets de dégradation produits dans l'environnement physique comme conséquence des pratiques excessivement intensives et de mauvaise gestion des ressources des sols et de la stagnation des rendements. En effet, le travail mécanisé du sol a entraîné l'émiettement, la compaction, l'appauvrissement en matière organique et l'érosion des sols (Mrabet, 2001 ; Chervet *et al.*, 2005 ; Mrabet, 2010 ; Boiffin *et al.*, 2001). Les systèmes agricoles conventionnels sont également caractérisés par des taux élevés de consommation d'énergie fossile, une utilisation excessive de nutriments et la pollution de l'eau (Foley *et al.*, 2011).

C'est pourquoi la conversion vers un modèle agricole plus écologique tel que l'agriculture biologique, l'agriculture de conservation, l'agro-écologie et la pémaculture constitue une voie majeure pour améliorer et accroître les productions sur le long terme tout en respectant les services éco-systémiques générés par l'activité biologique du sol et la matière organique qu'il contient (Stassart *et al.*, 2012).

L'émergence de l'agroécologie fait appel à un ensemble de pratiques agricoles dont la cohérence repose sur l'utilisation des processus écologiques et la valorisation de l'agro-biodiversité ayant pour caractéristique de travailler avec la nature diversifiées (Courtoux & Claveirole, 2015).

Miguel A. Altieri, 1983 un des précurseurs de la pensée agroécologique définit l'agro-écologie comme étant une base scientifique à une agriculture alternative, et plus précisément une approche de la production alimentaire afin d'assurer des rendements durables par l'utilisation de techniques de gestion écologiquement saines capables d'assurer une reproduction optimale des ressources naturelles, à des flux énergétiques fermés, à un équilibre des populations d'êtres nuisibles et à une augmentation de l'utilisation multiple du paysage. L'agro-écologie fournit des principes écologiques pour étudier, concevoir et gérer des agro-écosystèmes durables. Ces derniers sont à la fois productifs, économes en intrants chimiques (herbicides, insecticides, engrais de synthèse, antibiotiques), socialement justes et économiquement viables (Altieri, 1995).

Selon la FAO (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture), l'agro-écologie est une agriculture reposant sur une forte réduction, voire une suppression du travail du sol, sa couverture permanente et des successions culturales diversifiées (Courtoux & Claveirole, 2015).

Au-delà de ce positionnement disciplinaire, l'agroécologie vise non seulement à transformer l'agriculture mais aussi à repenser l'ensemble des systèmes alimentaires afin de

les rendre plus durables. Elle propose ainsi une révision des modes de production, en utilisant des principes et concepts issus de l'écologie afin de répondre à un double objectif (Gliessman, 2007) :

- optimiser leur productivité tout en renforçant leur capacité de résilience face à de nouvelles incertitudes imposées par le changement climatique et la volatilité des prix agricoles et alimentaires ;
- maximiser les services écologiques susceptibles d'être fournis par les agrosystèmes et limiter les impacts négatifs, en particulier par un moindre recours et une moindre dépendance aux ressources fossiles.

2. Effets des techniques culturales sur le rendement

La production des céréales en Algérie est limitée par des facteurs agro-climatiques d'une part et d'autre part par des facteurs d'ordre technique, comme le travail du sol. Le maintien de la production végétale ne s'accomplit qu'avec la préservation de la capacité de production des sols (fertilité, qualité). La conservation de l'eau et le contenu en carbone des sols sont parmi les paramètres importants qui déterminent la qualité du sol. La matière organique et l'activité biologique qui en découle, ont une influence majeure sur les propriétés physiques et chimiques des sols. La densité apparente du sol détermine sa porosité. Cette dernière joue un rôle important dans les échanges hydriques et gazeux ainsi que dans le développement racinaire (Lahlou *et al.*, 2005).

Parmi les facteurs qui contribuent à la modification de ces caractéristiques du sol, la pratique de techniques culturales en particulier le travail du sol. Quand elle est inadaptée, elle peut induire à la détérioration physique, chimique ou biologique du sol. La détérioration des composantes du sol induit la perte de certaines qualités propres, ou une diminution dans leur capacité à assurer des fonctions essentielles : biologiques, écologiques, économiques, voire sociales (Cornet, 1980).

L'eau et le sol sont considérés comme les facteurs les plus importants à préserver pour garantir une production continue. L'irrégularité du climat et l'aridité rendent la ressource en eau de plus en plus rare ce qui nécessite un intérêt particulier qui vise l'utilisation de techniques qui nous permettent de préserver et d'économiser cette ressource. Le phénomène de dégradation du sol est présent dans les hauts plateaux et les hautes plaines, zones de pratique de la céréaliculture, du aux pratiques culturales inadaptées comme la technique du travail du sol classique avec labour. Les terres labourées sont sujettes à l'érosion et à la baisse de fertilité impliquant des dégradations physiques parfois irréversibles. Pour limiter ce phénomène, le recours aux techniques simplifiées et au semis direct serait le plus conseillé (Abdellaoui *et al.*, 2011).

La recherche sur le semis direct a souvent eu lieu dans le contexte d'agriculture de conservation (AC). L'agriculture de conservation représente un ensemble de trois principes de

Chapitre 3. Techniques culturales : Travail conventionnel avec labour ou semis direct

gestion des cultures : perturbation minimale du sol (y compris le semis direct), rotation des cultures et rétention des résidus/couverture permanente du sol (FAO, 2011).

L'un des facteurs clés du succès du semis direct en combinaison avec les autres principes de l'AC est la conservation des ressources du sol en réduisant l'érosion (Verhulst *et al.*, 2010).

Le semis direct favorise l'accumulation de la matière organique et l'amélioration de la densité du sol avec le temps, ce qui influe directement sur l'amélioration de la capacité de rétention en eau du sol. Ce qui est fondamental dans un pays où l'eau est le principal facteur limitant de la production agricole. La reconstitution de la matière organique dans le sol constituera une source d'éléments nutritifs pour les cultures, et diminuera les apports en engrais, améliorant ainsi le coût de production des céréales et augmentant la rentabilité attribuée à la diminution de la consommation d'énergie et de main-d'œuvre par rapport aux systèmes conventionnels (Abdellaoui *et al.*, 2011).

Les travaux d'Angar *et al.* (2011) et de Hadj Youcef Taïbi *et al.* (2021) ont montré que les systèmes de semis direct dans les régions semi-arides augmentent les rendements par rapport aux systèmes conventionnels.

Dans d'autres expériences à long terme, il a été observé que les rendements moyens du blé en semis direct dans les climats méditerranéens avaient tendance à être plus élevés les années où il y avait un stress hydrique, mais plus faibles les années où le stress hydrique était peu important (Amato *et al.*, 2014). Il est probable que l'augmentation du rendement avec le semis direct soit due au fait que cette culture est souvent cultivée dans des régions semi-arides où les pratiques de semis direct ont tendance à être plus performantes en raison des effets de la conservation de l'eau et de l'efficacité accrue de son utilisation (Pittelkow *et al.*, 2015).

Chapitre 4. Mycorhization du blé dur

1. Symbiose mycorhizienne

Le monde des champignons est extrêmement diversifié car on estime à 1,5 millions le nombre d'espèces fongiques existant actuellement sur la planète (Garbaye, 2013). Les racines ne peuvent être étudiées et comprises dans toute leur complexité sans considérer également leur environnement immédiat. C'est Lorenz Hiltner en 1904 qui utilisa le premier le terme de rhizosphère, provenant du grec « rhiza » signifiant racine et « sphere/sphaera » signifiant cercle d'influence. La rhizosphère représente donc le champ d'influence du système racinaire, elle comprend l'ensemble des racines ainsi que la zone de sol proche influencée par ces racines. Elle comprend à la fois des organismes bénéfiques et néfastes pour les plantes qui peuvent être des bactéries, des virus, des champignons, des oomycètes, des insectes, des nématodes, mais aussi des plantes parasites ou encore les racines d'autres plantes avoisinantes (Badri *et al.*, 2009).

Les plantes vivent en étroite relation avec les champignons qui peuplent le sol dans lequel elles poussent. En effet, plus de 95% des plantes terrestres peuvent vivre en symbiose avec les champignons (Smith & Read, 1997). Les Basidiomycètes, Ascomycètes et Gloméromycètes sont les seuls, parmi les cinq familles de champignons connus, qui ont la possibilité de mettre en place des symbioses via leur association avec les racines des plantes pour former des mycorhizes (Garbaye, 2013). Du grec « mykès » qui signifie champignon et « rhiza » qui signifie racine, la symbiose mycorhizienne est une association symbiotique entre les racines d'une plante et un champignon mycorhizien. Le terme de symbiose se définit ici comme une relation entre deux organismes hétérospécifiques qui se traduit par des effets bénéfiques aussi bien pour l'un que pour l'autre (De Barry, 1879 *in* Wipf, 2013). La plante fournit le symbiote fongique du carbone issu de la photosynthèse. En retour, les hyphes fongique améliorent la nutrition hydrique et minérale de la plante hôte grâce à l'augmentation du volume de sol prospecté (Gobat *et al.*, 2003).

Le terme mycorhize a été inventé par Frank, un pathologiste forestier allemand, en 1877, lorsqu'il étudiait les racines de certains arbres de la forêt, afin de caractériser l'association entre plantes et champignons (Béreau *et al.*, 2003 ; Camargo-Ricalde, 2012). Cependant, son origine est aussi ancienne que les plantes terrestres, puisqu'il existe des traces de fossiles datant d'au moins 370 millions d'années. Coyne (2000) définit les mycorhizes en termes fonctionnels et structurels, comme « des organes à double absorption qui se forment lorsque les champignons symbiotes vivent dans les organes d'absorption sains (racines, rhizomes ou talus) de plantes terrestres, aquatiques ou épiphytes » (Camargo-Ricalde, 2012).

Selon les symbiotes fongiques impliqués dans l'association, Les mycorhizes peuvent être morphologiquement et phylogénétiquement classés en trois groupes principaux: les ectomycorhizes, les endomycorhizes et les ectendomycorhizes (Smith & Read, 2008).

Il existe deux classes de mycorhizes d'importance pour les sols agricoles : les ectomycorhizes et les endomycorhizes, selon que le champignon colonise les espaces intercellulaires de la racine ou qu'il se développe à l'intérieur des cellules (Coyne, 2000).

1.1. Endomycorhize

Les endomycorhizes (du grec "endon": « à l'intérieur») se caractérisent par l'absence du manteau mycélien externe et par la pénétration d'hyphes fongiques dans les cellules corticales pour réaliser les échanges avec la plante (Coyne, 2000). Ce type de mycorhizes est de loin le plus répandu et le plus ancien représentant 80% des plantes actuelles (Garbaye, 2013). Ils se divisent en plusieurs types (Duponnois *et al.*, 2013) :

- les endomycorhizes des Ericacées : associées aux Ascomycètes ; le mycélium forme des billes à l'intérieur des cellules du parenchyme cortical ;
- les endomycorhizes des Orchidacées : infectés par les Basidiomycètes, le mycélium forme des billes à l'intérieur des cellules corticales ;
- mycorhizes vésiculaires et arbusculaires : que nous verrons en détail dans le point suivant.

1.1.1. Mycorhizes à vésicules et arbuscules

L'étude de fossiles du Dévonien supérieur a révélé que les champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA) et les plantes sont devenus étroitement liés, interdépendants, il y a de cela plus de 460 millions d'années (Redecker *et al.*, 2000). Ces champignons biotrophes obligatoires font partie du phylum des Gloméromycètes qui a été subdivisé en quatre ordres (Glomérales, Archaéosporales, Paraglomérales et Diversisporales) regroupant entre 150 et 200 espèces (Schüssler *et al.*, 2001). Ils sont capables de coloniser près de 90% des plantes terrestres (Smith & Read, 2008) et sont les plus abondants dans les sols cultivés. Ils constituent 5 à 50 % de la biomasse microbienne des sols (Olsson *et al.*, 1999). Les CMA ont une grande diversité morphologique, notamment au niveau des spores dont la taille, la couleur et la forme sont très variables suivant les espèces étudiées (Öpik *et al.*, 2013). Les CMA sont incapables de compléter leur cycle de vie de manière asymbiotique (Bonfante & Peroto 1995). D'après Requena *et al.* (2007), l'établissement de la symbiose mycorhizienne à arbuscules débute par le contact entre une racine compatible avec les hyphes germinatives produites par les propagules du CMA (spores asexuées ou racines déjà mycorhizées). La colonisation des racines par ces champignons se déroule en trois phases (Figure 7).

- **Phase a-symbiotique**

Avant tout contact, en conditions favorables, les spores peuvent germer et former un tube germinatif et survivre jusqu'à rencontrer un hôte. Si aucune rencontre n'est réalisée, les spores se scindent et reviennent en spores initiales (Genre *et al.*, 2005).

- **Phase pré-symbiotique**

Le dialogue entre une plante et un champignon mycorhizien via l'émission de signaux dans le sol qui leur permettent d'être informés de leur présence respective suite à l'activation de certains gènes impliqués dans l'établissement de la symbiose (Bonfante & Genre, 2010). Les plantes produisent des exsudats racinaires dénommées «branching factors», des facteurs

de ramification capables de stimuler la germination, d'induire une ramification des hyphes et de modifier l'activité métabolique du CMA (Giovannetti *et al.*, 1998 ; Buée *et al.*, 2000 ; Nagahashi & Douds, 2000). Les CMA produisent également des molécules diffuses qui leur permettent d'être reconnus par les plantes. Ces molécules appelées «Myc factors» induisent l'activation de gènes chez la plante hôte relatifs à l'établissement de la symbiose (Paszkowski, 2006 ; Bonfante & Requena, 2011).

- **Phase symbiotique**

Les hyphes adhèrent aux parois externes des cellules de la racine, formant un hyphopodium à la surface de l'épiderme. La plante met en place ensuite un appareil de pré-pénétration (APP) pour guider le développement du champignon suite à la perforation en sécrétant des enzymes qui vont détruire la cellulose, les hémicelluloses et les pectines. Pour atteindre la zone corticale où les hyphes s'hyper-ramifient par dichotomie entre la paroi cellulaire et la membrane plasmique pour former les arbuscules, lieux des échanges symbiotiques, caractéristiques unique de ces champignons (Gavériaux, 2012 ; Garbaye, 2013). Ces structures sont entourées d'une membrane plasmique péri-arbusculaire séparant le champignon du cytoplasme végétal et spécialisées dans le transfert de l'eau et des éléments nutritifs grâce à des transporteurs spécifiques (Paszkowski, 2006 ; Bonfante & Genre, 2010). Les sucres provenant de la plante sont conduits en sens opposé par des transporteurs d'hexoses qui sont d'autres canaux spécialisés (Karandashov & Bucher, 2005 ; Garbaye, 2013).

Après différenciation des structures intra-racinaires, le champignon va se développer dans le sol. Le mycélium extra-racinaire s'organise en un réseau très dense d'hyphes, qui peut former jusqu'à plusieurs mètres d'hyphes par cm³ de sol (Miller *et al.*, 1995 ; Akiyama *et al.*, 2007). Ces structures vont puiser eau et sels minéraux puis les transporter vers la racine. C'est aussi à ce moment-là que le champignon va former de nouvelles spores, structures de reproduction et de dissémination des CMA, complétant ainsi son cycle de vie.

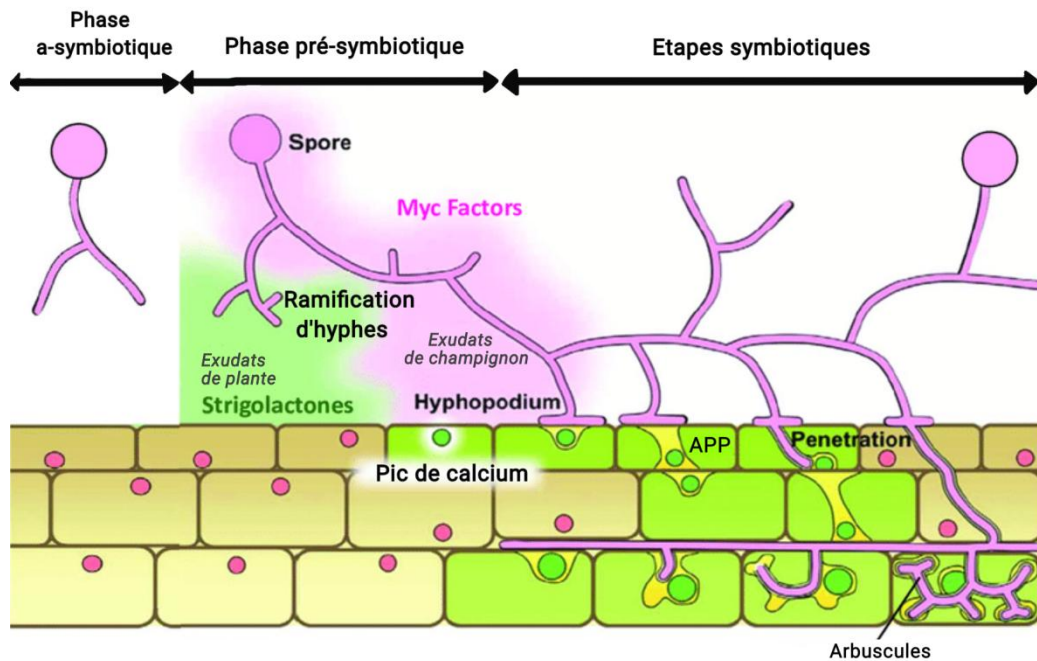


Figure 7. Schéma des différentes étapes de colonisation des champignons mycorhiziens arbusculaires (Bonfante & Genre, 2010).

APP : Appareil de Pré-Pénétration

1.2. Ectomycorhize

L'un des premiers partenaires symbiotiques des racines sont les ectomycorhizes du grec "ektos" qui signifie "à l'extérieur". Dans ce cas le champignon ne pénètre pas à l'intérieur des cellules racinaires. Il se développe essentiellement autour de la racine formant un manchon d'hyphes feutré plus ou moins dense appelé manteau, recouvrant entièrement la racine. Cela les rend visible à l'œil nu ou à la loupe (Thomson *et al.*, 1996; Bâ *et al.*, 2001). En général, elles se forment entre des plantes ligneuses et des champignons supérieurs tels que les Basidiomycètes ou Ascomycètes. Mais ils colonisent aussi l'intérieur de la racine entre les cellules corticales formant le réseau de Hartig (Figure 8) (Thoen & Bâ, 1989 ; Sanon *et al.*, 2009).

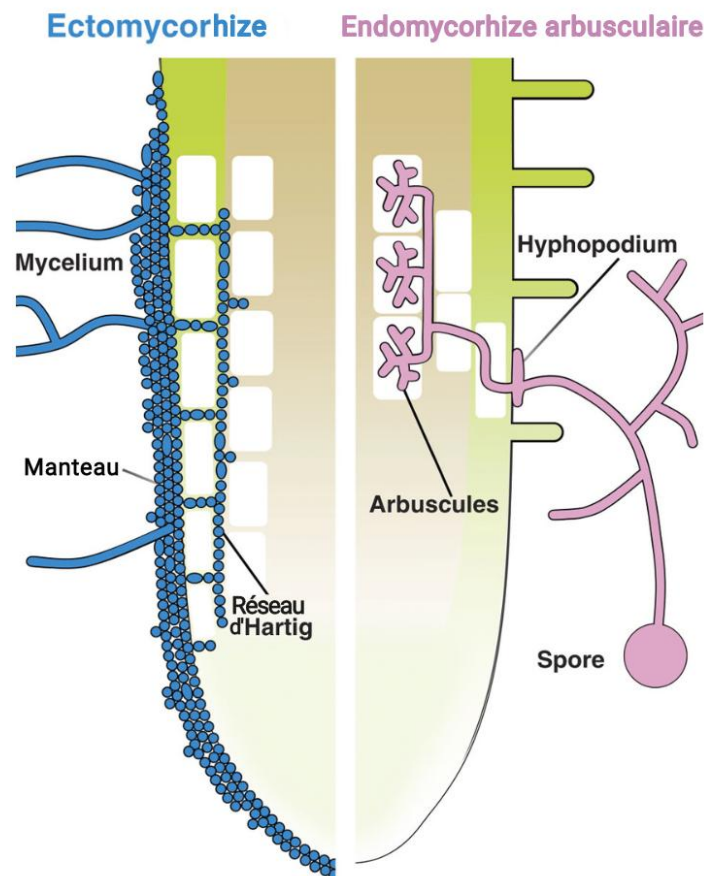


Figure 8. Structures de colonisation des champignons ectomycorhiziens (en bleu) et endomycorhiziens à arbuscules (en rose) (Bonfante & Genre, 2010).

Les champignons ectomycorhiziens se développent autour de la racine jusqu'à la pointe racinaire formant un manteau d'hyphes extérieurs, tandis que le réseau de Hartig se développe autour des cellules épidermiques (vert). Dans le cas des champignons endomycorhiziens à arbuscules, l'extrémité de la racine n'est généralement pas colonisée. Ils se développent de façon extracellulaire mais aussi de façon intracellulaire par exemple lors de la formation des arbuscules dans les cellules corticales.

Les champignons mycorhiziens font partie intégrante du système pédologique. La rhizosphère est composée de sol proche des racines des plantes et est affectée par leur activité (Reyes-Jaramillo, 2011). L'établissement de la symbiose mycorhizienne des arbuscules conduit à l'apparition de nouveaux compartiments biologiques au sein de la rhizosphère, modifiant ainsi la physiologie de la plante et par conséquent la qualité et la quantité des exudats racinaires, le fonctionnement de la symbiose mycorhizienne induit, dans la structure de la microflore tellurique, différents compartiments microbiens composés de communautés bactériennes et fongiques présentant des caractéristiques spécifiques (structure, diversité fonctionnelle. Le terme « mycorhizosphère » a été proposé pour caractériser ce volume de sol sous l'influence de mycorhizes (Rambelli, 1973 ; Johansson *et al.*, 2004).

La mycorhizosphère a deux composantes, la couche de sol autour des racines mycorhizées et le sol près des hyphes du champignon mycorhizien ou du mycélium externe qui constitue l'hyphasphère ou la mycosphère (Reyes-Jaramillo, 2011). Grâce à son réseau plus important que celui exploré par les seules racines (Balzergue, 2012).

Les plantes sécrètent jusqu'à 40% de leurs photosynthétas dans la rhizosphère, la densité des populations microbiennes dans la rhizosphère est beaucoup plus élevée que dans le sol environnant. Ce phénomène est connu sous le nom d' "effet rhizosphère" (Bais *et al.*, 2006).

2. Rôles de la symbiose mycorhizienne arbusculaire dans la croissance et le développement de la plante

L'impact des champignons mycorhiziens est primordial dans tout ou partie du cycle de la plante. Cette interaction symbiotique permet à la plante hôte de tolérer le stress abiotique par un changement structurel du système racinaire et surtout en améliorant la nutrition hydrique et minérale grâce à l'augmentation du volume de sol prospecté dans des zones non accessibles pour les plantes non mycorhizées et à la production de divers enzymes extracellulaires (protéinases, phosphatases, etc.) susceptibles de mobiliser des éléments nutritifs à partir de composés complexes du sol (Gobat *et al.*, 2003 ; Wu, 2017) ainsi que sa protection phytosanitaire (Joner & Leyval, 2003).

L'utilisation des CMA a un effet bénéfique sur la structure du sol. Leurs hyphes possèdent la propriété d'agir sur la macro-agrégation des constituants du sol et donc sur sa stabilité (Figure 9) (Tisdall, 1991). En effet, ces hyphes produisent une glycoprotéine extracellulaire, la glomaline, à laquelle des micro-agrégats s'attachent pour former des macro-agrégats stables (Wright & Upadhyaya, 1998). Cette stabilité du sol permet de lutter contre l'érosion, la perte de nutriments et de la matière organique par lixiviation, entraînant ainsi une augmentation de la pénétration de l'air et de l'eau dans le sol et une augmentation dans la productivité (Lounes-Hadj Sahraoui, 2013).

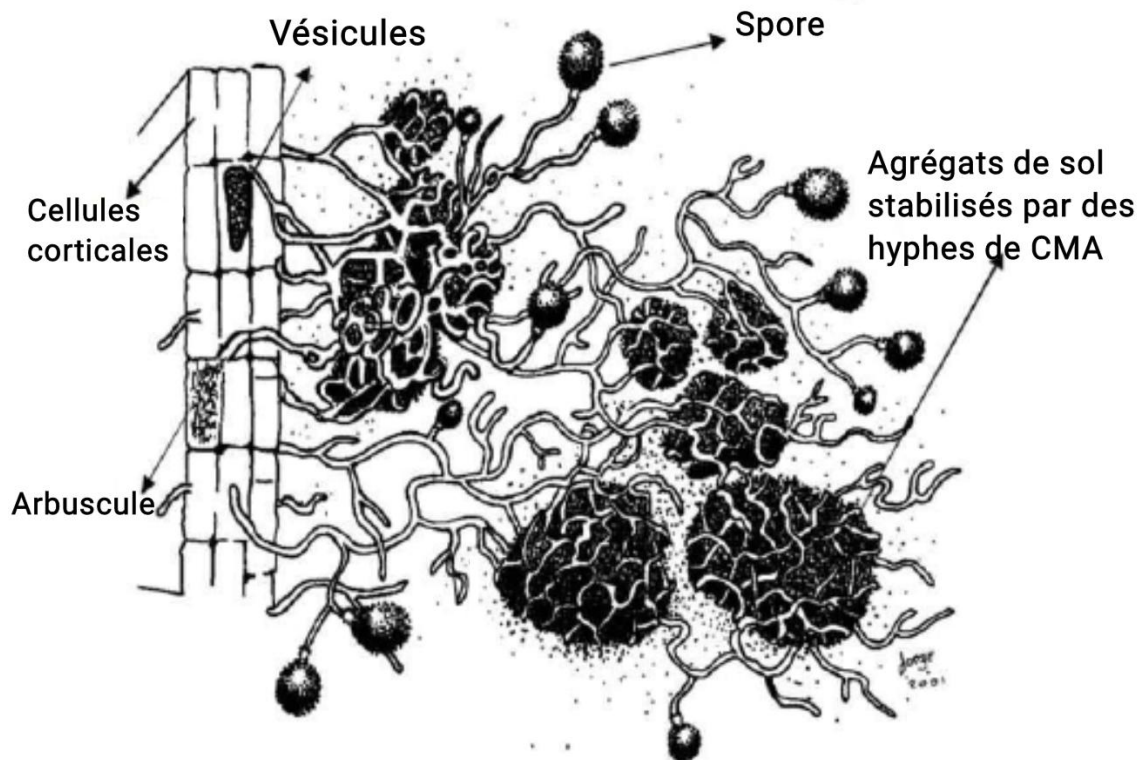


Figure 9. Représentation schématique de l'effet du mycélium des champignons mycorhiziens à arbuscule sur la formation et la stabilisation d'agrégats de sol (Montano Arias *et al.*, 2007).

L'utilisation intensive de pesticides pose des problèmes pour l'environnement et pour la santé humaine. Une des stratégies alternatives consiste à stimuler les défenses naturelles des plantes par mycorhization. En effet, il est reconnu que les dommages causés par certains parasites (champignons, bactéries ou nématodes) peuvent être atténués chez les plantes mycorhizées (Whipps, 2004). Les CMA semblent réduire l'incidence et la sévérité des effets délétères causés par certains champignons phytopathogènes racinaires tels que *Rhizoctonia*, *Fusarium*, *Verticillium*, *Phytophthora*, *Pythium* et *Aphanomyces* (St-Arnaud *et al.*, 1995 ; Whipps, 2004), certaines bactéries telle que *Xanthomonas campestris* (Liu *et al.*, 2007) et certains nématodes tel que *Meloidogyne incognita* et *Pratylenchus penetrans* (Vos *et al.*, 2012).

3. Champignons mycorhiziens du blé dur

Les travaux de Hadj Youcef Taibi *et al.* (2020) montrent qu'il existe une diversité d'espèces et de nombre de populations de champignons mycorhiziens arbusculaires du blé dur selon le type du système de culture.

Sept espèces de champignons mycorhiziens ont été trouvées exclusivement dans le sol des semis directs. Parmi elles, cinq espèces d'Acaulosporaceae (*Acaulospora scrobiculata* ; *Acaulospora koskei* ; *Acaulospora thomii* ; *Acaulospora capsicula* ; *Acaulospora denticulata*) et deux espèces de Gigasporaceae (*Gigaspora albida* et *Gigaspora margarita*). Trois espèces

de Glomeraceae (*G. mossae*, *G. aggregates* et *G. ambisporum*) étaient présentes uniquement dans le sol des semis conventionnels. Sept espèces étaient présentes dans les deux traitements mais plus abondantes dans les parcelles conduites dans le système sans labour. C'est le cas de (*Gigaspora decipiens* ; *Diversispora tortuosa* ; *Scutellospora scutata* ; *Scutellospora calospora* ; *Entrophospora infrequens* ; *Dentiscutata erythropha* et *Dentiscutata nigra*) (Hadj Youcef Taibi *et al.*, 2020).

La biodiversité naturelle des CMA est améliorée dans un champ sans labour. En effet, une augmentation de l'abondance relative de six familles de Glomeromycota (Gigasporaceae, Diversisporaceae, Scutellosporaceae, Entrophosporaceae, Acaulosporaceae, Dentiscutataceae) a été observée (Hadj Youcef Taibi *et al.*, 2020).

4. Effets du système de culture sur la diversité des CMA

La biodiversité naturelle des champignons mycorhiziens est améliorée dans un champ sans labour. Ceci peut être lié à l'augmentation de la densité racinaire favorablement dans des conditions de semis direct (Cardoso *et al.*, 2003). De même, l'abondance des adventices peuvent servir d'hôte intermédiaire entre les CMA et la culture principale (Kabir, 2005). Van Groenigen *et al.* (2010) ont montré que la réduction du travail du sol augmente la biomasse des champignons mycorhiziens arbusculaires sur toute la couche de labour. Cela reflète une meilleure croissance et un meilleur établissement du mycélium des CMA extra-radicalaires (Olsson *et al.*, 1998). Cette augmentation de l'abondance est due à la réduction des perturbations des hyphes fongiques causées par le labour (Berner *et al.*, 2008). Le système de culture sans labour augmente également l'accumulation de propagules mycorhiziennes en fin de cycle, ce qui affectera l'installation de la mycorhization l'année suivante grâce à la non perturbation du réseau hyphalique (Galvez *et al.*, 2001). L'aridité (une pluviométrie proche de 400 mm) joue également un rôle dans la dominance de la biomasse de ces champignons. De même, certaines caractéristiques du sol telles que le faible niveau de phosphore total et le pH alcalin contribuent à leur installation (Duponnois *et al.*, 2012). Ceci met en évidence l'adaptation des souches de champignons mycorhiziens endogènes aux caractéristiques physico-chimiques du sol (Meglouli *et al.*, 2018).

De nombreuses études ont rapporté des variations temporelles et saisonnières de la dynamique des CMA. La colonisation des racines par ces mycorhizes a connu une augmentation à partir du stade tallage jusqu'à un pic atteint au stade d'épiaison (floraison) et une baisse par la suite jusqu'au stade de remplissage des grains (Schalamuk *et al.*, 2006 ; Mandyam & Jumpponen, 2008 ; Hadj Youcef Taibi *et al.*, 2021).

Les arbuscules sont les principaux composants de la colonisation racinaire des CMA dans le système de culture sans labour ; ces structures assurent les échanges entre les deux partenaires symbiotiques (Brundrett *et al.*, 1995). Leur émergence au stade tallage dans le cortex racinaire est susceptible de refléter une bonne activité précoce des CMA (Jansa *et al.*, 2006) et une bonne santé racinaire (Castillo *et al.*, 2006).

En revanche, l'intensification des pratiques agricoles affecte négativement l'abondance et la diversité des CMA en provoquant une dilution de la matière organique et en perturbant la biomasse du mycélium fongique (Bourgeois *et al.*, 2015 ; Hadj Youcef Taibi *et al.*, 2020).

Ainsi, l'émergence et l'évolution positive d'arbuscules dans le cortex racinaire des plants de culture sans labour, du stade précoce à la dernière phase du cycle végétatif, démontrent l'efficacité de la culture sans labour par rapport au système de semis conventionnel (Balestrini *et al.*, 2015).

La biodiversité des champignons mycorhiziens arbusculaires a été améliorée par l'abondance relative de six familles de Glomales et l'émergence de nouvelles espèces de CMA. Ces résultats sont en faveur de l'adoption du système sans labour comme une approche pour restaurer le microbiome dans les agro-systèmes perturbés par le travail du sol (Hadj Youcef Taibi *et al.*, 2020).

5. Biodiversité et potentiel agricole

La performance accrue des plantes mycorhizées à puiser leur nourriture dans le sol et à résister aux stress environnementaux confère aux symbiotes fongiques un rôle de biofertilisant et d'agent de protection des cultures. Coté agricole, l'utilisation accrue des minéraux du sol par les plantes mycorhizées permet d'envisager une réduction substantielle de l'apport externe d'engrais et de pesticides tout en maintenant des rendements de culture au moins équivalents sinon supérieurs (Abbott & Robson, 1991).

Conclusion générale et perspectives

Les mycorhizes apparaissent comme un acteur clé des services écosystémiques. En effet, ces symbioses mycorhiziennes jouent un rôle primordial dans la bioséquestration du carbone, le cycle des nutriments, la biodiversité végétale et la productivité des écosystèmes agricoles. C'est pourquoi, à l'heure du développement durable, l'utilisation des mycorhizes représente un des enjeux majeurs, non seulement, pour une agriculture limitant les intrants chimiques et permettant une optimisation qualitative et quantitative de la production végétale mais aussi pour une gestion et une remédiation des sols dégradés respectueuses de la santé de l'homme et de son environnement (Lounes-Hadj Sahraoui, 2013).

Les systèmes de culture durable à faibles intrants ne pourront être viables que par une meilleure connaissance et maîtrise des interactions biologiques dans ces agro-systèmes. Les champignons mycorhiziens apparaissent parmi les organismes telluriques les plus importants à prendre en considération. Bien que leur potentiel soit reconnu, leur prise en compte dans les systèmes de culture reste à faire. Une bonne gestion des mycorhizes à arbuscules permettra de préserver et de mieux exploiter cette ressource naturelle qu'est le sol (Plenchette *et al.*, 2004).

De nombreux chercheurs ont étudié le rôle des CMA dans la productivité. Ces études ont montré l'importance, la diversité et l'abondance des propagules mycorhiziennes (Nadji *et al.*, 2017). Les résultats de ces études ont démontré que le système de culture sans labour a un impact positif sur la symbiose des CMA, comme le montre l'augmentation de la biomasse des CMA dans le sol et les pourcentages de colonisation des racines par les arbuscules. Ces résultats sont en faveur de l'adoption de ce système comme une approche pour restaurer le microbiome dans les agro-systèmes perturbés par le travail du sol (Hadj Youcef Taibi *et al.*, 2020).

Pour une meilleure productivité et durabilité, il est souhaitable de mener une étude analogue en utilisant la co-culture de la rotation blé/légumineuses pour améliorer les niveaux d'azote et de matière organique du sol (Hadj Youcef Taibi *et al.*, 2020). La gestion des CMA du sol peut également être bénéfique pour l'absorption des nutriments par les cultures (Elliott *et al.*, 2020). En outre, les effets des CMA sur les services écosystémiques autres que la production végétale, tels que la réduction des pertes de nutriments, de l'érosion ou des dommages causés par les agents pathogènes, méritent également d'être étudiés à l'avenir (Gianinazzi *et al.*, 2010). Une compréhension globale des rôles écologiques des CMA dans les systèmes agricoles permettra de se rapprocher de la technologie mycorhizienne intégrée et de nourrir une population humaine croissante (Rillig *et al.*, 2016).

Références bibliographiques

A

- * Abdellaoui, Z., Teskrat, H., Belhadj, A., Zaghouane, O. (2011). Étude comparative de l'effet du travail conventionnel, semis direct et travail minimum sur le comportement d'une culture de blé dur dans la zone subhumide. In : Bouzerzour H. (ed.), Irekti H. (ed.), Vadon B. (ed.). 4. Rencontres Méditerranéennes du Semis Direct. Zaragoza : CIHEAM / ATU-PAM / INRAA / ITGC / FERT, 2011. 71- 87 (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 96).
- * Abbott, L.K., Robson, A.D., (1991). Field management of VA mycorrhizal fungi. The rhizosphere and plant growth. *Kluwer Academic Publishers*, 355-362. https://doi.org/10.1007/978-94-011-3336-4_75
- * Abis, S., Blanc, P., Lerin, F., Mezouaghi, M. (2009). Perspectives des politiques agricoles en Afrique du Nord. *CIHEAM*, Options Méditerranéennes : Série B. Etudes et Recherches, (64), 238.
- * Abis, S., (2012). Le blé en Méditerranée sociétés commerce et stratégies. Économie et territoire relations commerciales, *CIHEAM*, 241-247.
- * Aïdaoui, A. et Hartani, T. (2000). Gestion de l'irrigation du blé dur par des indicateurs de l'état hydrique, Options Méditerranéennes, Série A. Zaragoza, (INA), El-Harrach, Algérie, 2000, 579 - 589. https://www.academia.edu/28697815/Gestion_de_lirrigation_du_bl%C3%A9_dur_par_des_indicateurs_de_l%C3%A9tat_hydrique
- * Aissa, A., Mhiri, A. (2002). Fertilisation phospho-potassique du blé dur en culture intensive en Tunisie. *Cahiers Agricultures*, 11(6), 391-397. <https://revues.cirad.fr/index.php/cahiers-agricultures/article/view/30366>
- * Aggoun, A., Benmahammed, K., Dekhili, M. (2006). Effets des facteurs environnementaux sur le poids des grains dans cinq populations algériennes de blé dur (*Triticum durum* Desf.), ed. J. Libbey Eurotext, cahiers d'études et de recherches francophones / *Agricultures*, 15(5), France, Septembre-Octobre 2006, 425-431.
- * Akiyama, K., (2007). Chemical identification and functional analysis of apocarotenoids involved in the development of arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Bioscience biotechnology and biochemistry*, 71(6), 1405-1414. <https://doi.org/10.1271/bbb.70023>
- * Altieri, M. A., Letourneau, D. K., Davis, J. R. (1983). Developing sustainable agroecosystems. *BioScience*, 33(01), 45-49. <http://agroeco.org/wp-content/uploads/2010/12/Bioscience-devSustAg.pdf>
- * Altieri, M. A., (1995). Agroecology: the science of sustainable agriculture. *Westview Press*, 433.
- * Amara, M., (2007). *Contribution à la modélisation interface outils aratoires sol optimisation de la forme et de l'effort de résistance à la traction des corps de charrues à socs et des outils à dents*. [Thèse de doctorat, Agr. ENSA.El harrach. Alger].
- * Amato, G., Ruisi, P., Frenda, A.S., Miceli, G.D., Saia, S., Plaia, A., Giambalvo, D., (2014). Long-term tillage and crop sequence effects on wheat grain yield and quality. *Agronomy Journal*, 105(5), 1317–1327. <https://doi.org/10.2134/agronj2013.0019>

- * Amigues, J. P., Debaeke, B. I., Lemaire, G., Seguin, B., Tardieu, F. and Thomas, A. (2006). Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Expertise scientifique collective, INRA, 72p.
- * Angar, H., Ben Haj Salah, H., & Ben-Hammouda, M. (2011). Semis direct et semis conventionnel en Tunisie : Les résultats agronomiques de 10 ans de comparaison. In H. Bouzerzour, H. Irekti, & B. Vadon (Eds.), Options Méditerranéennes: Série A, Séminaires Méditerranéens (No. 96 pp. 53-59). Rencontres Méditerranéennes du Semis Direct in Zaragoza : CIHEAM/ATU-PAM/INRAA/ITGC/FERT. <http://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=801418>
- * Archer, J. (1988). *Crop nutrition and fertilizer use* (2nd. Ed). Farming Press.
- * Attah, K. B. (2005). Regards sur l'industrie agro-alimentaire et la communauté agricole. *Statistique Canada*, 21(04).
- * Austin, R. B., Jones, H. G. Plant Breeding Institut. (1975). *The physiology of wheat*.

B

- * Bâ, A. M., Guissou, T., Duponnois, R., Danthu, P., Kondé, S., Baba, V., Sacko, O., Sidibé, D. and Plenchette, C. (2001). Controlled mycorrhizal infection and phosphate fertilizer use: applications to the domestication of the jujube tree. *Fruits*, 56(4), 261–269. <https://doi.org/10.1051/fruits:2001128>
- * Badri, DV., Weir, TL., van der Lelie, D., Vivanco, JM. (2009). Rhizosphere chemical dialogues: plant-microbe interactions. *Current opinion in biotechnology*, 20(6), 642–650. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2009.09.014>
- * Bais, HP., Weir, TL., Perry, LG., Gilroy, S., Vivanco, JM. (2006). The role of root exudates in rhizosphere interactions with plant and other organisms. *Annual Review of Plant Biology*, 57(01), 233-266. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.57.032905.105159>
- * Balestrini, R., Lumini, E., Borriello, R., & Bianciotto, V. (2015). Plant-soil biota interactions. *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry*, 311-338. London: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-415955-6.00011-6>
- * Béreau, M., Louisanna, E., De Grandcourt, A., Garbaye, J. (2003). Symbiose mycorhizienne et nutrition minérale. *Revue Forestière*, (sp), 74-83. <https://doi.org/10.4267/2042%2F5820>
- * Abdelkader, B. (2014). The history of wheat breeding in Algeria. *CIHEAM*, 01(110), 363-370. <http://om.ciheam.org/om/pdf/a110/00007092.pdf>
- * Bessaoud, O., Pellissier, J.P., Rolland, J.P., Khechimi, W. (2019). *Rapport de synthèse sur l'agriculture en Algérie*. CIHEAM-IAMM, pp.82. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02137632/document>
- * Boufnar-Zaghouane, F., Zaghouane, O. (2006). Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie (blé dur, blé tendre, orge et avoine). ITGC, ICARDA, 154 p.
- * Bonfante, P., Perotto, S. (1995). Strategies of arbuscular mycorrhizal fungi when infecting host plants. *New Phytologist*, 130(01) 3–21. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1995.tb01810.x>
- * Boulal, H., Zaghouane, O., El Mourid, M.R.S. (2007). Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blé et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). *ITGC*, 176p.

- * Boiffin, J., Malézieux, E., Picard, D. (2001). Cropping systems for the future. In Nösberger, J., Geiger, H. H., Struik, P. C. (eds.), *Crop Science: progress and prospects*, CABI Publishing, 261-280.
- * Bonfante, P., Genre, A. (2010). Mechanisms underlying beneficial plant-fungus interactions in mycorrhizal symbiosis. *Nature communications*, 1(04), 1-11. <https://doi.org/10.1038/ncomms1046>
- Bonfante, P., Requena, N. (2011). Dating in the dark: how roots respond to fungal signals to establish arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Current Opinion in Plant Biology*, 14(04), 451–457. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2011.03.014>
- * Bouzerzour, H., Monneveux, P. (1992). Analyses des facteurs de stabilité du rendement de l'orge dans les conditions des Hauts Plateaux algériens. In Séminaire sur la tolérance à la sécheresse. Inra France, *Les Colloques*, 64, 205-215.
- * Ben Naceur, M., Nailly, M., Selmi, M. (1999). Effet d'un déficit hydrique, survenant à différents stades de développement du blé, sur l'humidité du sol, la physiologie de la plante et sur les composantes du rendement. *MEDIT*, 99(2), 53-60.
- * Balzergue, C., Puech-Pagès, V., Bécard, G., Rochange, SF. (2011). The regulation of arbuscular mycorrhizal symbiosis by phosphate in pea involves early and systemic signalling events. *Journal of experimental botany* 62(03), 1049–1060. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq335>
- * Bourgeois, E., Dequiedt, S., Lelièvre, M., van Oort, F., Lamy, I., Maron, P. A., Ranjard, L. (2015). Positive effect of the Miscanthus bio energy crop on microbial diversity in waste water-contaminated soil. *Environmental Chemistry Letters*, 13(4), 495-501. <http://doi.org/10.1007/s10311-015-0531-5>
- * Buee, M., Rossignol, M., Jauneau, A., Ranjeva, R., Bécard, G. (2000). The pre-symbiotic growth of arbuscular mycorrhizal fungi is induced by a branching factor partially purified from plant root exudates. *Molecular plant-microbe interactions*, 13(6), 693–698. <http://doi.org/10.1094/MPMI.2000.13.6.693>
- * Berner, A., Hildermann, I., Fließbach, A., Pfiffner, L., Niggli, U., Mader, P. (2008). Crop yield and soil fertility response to reduced tillage under organic management. *Soil and Tillage Research*, 101(1-2), 89-96. <http://doi:10.1016/j.still.2008.07.012>
- * Brundrett, M., Bougher, N., Dell, B., Grove, T., Malajczuk, N. (1995). *Working with mycorrhizas in forestry and agriculture*. ACIAR. <https://www.aciar.gov.au/publication/working-mycorrhizas-forestry-and-agriculture>
- * Belaid, D. (1996). *Aspects de la céréaliculture Algérienne*. Alger : Office des Publications Universitaires.
- * Bonjean, A., Picard, E., (1990). *Les céréales à paille : origine, histoire, économie, sélection*. Softword/Groupe ITM, 208 p.
- * Bonjean, A., (2000). *L'histoire des blés des Limagnes d'Auvergne*. Ed. Limagrain, 98p.
- * Bonjean, A., Leblond, R., (2000). *Les Trésors du blé : du grain au pain*. Les Presses du Management. <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k33266083>
- * Bonjean, A. (2001). Histoire de la culture des céréales et en particulier de celle du blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Dossier de l'environnement de l'INRA, (21), 29-37.

<https://www.researchgate.net/publication/237348590> Histoire de la culture des cereales et en particulier de celle du ble tendre *Triticum aestivum* L

* Badraoui, M., Bouaziz, A., Kabbassi, M. (1992). Sols des Doukkala., contraintes physiques et potentialités pour une céréaliculture intensive. Vol. 1. Projet Développement et amélioration de la production céréalière en irrigué. DPV. MAMVA. Rabat.

*Baldy, C. (1983). Progrès récents concernant l'étude du système racinaire du blé (*Triticum* sp). *Ann.Agron*, 21(2) Paris. 241-276.

* Bouaziz, A., Souidi, B. (1997). Fertilisation azotée du blé dur (*Triticum durum* Desf L.) en irrigué dans les Doukkala (Maroc). 18(3), 139-150., Actes Inst. Agron. Veto, Maroc.

* Boulal, H., Zaghouane, O., EL Mourid, M., Rezgui, S. (2007). *Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie)*. TIGC, INRA, ICARDA, 176 p.

*Boyldeu, J. (1997). *Blé Tendre, Techniques Agricoles*. Fascicule n°2020.

C

*Camarago-Ricalde, S., Montano, N., De la Rosa-Mera, C., Montano, S. (2012). Mycorrhizes : Une formidable union sous le sol. *Revista Digital Universitaria*, 13(7).

<http://www.revista.unam.mx/vol.13/num7/art72>

* Capisano, (1997). Orges de brasserie, les préférées des malteurs. *Cultivar*, vol 392, 27-28.

* Chervet, A., Ramseier, L., Sturny, W. G., Tschannen, S. (2005). Comparaison du semis direct et du labour pendant 10 ans. *Revue Suisse d'Agriculture*, 37(6), 249-256. <https://www.verdeterreprod.fr/wp-content/uploads/2020/04/Comparaison-du-semis-direct-et-du-labour-pendant-10-ans.pdf>

* Cornet, A. (1980). Observation sur la capacité de rétention, ses relations avec les valeurs du potentiel et la texture des sols sableux du nord du Sénégal. *Cahiers ORSTOM*. Série Biologie : Agronomie, (42), 53-59.

* Courtoux, A., Claveirole, C. (2015,13 mai). *La bonne gestion de sols agricoles : un enjeu pour la société* [Avis]. CESE Sction de l'Agriculture, de la pêche et de l'alimentation.

* Coyne, MS. (2000). *La microbiologie du sol : une approche exploratoire* (1^e éd). Paraninfo S.A.

* Castillo, C.G., Rubio, R., Rouanet, J.L., Borie, F. (2006). Early effects of tillage and crop rotation on arbuscular mycorrhizal fungal propagules in an Ultisol. *Biology and Fertility of Soils*, 43(1), 83–92. <http://doi.org/10.1007/s00374-005-0067-0>

* Cardoso, I. M., Boddington, C., Janssen, B. H., Oenema, O., Kuyper, T. W. (2003). Distribution of Mycorrhizal fungal spores in soils under agroforestry and monocultural coffee systems in Brazil. *Agroforestry Systems*, 58(1), 33-43. <https://doi.org/10.1023/A:1025479017393>

*Chabi, H., Derouiche, M., Kafi, M. et Khilassi, E. (1992). Estimation du taux d'utilisation du potentiel de production des terres à blé dur dans le Nord de la wilaya desétif. Thèse. Ing. INA. El Harrach. 317p.

*Clément, J. M. (1981). *Larousse agricole* (3^e éd). Larousse.

D

*Demarly, Y., Sibi, M. (1996). Amélioration des plantes : phases successives de la création d'une variété. *Amélioration des plantes et biotechnologies* (2^e éd. 29p). John Libbey Eurotext.

*Demirbas, A. (2005). β -Glucan and mineral nutrient contents of cereals grown in Turkey. *Food Chemistry*, 90(4), 773-777. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.06.003>

*Despois, J. (1951). Le blé en Algérie. *Annales de Géographie* (pp.157-158). Armand Colin. https://www.persee.fr/doc/geo_0003-4010_1951_num_60_319_13231

*Duthil, J. (1973). *Eléments d'écologie et d'agronomie*. J.B. Baillière et Fils.

* Duponnois, R., Hafidi, M., Ndoye, I., Ramanankierana, H., Ba, A.M. (2013). *Des champignons symbiotiques contre la desertification : écosystèmes méditerranéens, tropicaux et insulaires*. IRD. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers15-04/010061524

* Duponnois, R., Hafidi, M., Wahbi, S., Sanon, A., Galiana, A., Baudoin, E., Bally, R. (2012). La symbiose mycorhizienne et la fertilité des sols dans les zones arides: un outil biologique sous-exploité dans la gestion des terres de la zone sahélo-saharienne. In A. Dia & D. Robin (Eds.), *La Grande Muraille Verte: Capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux* (pp. 351-369). IRD.

*Djermoun, A. (2009). La production céréalière en Algérie : Les principales caractéristiques. *Nature et technologie*, (1) ,45-53.

E

* Elliott, A. J., Daniell, T. J., Cameron, D. D., Field, K. J. (2020). A commercial arbuscular mycorrhizal inoculum increases root colonization across wheat cultivars but does not Increase assimilation of mycorrhiza acquired nutrients. *Plants, People, Planet*, 1-12. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10094>

F

* Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., ... Zaks, D. P. M. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature* 478(7369), 337-342. <https://doi.org/10.1038/nature10452>.

* Farooq, M., Flower, K.C., Jabran, K., Wahid, A., Siddique, K. (2011). Crop yield and weed management in conservation agriculture. *Soil & Tillage Research*, 117, 172, 183-183. <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.10.001>

* FAO, (2011). Save and Grow: A Policymaker's Guide to the Sustainable Intensification of Small holder Crop Production. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

* FAO. (2015). AQUASTAT Profil de Pays – Algérie.

* Faris, J. D. (2014). Wheat domestication: Key to agricultural revolutions past and future. In: Tuberosa, R., Graner, A., Frison, E., editors. Genomics of Plant Genetic Resources. Volume 1. Managing, Sequencing and Mining Genetic Resources. *Springer*, 1, 439-464.

*Feillet, P., (2000). *Le grain de blé. Composition et utilisation* (1^e éd). INRA.

- * Favier, J. C., Feinberg, M., Ireland-Ripert, J. (1995). *Répertoire Générale des Aliments* (2^e éd). INRA
- * Feldman, M., (2001). The origin of cultivated wheat. In: Bonjean, A.P., Angus, W.J. (eds.). *The world wheat book-A history of wheat breeding*. Lavoisier. Pp.3-55.
- *Ferreira, M. S. L. (2011). *Dynamique d'assemblage des protéines de réserve et du remplissage du grain de blé dur*. [Thèse de Doctorat, Centre international d'études Supérieures en sciences Agronomiques de Montpellier.]

https://www.supagro.fr/theses/extranet/11-0009_SIMOES.pdf

G

- * Galvez, L., Douds, Jr D., Wagoner, P. (2001). Tillage and Farming System Affect AM Fungus Populations, Mycorrhizal Formation, and Nutrient Uptake by Winter Wheat in a High-P Soil. *American Journal of Alternative Agriculture*, 16(4), 152–160. <https://doi.org/10.1017/S0889189300009139>
- * Garbaye, J. (2013). *La symbiose mycorhizienne : Une association entre les plantes et champignons*. Quae.
- * Gate P., (1995). *Ecophysiologie du blé : de la plante à la culture*. Lavoisier Technique et Documentation.
- *Gate, P., Giban, M. (2003). *Stades du blé*. ITCF.
- * Gianinazzi, S., Golotte, A., Binet, M. N., van Tuinen, D., Redecker, D., Wipf, D. (2010). Agroecology: The Key Role of Arbuscular Mycorrhizas in Ecosystem Services. *Mycorrhiza*, 20(8), 519-530. <https://doi.org/10.1007/s00572-010-0333-3>
- * Gavériaux, J. P. (2012). Les Glomeromycota – Mycorrhizes VAM et Geosiphon pyriformis (Kützing) Wettstein, *Bulletin Société Mycologique De France*, (92), 1-17. <https://docplayer.fr/46116380-Les-glomeromycota-mycorrhizes-vam-et-geosiphon-pyriformis-kutzing-wettstein.html>
- * Genre, A., Chabaud, M., Timmers, T., Bonfante, P., Barker, D. G. (2005). Arbuscular mycorrhizal fungi elicit a novel intracellular apparatus in *Medicago truncatula* root epidermal cells before infection. *The Plant Cell*, 17(12), 3489– 3499. <https://doi.org/10.1105/tpc.105.035410>
- * Giovannetti, M., Sbrana, C. (1998). Meeting a non-host: the behaviour of AM fungi. *Mycorrhiza*, 8(3), 123–130. <https://doi.org/10.1007/s005720050224>
- * Gliessman, S. R., (2007). *Agroecology: the ecology of sustainable food systems*. (2^e éd). CRC Press. [https://www.agrifs.ir/sites/default/files/Agroecology,%20The%20Ecology%20of%20Sustainable%20Food%20Systems,%20Second%20Edition%20-%20Stephen%20R.%20Gliessman%7D%20-%205B9780849328459%5D%20\(2006\).pdf](https://www.agrifs.ir/sites/default/files/Agroecology,%20The%20Ecology%20of%20Sustainable%20Food%20Systems,%20Second%20Edition%20-%20Stephen%20R.%20Gliessman%7D%20-%205B9780849328459%5D%20(2006).pdf)
- * Gobat, J. M., Arago, M. and Matthey, W. (2003). *Le sol vivant. Bases de pédologie, biologie des sols*. (2^e éd). Presses Polytechniques et Universitaire Romandes.
- * Godon, B. (1986). Transformation : industries de cuisson et industries de fractionnement. In : Fondation Française pour la Nutrition. Dossier Céréales : Conditions de production et de

transformation des céréales et qualité nutritionnelle. Bull. N 30, *Fondation Française pour la Nutrition*.

*Grancourt, C., Prats, J. (1970). *Les céréales*. (2^e éd). Collection d'enseignement agricole. J. Bailliere et fils.

*Grancourt, C., Prats, J. (1971). *Les céréales*. J.B. Bailliere et Fils.

H

* Hadj Youcef Taibi, H., Smail-Saadoun, N., Labidi, S., Abdellaoui, K., Makhlouf, M., Laouar, A., Tagmount Benouaret, C., Rezki-Sekhi, L, Belkebir Boukais, A., & Lounès-Hadj Sahraoui, A. (2020). The Influence of No-till Farming on Durum Wheat Mycorrhization in a Semi-Arid Region: A Long-Term Field Experiment. *Journal of Agricultural Science*, 12(4), 1916-9752. <https://doi.org/10.5539/jas.v12n4p77>

* Hadj Youcef Taibi, H. Smail-Saadoun, N. Djemel, A. (2021). Dynamics of wheat root colonization by arbuscular mycorrhizal fungi under contrasting soil tillage systems and its impact on grain yield. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 13(1), 468-483. <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v13i1.25>

* Haldore. H, N. E. Borlaug and R. Glenn A. (1982). *Wheat in the third world*. (1st ed. CIMMYT. <https://doi.org/10.4324/9780429267505>

* Hamadache, A. (2001). *Stades et variétés de blé*. ITGC.

* Hamadache, A., Abdellaoui, Z. et Aknine, M. (2002). Facteurs agrotechniques d'amélioration de la productivité du blé dur en Algérie. Cas de la zone sub-humide. *INRAA*, 6(10), 5-18. <https://www.asjp.cerist.dz/en/downArticle/214/6/10/75529>

* Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Alam, M., Roychowdhury, R. and Fujita, M. (2013). Physiological, Biochemical, and Molecular Mechanisms of Heat Stress Tolerance in Plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(5), 9643-9684. <https://doi.org/10.3390/ijms14059643>

* Hayden, B. (1990). Nimrods, Piscators, Pluckers and Planters: The Emergence of Food Production. *Journal of Anthropological Archaeology*, 9(1), 31-69. [https://doi.org/10.1016/0278-4165\(90\)90005-X](https://doi.org/10.1016/0278-4165(90)90005-X)

* Hayman, D.S. (1975). The occurrence of mycorrhiza in crops as affected by soil fertility. In F.E. Sanders, F.E., B. Mosse, B. and P.B. TinkerP.B. (eds.). *Endomycorrhizas*. Academic Press, 495-509.

* Hays, D. B., Do, J. H., Mason, R. E., Morgan, G. and Finlayson, S. A. (2007). Heat stress induced ethylene production in developing wheat grains induces kernel abortion and increased maturation in a susceptible cultivar. *Plant Science*, 172(6), 1113–1123.

* Heiser, C. B. (1990). *Seed to civilization: the story of food*. Harvard University Press.

* Huang, S., Sirikhachornkit, A., Su, Xiujuan., Faris, J., Gill, B., Haselkorn, R., Gornicki, P., (2002). Genes encoding plastid acetyl-CoA carboxylase and 3-phosphoglycerate kinase of the *Triticum/Aegilops* complex and the evolutionary history of polyploid wheat. *Proceedings of the national academy of science*, 99(12), 8133-8138. <https://doi.org/10.1073/pnas.072223799>

J

- * Jansa, J., Wiemken, A., & Frossard, E. (2006). The effects of agricultural practices on arbuscular Mycorrhizal fungi. *The Geological Society of London, Special Publications*, 266, 89-115. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2006.266.01.08>
- * Jantasuriyarat, C., M. I. Vales, C. J. W. Watson and O. Riera-Lizarazu, 2004. Identification and mapping of genetic loci affecting the free-threshing habit and spike compactness in wheat (*Triticum aestivum* L.). *TAG Theoretical and Applied Genetics*, 108(2), 261–273. <https://doi.org/10.1007/s00122-003-1432-8>
- * Johansson, J.F., Paul, L. R., Finaly, R.D. (2004). Microbial interaction in the mycorrhizosphere and their significance for sustainable agriculture. *FEMS Microbiology Ecology*, 48(1), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.femsec.2003.11.012>
- * Joner, E.J., Leyval, C. (2003). Rhizosphere gradients of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) dissipation in two industrial soils and the impact of arbuscular mycorrhiza. *Environmental Sciences & Technology*, 37(11), 2371-2375. <https://doi.org/10.1021/es020196y>
- * Jouve, A.M., Belghazi, S., Kheffache, Y. (1995). Filière des céréales dans les pays du Maghreb : constante des enjeux politiques. Les agricultures maghrébines à l'aube de l'an 2000, Options Méditerranéennes, série B / N° 14, 169-192. <http://om.ciheam.org/om/pdf/b14/CI960049.pdf>

K

- * Kabir, Z. (2005). Tillage or no-tillage: Impact on mycorrhizae. *Journal of Plant Science*, 85(1), 23-29. <https://doi.org/10.4141/P03-160>
- * Karandashov, V., Bucher, M., (2005). Symbiotic phosphate transport in arbuscular mycorrhizas. *Trends in Plant Science*, 10(1), 22-29. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2004.12.003>
- *Keeney, D.R. (1982). Nitrogen availability indexes. In: C. A. Blacket et al. (Ed.) *Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy 9. Am. Soc. Agron. Inc. Madison. Wis.* 711-730
- * Kelkouli, M., (2008). *Etude de l'effet de différentes techniques culturales utilisées en grandes cultures sur la rétention du sol en eau dans les conditions du semi-aride, région du Haut Cheliff, cas du blé.* [Thèse de Magister Agronomie ENSA.] http://dspace.ensa.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/764/1/kelkouli_m.pdf
- * Kirouani, A., Henkrar, F., Udupa, S. M., Boukhalfoun, L. and Bouzerzour, H. (2018). Genetic diversity in Algerian durum wheat varieties (*Triticum turgidum* L var. durum) using microsatellite markers. *Bioscience Journal*, 34(6), 1575-1583. <https://doi.org/10.14393/BJ-v34n6a2018-42332>

L

- * Laajimi, A., Murua, J.R. (1995). Transition de l'agriculture conventionnelle vers l'agriculture durable : quelques réflexions. In : Zekri S. (ed.), Laajimi A. (ed.). *Agriculture, durabilité et environnement.* Zaragoza : CIHEAM, 1995. p. 75-86 (Cahiers Options Méditerranéennes; n.9).
- * Laffont, J. M. (1985). *Le désherbage des céréales.* La nouvelle librairie : Agri-Nathan.
- * Lahlou, S., Ouadia, M., Malam Issa, O., Le Bissonais, Y. et Mrabet, R. (2005). Modification de la porosité du sol sous les techniques culturales de conservation en zone semi-aride marocaine. *Etude et gestion des sols*, 12(1), 69-76.

<https://www.researchgate.net/publication/284788901> Modification de la porosité du sol sous les techniques culturales de conservation en zone semi-aride Marocaine

* Laumont, P. et Erroux, J. (1961). *Inventaire des blés durs rencontrés et cultivés en Algérie. Mémoires de la Société d'Histoire Naturelle*, (5). La Typo Litho.

* Le Boulch, Mangne., F. (1999). Evaluation de la qualité sanitaire du blé. A propos des mycotoxines et des moyens de les détecter. *Phytoma*, 21-26.

*Lery. (1982). *L'agriculture au Maghreb, ou, pour une agronomie méditerranéenne*. G.-P. Maisonneuve et Larose.

* Lesouder, C. (2017). *Le raisonnement de la fertilisation P-K repose sur quatre critères*. Arvalis. <https://www.arvalis-infos.fr/le-raisonnement-de-la-fertilisation-pk-repose-sur-quatre-criteres-@/view-240-arvarticle.html>

* Lev-Yadun S., Gopher, A., Abbo, S. (2000). The cradle of agriculture. *Science*, 288(5471), 1602-1603. <https://doi.org/10.1126/science.288.5471.1602>

* Liu J., Maldonado-Mendoza, L. Lopez Meyer, M., Cheung, F., Town, C.D. & Harrison, M.J. (2007). Arbuscular mycorrhizal symbiosis is accompanied by local and systemic alterations in gene expression and an increase in disease resistance in the shoots. *The Plant journal*, 50(3), 529-544. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3113X.2007.03069.x>

* Lounes-Hadj Sahraoui, A. (2013). La Mycorhize a arbuscules : quels bénéfices pour l'homme et son environnement dans un contexte de développement durable ? *Revue des Sciences et de la Technologie*, 26(6), 06 -19. <https://www.researchgate.net/publication/272334149> La mycorhize a arbuscules quels benefices p our l'homme et son environnement dans un contexte de developpement durable

M

*Maciejewski, J. (1991). *Semences et plants*. Lavoisier Tec & Doc.

* Malki, M. et Redjel, N. (2000). Produire du blé dur et / ou conserver l'écosystème ? Standardisation des politiques, comportement des agriculteurs et dégradation de l'écosystème, Symposium Blé : Enjeux et stratégies. Alger 7-9 février, 2000, pp: 39-47.

* MADR. (2018). Annuaire statistiques du Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural.

* Mandyam, K., Jumpponen, A. (2008). Seasonal and temporal dynamics of arbuscular mycorrhizal and dark septate endophytic fungi in a tall grass prairie ecosystem are minimally affected by nitrogen enrichment. *Mycorrhiza*, 18(3), 145–155. <http://doi.org/10.1007/s00572-008-0165-6>

* Masle-Meynard, J. (1980). *L'élaboration du nombre d'épis chez le blé d'hiver. Influence de différentes caractéristiques de la structure du peuplement sur l'utilisation de l'azote et de la lumière*. [Thèse de Doctorat Ingénieur INA Paris Grignon]. <https://hal.inrae.fr/tel-02859472/document>

* Matile. (1993). *Les mauvaises herbes d'Afrique du nord* (948). Agriculture Maroc.

* Mazliak, P. (1998). *Physiologie végétale : croissance et développement* (1 vol). Hermann.

- * Meglouli, H., Lounès-Hadj Sahraoui, A., Magnin-Robert, M., Tisserant, B., Hijri, M., & Fontaine, J. (2018). Arbuscular mycorrhizal inoculum sources influence bacterial, archaeal, and fungal communities' structures of historically dioxin/furan-contaminated soil but not the pollutant dissipation rate. *Mycorrhiza*, 28(7), 635. <http://doi.org/10.1007/s00572-018-0852-x>
- * Miller, R. M., Reinhardt, D. R., Jastrow, J. D. (1995). External hyphal production of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in pasture and tallgrass prairie communities. *Oecologia*, 103(1), 17–23. <http://doi.org/10.1007/BF00328420>
- * Monneveux, P. et This, D. (1997). La génétique face au problème de la tolérance des plantes cultivées à la sécheresse : espoirs et difficultés, *Sécheresse*, 29-36.
- * Mekhlouf, A., Dehbi, F., Hannachi, A. et Harbi, M. (2012). Réponses du blé dur (*Triticum durum* Desf.) aux basses températures en relations avec la capacité de production. *Revue Agriculture*, (3), 13-23. <https://docplayer.fr/76759302-Makhlouf-et-al-13-reponses-du-ble-dur-triticum-durum-desf-aux-basses-temperatures-en-relations-avec-la-capacite-de-production.html>
- * Montano A. N.M., Cmarago-Ricalde, S.L., Garcia-Sanchez, R., Monroy, A. A. (2007). Arbuscular mycorrhizae in arid and semi arid ecosystems. *Distrito Federal*, 21, 460p.
- * Moore, K.J, Moser, L.E. (1995). Quantifying Developmental Morphology of Perennial Grasses. *Crop Science*, 35(1), 37-43. <https://doi.org/10.2135/cropsci1995.0011183X003500010007x>
- * Mossaddaq, F. (1990). *Nitrogen assimilation and remobilisation in relation to grain yield and protein inspring wheats*. [Thèse de Doctorat Colorado State University].
- * Moughli, L., (2000). Mineral fertilizers: Characteristics and uses. *Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II*, 72-74.
- * Moule, C. (1971). *Phytotechnie spéciale.2. Céréales*. La maison rustique.
- * Mrabet, R. (2001). Le semis direct : une technologie avancée pour une agriculture durable au Maroc. *MADREF – DERD*. (76), 4p. <http://agriculture.ovh.org>.
- * Mrabet, R. (2010). Climate change and carbon sequestration in the mediterranean basin: contribution of no tillage systems. Les actes des 4e Rencontres Méditerranéennes du Semis Direct. Sétif Algérie 3, 4, 5 mai 2010. *Recherche agronomique*. (N° spécial), 106-126
- * Muramatsu, M., 1963. Dosage effect of the spelta gene Q of hexaploid wheat. *Genetics*, 48(4), 469–482. <https://doi.org/10.1093/genetics/48.4.469>

N

- * Nadjji, W., Belbekri, N., Ykhlef, N., & Djekoun, A. (2017). Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi of durum Wheat (*Triticum durum* Desf.) fields of the East of Algeria. *Journal of Agriculture and Science*, 9(3), 117. <http://doi.org/10.5539/jas.v9n3p117>
- * Nagahashi, G., Douds, D. D. (2000). Partial separation of root exudate and their effects upon the growth of germinated spores of AM fungi. *Mycological Research*, 104(12), 1453–1464. <https://doi.org/10.1017/S0953756200002860>

* Naville, M. (2005). La biodiversité des espèces cultivées : Analyse dans le cas du blé, Paris : Université Paris XI.

O

* Olsson, P. A., Francis, R., Read, D. J., & Söderström, B. (1998). Growth of arbuscular mycorrhizal mycelium in calcareous dune sand and its interaction with other soil microorganisms as estimated by measurement of specific fatty acids. *Plant and Soil*, 201(1), 9-16. <https://doi.org/10.1023/A:1004379404220>

* Olsson, P. A., Thingstrup, J. I., & Bââth, E. (1999). Estimation of the biomass of arbuscular mycorrhizal fungi in a linseed field. *Soil Biology and Biochemistry*, 31, 1879-1887. <https://doi.org/10.1016/S0038-0717>

* ONFAA, (2016). Bilan du commerce extérieur Algérien des céréales. www.Onfaa.inraa.dz.

* Öpik, M., Zobel, M., Cantero, J. J., Davison, J., Facelli, J.M., Hiiesalu, I., Jairus, T., Kalwij, J.M., Koorem, K., Leal, M.E., Liira, J., Metsis, M., Neshataeva, V., Paal, J., Phosri, C., Põlme, S., Reier, Ü., Saks, Ü., Schimann, H., Thiéry, O., Vasar, M., Moora, M. (2013). Global sampling of plant roots expands the described molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycorrhiza* 23(5), 411–430. <https://doi.org/10.1007/s00572-013-0482-2>

* Oufroukh F., Hamadi M. (1993). Maladies et ravageur des céréales. In benchabane K.D. et Ould-Mekgloufi L. 1998. Evaluation phénologique de quelques variétés d'orge (*Hordeum vulgare* L.) et leur sensibilité vis-à-vis de *Drechslera graminea*, Rab.Mém. *Ing Agro.INA*, 59-62.

P

* Parniske, M. (2008). Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. *Nature reviews. Microbiology* 6(10), 763–75. <https://doi.org/10.1038/nrmicro1987>

* Paszkowski, U. (2006). A journey through signaling in arbuscular mycorrhizal symbioses. *New Phytologist*, 172(1), 35–46. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01840.x>

* Pictav, S. J. (1856). *Bulletin de l'Algérie*. (1^e éd). Just Rouvier.

* Pittelkow, M.C., Linquist, A.B., Lundy, E.M., Liang, X., Groenigen, J., Lee, J. (2015). When does no-till yield more? A global meta-analysis. *Field Crops Research*, 183, 156-168. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.07.020>

* Plenchette, C., Clermont-Dauphin, C., Meynard, J.M. & Fortin, J.A. (2004). Managing arbuscular mycorrhizal fungi in cropping systems. *Canadian Journal of Plant Science*, 85(1) <https://doi.org/31-40.10.4141/P03-159>

* Prasad, P. V. V., Staggenborg, S. A. and Ristic, Z. (2008). Impacts of Drought and/or Heat Stress on Physiological, Developmental, Growth, and Yield Processes of Crop Plants. In: L.R. Ahuja, V.R. Reddy, S.A. Saseendran, Q. Yu, editors, *Response of Crops to Limited Water: Understanding and Modeling Water Stress Effects on Plant Growth Processes*, *Adv. Agric. Systems*, 301-355.

R

- * Rambelli, A. (1973). The rhizosphere of mycorrhizae. In : Marks, G.C. and Kozlowski, T.T., Eds., *Ectomycorrhizae: Their Ecology and Physiology*. Academic Press, New York, 299-343. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-472850-9.50014-1>
- * Redecker, D., Kodner, R., Graham, L.E. (2000). Glomalean Fungi from the Ordovician. *Science*, 289(5486), 1920–1921. <https://doi.org/10.1126/science.289.5486.1920>.
- * Requena, N., Serrano, E., Ocón, A., Breuninger, M. (2007). Plant signals and fungal perception during arbuscular mycorrhiza establishment. *Phytochemistry*, 68(1), 33–40. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2006.09.036>
- * Reyes Jaramillo, I. (2001). La micorriza arbuscular (MA) centro de la rizosfera: comunidad microbologica dinamica del suelo. *Revue Contactos*, 81, 17-23.
- * Rillig, M.C., Sosa-Hernandez, M.A., Roy, J., Aguilar-Trigueros, C.A., Valyi, K., Lehmann, A. (2016). Towards an Integrated Mycorrhizal Technology: Harnessing Mycorrhiza for Sustainable Intensification in Agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1–5. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01625>
- * Rouabhi, A., Laouar, A., Mekhlouk, A., & Dhehibi, B. (2019). Socioeconomic Assessment of No-Till in Wheat Cropping System: A Case Study in Algeria. *New Medit*, 18(1), 53-64. <https://doi.org/10.30682/nm1901>
- * Ruel, T. (2006). *Document sur la culture du blé*. Educagri.
- S
- * Saha, S., B. Saha, S. Muru, S. Pati and P. Roy. (2014). Grain yield and phosphorus uptake by wheat as influenced by long-term phosphorus fertilization. *African Journal of Agricultural Research*, 9(6), 607-612. <https://doi.org/10.5897/AJAR2013.7525>
- * Sanon, K. B., Bâ, A. M., Delaruelle, C., Duponnois, R., Martin, F. (2009). Morphological and molecular analyses in Sclerotinia species associated with some Caesalpiniaceae legumes, Dipterocarpaceae and Phyllanthaceae trees in southern Burkina Faso. *Mycorrhiza*, 19(8), 571-584. <https://doi.org/10.1007/s00572-009-0272-z>
- * Sayoud, R., Ezzahiri, B., Bouznad, Z. (1999). *Les maladies des céréales et des légumineuses alimentaires au Maghreb*. ITGC.
- * Schüßler, A., Schwarzott, D., Walker, C. (2001). A new fungal phylum, the *Glomeromycota*: phylogeny and evolution. *Mycological Research*, 105(12), 1413–1421. <https://doi.org/10.1017/S0953756201005196>
- * Shujie, M., Yunfa, Q. (2011). Effect of phosphorus concentration on adaptive mechanisms of high-and-low-P efficiency soybean genotypes when grown in solution. *Plant Soil Environ*, 57(2), 61-66. <https://doi.org/10.17221/143/2010-PSE>
- * Sieverding, E. (1991). Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. GTZ, Eschborn.
- * Simon, H., Codaccioni, P., Lequeur, X. (1989). Produire des céréales à paille. *Science, Techniques, Applications*. 63 (67), 292 - 296.

- * Simons, K. J., Fellers, J. P., Trick, H. N., Zhang, Z., Tai, Y. S., Gill, B. S., & Faris, J. D. (2006). Molecular characterization of the major wheat domestication gene Q. *Genetics*, 172(1), 547–555. <https://doi.org/10.1534/genetics.105.044727>
- * Singh, M. P., (1969). Some radiation induced changes at the ‘Q’ locus in bread wheat. *Caryologia*, 22(2), 119–126. <https://doi.org/10.1080/00087114.1969.10796330>
- * Slama, A., Bensalem, M., Ben Naceur, M., Zid, A. (2005). Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. *Science et changements planétaires / Sécheresse*, 16(3), 225-229.
- * Smith, S., Read, D. (1997). *Mycorrhizal symbiosis*. (2nd ed). Academic Press.
- * Smith, S. E., Read, D. (2008). *Mycorrhizal symbiosis*. (3rd ed). Academic Press.
- * Soltner, D. (1990). *Les grandes productions végétales: Céréales, plantes sarclées, prairies*. (17^e éd). Sciences et Techniques agricoles.
- * Soltner, D. (1999). *Les grandes productions végétales*. (19^e éd). Sciences et techniques agricoles.
- * Soltner, D. (2005). *Les grandes productions végétales*. (20^e éd). Sciences et techniques agricoles.
- * St-Arnaud, M., Hamel, C., Caron, M. & Fortin, J.A. (1995). Endomycorhizes VA et sensibilité des plantes aux maladies : synthèse de la littérature et mécanismes d'interaction potentiels. In : Fortin J.A., Charest C., Piche Y. (eds). *La symbiose mycorhizienne, état des connaissances*. *Orbis*.
- * Stassart, P. M., Baret, P., Grégoire, J.-C., Hance, T., Mormont, M., Reheul, D., ... Visser, M. (2012). L'agroécologie: trajectoire et potentiel. Pour une transition vers des systèmes alimentaires durables. *Agroécologie, entre pratiques et sciences sociales* (pp. 25- 51). Educagri. <http://www.philagri.net/wp-content/uploads/2013/04/Agroecologie-Stassart-Baret-et-al.-GIRAF.pdf>
- * Stora, C., A. Berbecea, N. Baghina, I. Gaica, M. Stora, I. Radulov. (2013). Phosphorus dynamics on acidic grassland soil. *Research Journal of Agricultural Science*, 45(1), 78-83. https://www.researchgate.net/publication/284409195_Phosphorus_dynamics_on_acidic_grassland_soil
- * Schalamuk, S., Velazquez, S., Chidichimo, H., & Cabello, M. (2006). Fungal spore diversity of arbuscular Mycorrhizal fungi associated with spring wheat: Effects of tillage. *Mycologia*, 98(1), 16-22. <http://doi.org/10.3852/mycologia.98.1.16>
- * Statistiques Agricoles. (2018). Ministère de l'agriculture et du développement rural.
- * Surget, A., Barron, C. (2005). Histologie du grain de blé. *Industrie des Céréales*, 145, 3-7.

T

- * Tanwar, S.P.S., Shaktawat, M.S. (2003). Influence of phosphorus sources, levels and solubilizers on yield, quality and nutrient uptake of soybean (*Glycin max*)-wheat (*Triticum aestivum*) cropping system in southern Rajasthan. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 73(1), 3-7. https://www.researchgate.net/publication/291841848_Influence_of_phosphorus_sources_levels_and_solubilizers_on_yield_quality_and_nutrient_uptake_of_soybean_Glycine_max-wheat_Triticum_aestivum_cropping_system_in_southern_Rajasthan

* Thoen, D., Bâ, AM. (1989). Ectomycorrhizas and putative ectomycorrhizal fungi of *Afzelia africana* Sm. and *Uapaca guineensis* Müll. Arg. in southern Senegal. *New Phytologist* 113(4), 549-559. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1989.tb00368.x>

* Thomson, B., Hardy, G., Malajczuk, N., Grove, T. (1996). The survival and development of inoculant ectomycorrhizal fungi on roots of outplanted *Eucalyptus globulus* Labill. *Plant and Soil* 178(1), 247-253. <https://doi.org/10.1007/BF00011590>

* Tisdall J.M. (1991). Fungal hyphae and structural stability of soil. *Australian Journal of Soil Research*, 29(6), 729-743. <https://doi.org/10.1071/SR9910729>

V

* Van Groenigen, K. J., Bloem, J., Bååth, E., Boeckx, P., Rousk, J., Bodé, S., & Jones, M. B. (2010). Abundance production and stabilization of microbial biomass under conventional and reduced tillage. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(1), 48-55. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.09.023>

* Verhulst, N., Govaerts, B., Verachtert, E., Castellanos-Navarrete, A., Mezzalama, M., Wall, P., Deckers, J., Sayre, K.D., (2010). Conservation agriculture, improving soil quality for sustainable production systems? Food Security and Soil Quality, *Advances in Soil Science: Food Security and Soil Quality*, 137–208. https://www.researchgate.net/publication/270162268_Conservation_Agriculture_Improving_Soil_Quality_for_Sustainable_Production_Systems

* Vivekanandan, M., and P.E. Fixen, (1991). Cropping systems effects on mycorrhizal colonization, early growth, and phosphorus uptake of corn. *Soil Science Society of America Journal*, 55(1), 136-140. <https://doi.org/10.2136/sssaj1991.03615995005500010024x>

* Vos, C.M., Tesfahun, A.N., Panis, B., De Waele, D. & Elsen, A. (2012). Arbuscular mycorrhizal fungi induce systemic resistance in tomato against the sedentary nematode *Meloidogyne incognita* and the migratory nematode *Pratylenchus penetrans*. *Applied soil ecology*, 61, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.04.007>

W

* Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M. et Foolad, M. R. (2007). Heat Tolerance in Plants: An Overview, *Environmental and Experimental Botany*, 61(3), 199-223. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.05.011>

* Wadley, G., Martin, A., (1993). The origins of agriculture – a biological perspective and new hypothesis. *Australian Biologist*, 6(2), 96-105.

* Whipps, J.M. (2004). Prospects and limitations for mycorrhizas in biocontrol of root pathogens. *Canadian journal of botany*, 82(8), 1198-1227. <https://doi.org/10.1139/b04-082>

* Wipf, D., (2013, 15-16 novembre). *Les mycorhizes, une alliance plante-champignon découverte en 1885 et encore mal connue?* [Conférence]. 10ème rencontre Bourgogne Nature. Dijon. http://www.bourgogne-franche-comte-nature.fr/fichiers/pages-143a148-de-bn20-cahiers-ld_1484649625.pdf

- * Wright, S.F. & Upadhyaya, A. (1998). A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil* 198(1), 97-107. <https://doi.org/10.1023/A:1004347701584>
- * Wu, Q. S. (2017). *Arbuscular Mycorrhizas and Stress Tolerance of Plants*. Springer Nature. <http://doi.org/10.1007/978-981-10-4115-0>
- * Wezel, A., Jauneau J. C., (2011). Agroecology – interpretations, approaches and their links to nature conservation, rural development and ecotourism. Integrating agriculture, conservation and ecotourism. Springer Science, 1-25. http://doi.org/10.1007/978-94-007-1309-3_1

Z

- * Zahour, A. (1992). *Eléments d'amélioration génétique des plantes*. Actes. http://www.agrimaroc.org/books/Zahour_elements_amelioration_genetique_plantes.pdf