



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Amar TELIDJI- Laghouat

FACULTE : SCIENCES

DEPARTEMENT : SCIENCES AGRONOMIQUES

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : LAKHAL Feriha

DOMAINE : SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE (SNV)

FILIERE : SCIENCES AGRONOMIQUES

OPTION : AMÉLIORATION DES PLANTES

Thème

Estimation des pertes à la levée et des pertes en grains à la récolte mécanique du blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans une région aride de la wilaya de Laghouat

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
BOURAKNA Zineb	MCB	Présidente
SARIDI Abdelkader	MCB	Examineur
HATTAB Mourad	MCA	Encadreur



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Amar TELIDJI- Laghouat

FACULTE : SCIENCES

DEPARTEMENT : SCIENCES AGRONOMIQUES

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : LAKHAL Feriha

DOMAINE : SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE (SNV)

FILIERE : SCIENCES AGRONOMIQUES

OPTION : AMÉLIORATION DES PLANTES

Thème

Estimation des pertes à la levée et des pertes en grains à la récolte mécanique du blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans une région aride de la wilaya de Laghouat

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
BOURAKNA Zineb	MCB	Présidente
SARIDI Abdelkader	MCB	Examineur
HATTAB Mourad	MCA	Encadreur

Remerciements

Je rends, avant tout, grâce à Allah le Tout-Puissant, pour m'avoir guidée tout au long de mon parcours universitaire, et pour m'avoir accordé la volonté, la patience et le courage nécessaires à l'accomplissement de ce travail.

J'exprime mes plus sincères remerciements et ma profonde gratitude à mon encadreur, Monsieur HATTAB Mourad, pour son accompagnement, ses conseils précieux, sa bienveillance et l'intérêt qu'il a porté à ce travail.

Mes remerciements s'adressent également à Monsieur SARIDI Abdelkader, examinateur, et à Madame BOURAKNA Zineb, présidente du jury, pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'évaluer ce mémoire.

Je tiens aussi à remercier chaleureusement toutes les personnes qui m'ont apporté leur aide, de près ou de loin, dans la réalisation de ce travail.

Enfin, je dédie une pensée particulière à mes parents, dont le soutien moral, les encouragements constants et les sacrifices ont été essentiels. À eux, je dis tout simplement : merci.

Un grand merci à toute ma famille pour leur amour et leur soutien inconditionnel.

Dédicace

À toi, maman, douce étoile de mes nuits,

Dont les prières silencieuses ont guidé chacun de mes pas.

À toi, papa, pilier de ma force et de ma volonté,

Merci pour tes sacrifices et ton amour discret mais immense.

À mes frères chéris, Abdelrahmane, Nadjib et Djilali,

Présents dans les silences.

À mon petit ange, Mimo, qui apporte tant de douceur à ma vie.

À ma sœur Ahlam, tendre complice de mes joies et mes peines,

Merci pour ta lumière dans les jours sombres.

À ma sœur de cœur, celle que ma mère n'a pas mise au monde : Sarah,

Pour sa fidélité, son écoute et ses mots qui réconfortent.

À cette personne précieuse qui se reconnaîtra,

Pour son aide sincère, ses encouragements silencieux et sa présence bienveillante.

Et aux membres de ma famille qui m'ont véritablement soutenue,

Par un geste, un mot, ou une présence précieuse,

Ce travail porte aussi la trace de leur aide sincère.

".Seul on va plus vite, ensemble on va plus loin"

Résumé

Cette étude a été menée dans une région aride d'Algérie, durant la campagne agricole 2024/2025, avec pour objectif principal d'évaluer les pertes à la levée et les pertes en grains du blé dur (variété Vitron). Les résultats ont révélé des taux de pertes à la levée significativement élevés, principalement attribuables aux méthodes de semis à la volée, à une préparation inadéquate du lit de semence et à des densités de semis importantes. Malgré ces pertes initiales, le rendement biologique a atteint des niveaux remarquables, soulignant l'efficacité de l'irrigation d'appoint et de la fertilisation. La différence de rendement entre les champs a été liée à la rotation culturale et à l'approvisionnement en azote. Des pertes naturelles importantes ont été observées en raison d'événements climatiques extrêmes (pluies torrentielles et grêle) survenus au stade de maturation. Enfin, les pertes mécaniques à la récolte se sont avérées très élevées, largement supérieures à la moyenne nationale, principalement à cause d'un mauvais réglage des moissonneuses-batteuses. Cette étude met en évidence la nécessité d'une approche intégrée pour optimiser la production de blé dur dans les régions arides, en améliorant les techniques de semis, la gestion de la fertilité du sol, l'adaptation aux aléas climatiques et l'optimisation des pratiques de récolte.

Mots clés : Blé dur, pertes à la levée, pertes en grains, récolte mécanique, Laghouat.

ملخص

أجريت هذه الدراسة في منطقة جافة بالجزائر خلال الموسم الزراعي 2025/2024، بهدف رئيسي تقييم خسائر الإنبات وخسائر الحبوب في القمح الصلب (صنف فيترون). كشفت النتائج عن معدلات عالية لخسائر الإنبات التي تعزى أساسا إلى طرق البذر العشوائي، وإعداد غير كافي لمهد البذور، وكثافات بذر عالية. على الرغم من هذه الخسائر الأولية، وصل الإنتاج البيولوجي إلى مستويات ملحوظة، مما يسلط الضوء على فعالية الري التكميلي والتسميد. ارتبط اختلاف الإنتاج بين الحقول بالدورة الزراعية وتوفر النيتروجين. لوحظت خسائر طبيعية كبيرة بسبب الظواهر الجوية القاسية (أمطار غزيرة وبرد) التي حدثت في مرحلة النضج. أخيرا، تبين أن خسائر الحصاد الميكانيكي عالية جدا، متجاوزة بكثير المعدل الوطني، ويرجع ذلك أساسا إلى سوء ضبط آلات الحصاد. تسلط هذه الدراسة الضوء على الحاجة إلى نهج متكامل لتحسين إنتاج القمح الصلب في المناطق الجافة، من خلال تحسين تقنيات البذر، وإدارة خصوبة التربة، والتكيف مع المخاطر المناخية، وتحسين ممارسات الحصاد.

الكلمات المفتاحية : القمح الصلب، خسائر الإنبات، خسائر الحبوب، الحصاد الميكانيكي، الأغواط.

Abstract

This study was conducted in an arid region of Algeria, during the 2024/2025 agricultural campaign, with the main objective of evaluating emergence losses and grain losses of durum wheat (Vitron variety). The results revealed significantly high emergence loss rates, mainly attributable to broadcast sowing methods, inadequate seedbed preparation, and high sowing densities. Despite these initial losses, biological yield reached remarkable levels, highlighting the effectiveness of supplementary irrigation and fertilization. The yield difference between fields was linked to crop rotation and nitrogen supply. Significant natural losses were observed due to extreme weather events (torrential rains and hail) occurring at the maturation stage. Finally, mechanical harvesting losses proved to be very high, largely exceeding the national average, mainly due to improper combine harvester settings. This study highlights the need for an integrated approach to optimize durum wheat production in arid regions, by improving sowing techniques, soil fertility management, adaptation to climatic hazards, and optimization of harvesting practices.

Key words : Durum wheat, emergence losses, grain losses, mechanical harvesting, Laghouat.

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Le système racinaire du blé	05
Figure 2	Les principales parties de la tige du blé	06
Figure 3	Les composants de la feuille et de l'inflorescence du blé	07
Figure 4	Les différents stades de développement du blé	11
Figure 5	Localisation des régions d'étude	17
Figure 6	Carte des sols de la wilaya de Laghouat	19
Figure 7	Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen de la région Ben nacer Ben chohra	21
Figure 8	Climagramme d'Emberger de la région de Ben Nacer Ben Chohra	22
Figure 9	Vue du lit de semence obtenu dans les deux champs étudiés	25
Figure 10	Quadrat de 1 m ² pour évaluer les pertes à la levée et le rendement biologique	25
Figure 11	Deux bâtons guides déplaçables à l'intérieur du quadrat de 1 m ²	26

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Classification botanique des différents genres de la famille des Poacées	04
Tableau 2	Les stades de développement des céréales suivant l'échelle de Jonard, Feekes et Zadock	08
Tableau 3	Les précipitations moyennes mensuelles enregistrées à Ben Nacer Ben Chohra de 1981 à 2020	20
Tableau 4	Régime saisonnier de la région de Ben Nacer Ben Chohra	20
Tableau 5	Les températures moyennes mensuelles enregistrées à Ben Nacer Ben Chohra entre 1981 et 2022	21
Tableau 6	Valeurs servant au calcul du taux des pertes à la levée	30
Tableau 7	Valeurs servant au calcul du rendement biologique	31
Tableau 8	Valeurs servant au calcul du taux des pertes naturelles en grains	32
Tableau 9	Valeurs servant au calcul des pertes mécaniques en grains	33

SOMMAIRE

Remerciements	I
Dédicace	II
Résumé	III
Liste des figures	IV
Liste des tableaux	V
Introduction	01

CHAPITRE 1 : Synthèse bibliographique

1.1. Origine et histoire du blé dur	03
1.2. Zones de production de blé dur	03
1.2.1. Dans le monde	03
1.2.2. En Algérie	03
a- Zone à haute potentialité	03
b- Zone à moyenne potentialité	03
c- Zone à basse potentialité	03
1.3. Situation du blé en Algérie	04
1.4. Etude de la plante	04
1.4.1. Classification botanique du blé	04
1.4.2. Caractéristiques des blés	04
a- Caractéristiques génétiques	05
b- Caractéristiques morphologiques	05
b-1. La racine	05
b-2. La tige	06
b-3. La feuille	06
b-4. L'inflorescence	06
b-5. Le fruit (caryopse)	07
1.4.3. Cycle de développement du blé dur	08
a- Période végétative	09
a-1. Phase Germination-Levée (stade 1)	09
a-2. Phase 3-4 feuilles (stade 1)	09
a-3. Phase Début de tallage (stade 2)	09

a-4. Phase plein tallage (stade 3)	09
a-5. Phase Fin tallage (stade 4)	09
b- Période reproductrice	09
b-1. Phase Montaison (stade 5-7)	09
b-2. Phase Gonflement (stade 8-10)	10
b-3. Epiaison (stade 10-10.5)	10
b-4. Floraison (stade 10.5.1-10.5.3)	10
c- Période de remplissage et maturité du grain	10
c-1. Phase Grain laiteux (stade 11.1)	10
c-2. Phase Grain pâteux (stade 11.2)	10
c-3. Phase Grain dur (stade 11.4)	10
1.4.4. Les exigences de la culture du blé	11
a- Les exigences écologiques	11
a-1. La température	11
a-2. La Lumière	12
a-3. Le sol	12
a-4. L'eau	12
b- Conduite culturale	12
b-1. Préparation du sol	12
b-2. Mode de semis	12
b-3. Fertilisation	12
b-4. La récolte	13
b-5. Gestion des mauvaises herbes	13
b-6. Gestion des maladies et des insectes	13
1.4.5. Accidents physiologiques	13
a- La verse	13
b- L'échaudage	13
c- Excès du froid	13
d- Excès d'humidité	14
1.4.6. Stress abiotiques et effets sur la plante	14
a- Stress abiotiques	14
a-1. Le stress hydrique	14
a-2. Le stress salin	14
a-3. La température	14

CHAPITRE 2 : Présentation de la région d'étude

2.1. Situation géographique de la région d'étude	17
2.2. Géologie	17
2.3. Géomorphologie	17
2.3.1. Les reliefs	18
a- Les montagnes	18
b- Les piémonts	18
c- Les surfaces subhorizontales	18
2.3.2. Les Hautes surfaces (Glacis et Terrasses)	18
2.3.3. Les dépressions (Dayas)	18
2.4. Pédologie	18
2.5. Etude bioclimatique	19
2.5.1. Précipitations	20
2.5.2. Le régime saisonnier des précipitations	20
2.5.3. Températures	20
2.5.4. Synthèse bioclimatique	21
a- Diagramme ombrothermique	21
b- Climagramme d'Emberger	22

CHAPITRE 3 : Matériels et méthode

3.1. Objectif de l'étude	24
3.2. Matériel végétal	24
3.3. Conduite culturale des champs étudiés	24
3.4. Dispositif expérimental	25
3.5. Mesures et collecte des données	26
3.5.1. Estimation des pertes à la levée	26
3.5.2. Estimation du rendement biologique	27
3.5.3. Les pertes naturelles du blé dur	27
3.5.4. Les pertes en grains à la récolte mécanique du blé dur	28

CHAPITRE 4 : Résultats et discussion

4.1. Estimation des pertes à la levée	30
4.2. Estimation du rendement biologique	30
4.3. Estimation des pertes naturelles en grains	31

4.4. Les pertes en grains à la récolte mécanique	32
CONCLUSION GÉNÉRALE	35
Recommandations	36
Perspectives de recherche	37
Références bibliographiques	39

INTRODUCTION

Malgré les efforts d'optimisation des techniques culturales, les pertes de rendement demeurent une préoccupation majeure pour les agriculteurs. Ces pertes peuvent survenir à différentes étapes du cycle de développement de la plante. Parmi les plus critiques figurent les pertes à la levée, qui correspondent à la non-germination des semences ou à la mortalité des plantules après l'émergence, réduisant ainsi la densité de peuplement initiale. Les pertes en grains, quant à elles, se manifestent à la fin du cycle, notamment lors de la récolte, et peuvent être dues à des facteurs tels que l'égrenage, les maladies ou les ravageurs. La quantification précise de ces pertes est essentielle pour comprendre les mécanismes sous-jacents et développer des stratégies d'atténuation efficaces.

Dans la wilaya de Laghouat, une région aride de l'Algérie, la culture du blé dur est pratiquée sous irrigation d'appoint, ce qui permet de pallier en partie le déficit hydrique. Cependant, les spécificités climatiques et les pratiques culturales locales peuvent engendrer des pertes significatives, impactant la rentabilité des exploitations agricoles. C'est dans ce cadre que s'inscrit notre étude, menée sur des parcelles d'agriculteurs privés durant la campagne agricole 2024/2025, en utilisant la variété Vitron, largement cultivée dans la région pour son adaptation aux conditions locales.

L'objectif principal de ce travail est d'estimer les pertes à la levée et les pertes en grains du blé dur (variété Vitron) dans cette région aride de la wilaya de Laghouat. Plus spécifiquement, cette étude vise à quantifier les taux de pertes à la levée et les pertes en grains, à analyser les composantes du rendement (nombre d'épis par mètre carré, nombre de grains par épi, poids de mille grains), à identifier les facteurs agronomiques et environnementaux susceptibles d'influencer ces pertes et le rendement, et à proposer des recommandations pratiques aux agriculteurs pour optimiser la production de blé dur dans des conditions similaires.

Ce mémoire est structuré en plusieurs chapitres. Le premier chapitre présente une revue bibliographique détaillée sur le blé dur, incluant son origine, ses zones de production, sa situation en Algérie, une étude approfondie de la plante (classification botanique, caractéristiques génétiques, morphologiques, cycle de développement) et ses exigences culturales. Le deuxième chapitre est dédié à la présentation de la zone d'étude (géographie, géologie, géomorphologie, pédologie) et à une étude bioclimatique détaillée de la région. Le troisième chapitre décrit le matériel végétal utilisé, la conduite culturale des champs étudiés, le dispositif expérimental mis en place, ainsi que les mesures et méthodes de collecte des données. Le quatrième chapitre est consacré à la présentation et à la discussion des résultats obtenus concernant l'estimation des pertes à la levée, l'estimation du rendement biologique, et l'estimation des pertes naturelles et mécaniques en grains. Enfin, nous concluons cette étude par une formulation des recommandations pratiques ainsi que des perspectives de recherche future.

CHAPITRE 1

Synthèse Bibliographique

1.1. Origine et histoire du blé dur

Depuis plus de 7000 à 10000 ans le blé occupe le croissant fertile, zone couvrant la Palestine, la Syrie, l'Irak et une grande partie de l'Iran. Des vestiges de blés, diploïdes et tétraploïdes, remontant au VII^{ème} millénaire avant J.C ont été découverts sur des sites archéologiques au Proche Orient (Sadouki *et al.*, 2018). Le blé dur (*Triticum durum*) a été toujours cultivé dans les régions à climat de type méditerranéen telles que l'Afrique du Nord, le sud de l'Europe, et le Moyen Orient (Hannachi, 2017).

1.2. Zones de production de blé dur

1.2.1. Dans le monde

Le blé dur est cultivé traditionnellement dans tout le bassin méditerranéen. Aujourd'hui, il est cultivé pour la semoulerie en Amérique du Nord, en Europe, en Afrique du Nord, en Asie et au proche orient (Chibani *et al.*, 2022). Les principaux pays producteurs sont : La Chine, L'Inde, les Etats Unies Américaines, Fédération de Russie, Canada et France. La production mondiale des blés est environ 677 millions de tonnes durant la campagne 2009-2010. Par contre la consommation mondiale de blé est de 648 millions de tonnes (Siouda et Benkhelifa, 2016).

1.2.2. En Algérie

La zone céréalière en Algérie se subdivise en trois sous zones selon la pluviométrie annuelle totale et l'altitude.

a- Zone à haute potentialité

Le littoral dont l'altitude est inférieure à 300 m et la pluviométrie moyenne annuelle \geq 600 mm/an. Elle correspond aux plaines de : Algérois et Mitidja, Oranais, Mostaganem, et Annaba, etc. Les rendements moyens sont de 20 qx/ha (Mekaoussi, 2015).

b- Zone à moyenne potentialité

Cette zone au sublittoral où l'altitude est comprise entre 300 et 700 m avec une pluviométrie moyenne annuelle comprise entre 450 et 600 mm/an. Les rendements moyens sont de 5 à 15 qx/ha, elle correspond aux plaines de Sidi-Bel-Abbès, Chélif, Guelma, etc (Mekaoussi, 2015).

c- Zone à basse potentialité

Elle correspond à la zone semi-aride localisée dans les hauts plateaux de l'Est et de l'Ouest et dans le Sud du massif des Aurès, avec une altitude supérieure à 700 m et une moyenne de précipitations inférieure à 450 mm/an (Yallaoui-Yaici *et al.*, 2013). Les rendements sont souvent inférieurs à 8 qx/ha. Les céréales occupent presque la moitié de la superficie agricole utilisable (SAU) de cette zone (Mekaoussi, 2015).

1.3. Situation du blé en Algérie

Malgré ces avancées, des défis subsistent. Le coût de production d'un hectare de blé dur reste élevé, et les conditions climatiques variables peuvent affecter les rendements d'une année à l'autre (Agence.de.Presse.Africaine:.fr.apanews.net/news/lalgerie-annonce-larret-total-des-importations-de-ble-dur-en-2026)En résumé, l'année 2023 a été marquée par une progression significative vers l'autosuffisance en blé dur pour l'Algérie, avec des rendements record et une réduction notable des importations.

En 2023, l'Algérie a connu une amélioration notable dans sa production de blé dur, marquant une étape significative vers l'autosuffisance alimentaire.

Production et rendements La campagne agricole 2023 a été qualifiée d'« excellente » par les autorités. Les rendements ont dépassé les 55 quintaux par hectare dans plusieurs régions, atteignant jusqu'à 80 quintaux dans certaines zones du sud du pays. Ces chiffres dépassent largement les estimations présidentielles de février 2023, qui tablaient sur une autosuffisance avec un rendement moyen de 30 quintaux à l'hectare sur trois millions d'hectares emblavés (Maghreb Émergent: maghrebemergent.news/fr/production-de-ble-dur-en-algerie-vers-lautosuffisance-des-2026)

Réduction des importations Grâce à cette production abondante, l'Algérie a pu réduire ses importations de blé dur. Le ministre de l'Agriculture a annoncé que la production nationale prévue pour la saison agricole 2024/2025 permettra d'assurer l'autosuffisance du pays en 2026, éliminant ainsi le besoin d'importations pour cette variété de blé.(APS:.www.aps.dz/economie/172419-la-production-abondante-de-ble-dur-a-permis-d-assurer-1-2-milliard-de-dollars-au-profit-du-tresor) .

Impact économique Cette augmentation de la production a également eu un impact économique positif. La production abondante de blé dur a permis d'assurer 1,2 milliard de dollars au profit du Trésor(La.France.Agricole:www.lafranceagricole.fr/afrique/article/878884/le-defi-insurmontable-de-la-rentabilite-du-ble-en-algerie)

1.4. Etude de la plante

1.4.1. Classification botanique du blé

Le blé est une plante Monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* et à la famille des Poacées.

Tableau 1. Classification botanique des différents genres de la famille des Poacées (Feillet, 2000).

Famille	Sous famille	Tribu	Sous tribu	Genre	Nom commun
Gramineae	Festucoideae	TriticeaeAveneae	Triticineae	<i>Triticum</i>	Blé dur,Blé tendre
				<i>Secale</i>	Seigle
				<i>Hordeum</i>	Orge
				<i>Avena</i>	Avoine
		Oryzeae		<i>Oryza</i>	Riz
	Panicoideae	Tripsaceae		<i>Zea</i>	Mais

1.4.2. Caractéristiques des blés

Dans le genre *Triticum*, les deux espèces de blé, les plus cultivées sont le blé tendre (*Triticum aestivum*) et le blé dur (*Triticum durum*), mais il existe de nombreuses autres espèces (Feillet, 2000). Le blé tendre (*Triticum aestivum*) et le blé dur (*Triticum turgidum var. durum*) se distinguent l'un de l'autre par des caractéristiques génétiques, morphologiques et physiologiques (Hamadache, 2013).

a- Caractéristiques génétiques

Les espèces du genre *Triticum* se différencient par leur degré de ploïdie : blés diploïdes, à génome AA, blés tétraploïdes AA et BB, blés hexaploïdes AA, BB et DD, ainsi que par leur nombre de chromosomes qui sont respectivement : 14, 28 et 42 chromosomes (Feillet, 2000). Selon le même auteur le blé tendre possède les trois génomes AA, BB, et DD constitués chacun de sept paires de chromosomes homologues numérotés de 1 à 7 (A1...A7, B1.....B7 et D1 ...D7), soit au total 42 chromosomes ; le blé dur ne contient que les deux génomes AA et BB et 28 chromosomes.

b- Caractéristiques morphologiques

Comme toutes les Poacées la plante de blé (dur et tendre) se présente sous forme d'un certain nombre d'unités :

b-1. La racine

Le blé possède deux types de racines : les racines séminales ou primaires, issues de l'embryon et qui sont propres au maître-brin, et les racines secondaires ou adventives propres aux talles secondaires (Figure 1). Ces dernières prennent naissance des nœuds de la base et deviennent, plus tard, le système racinaire permanent de la plante. Selon Boulal *et al.* (2007), on compte normalement 5 à 8 racines séminales chez le blé tendre alors que chez le blé dur, en général il ne se forme que 6 racines. Pour les racines secondaires ou adventives celles du blé dur sont plus puissantes et descendent à des grandes profondeurs que celles du blé tendre (Hamadache, 2013).

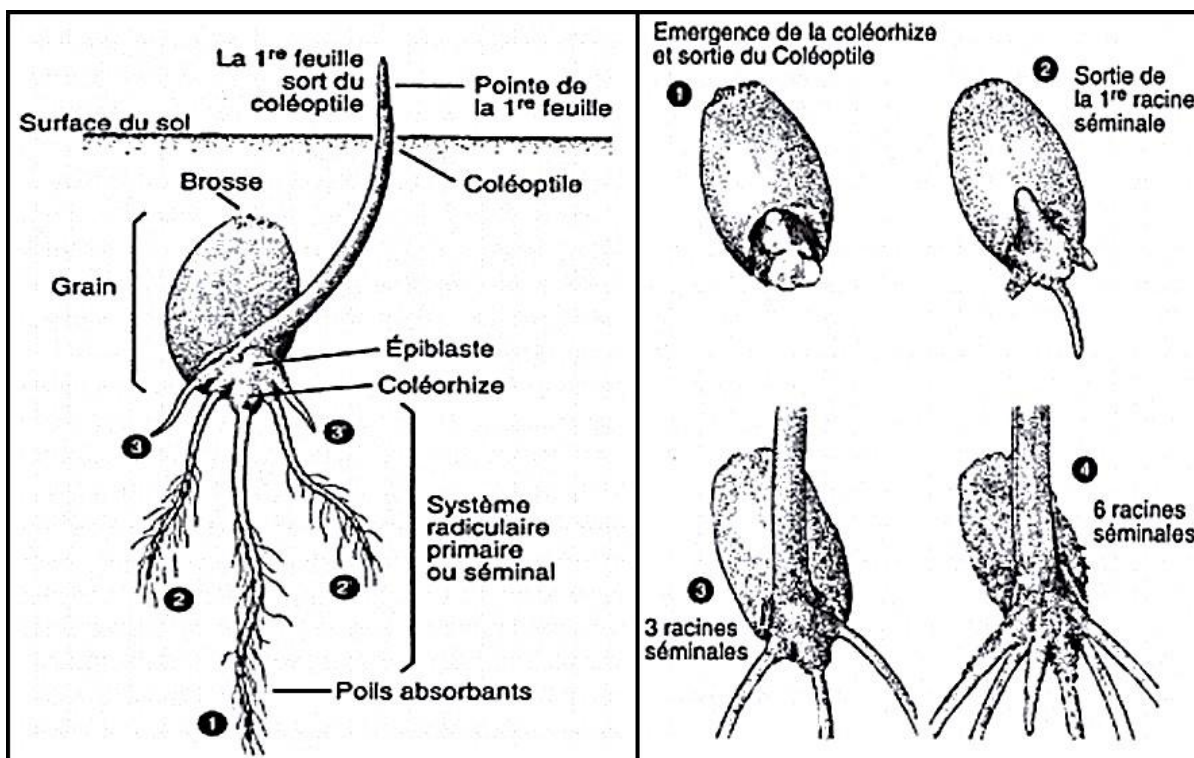


Figure 1. Le système racinaire du blé (Boyeldieu, 1997)

b-2. La tige

Sur la partie aérienne du blé on distingue une tige principale appelée le maître brin, et des tiges secondaires appelées talles qui naissent à la base de la plante (Figure 2). Chaque tige est composée de plusieurs entre-nœuds situés entre la base et le sommet. A maturité les tiges sont, soit semi-creuses pour certaines variétés de blé dur ou pleines pour le blé tendre.

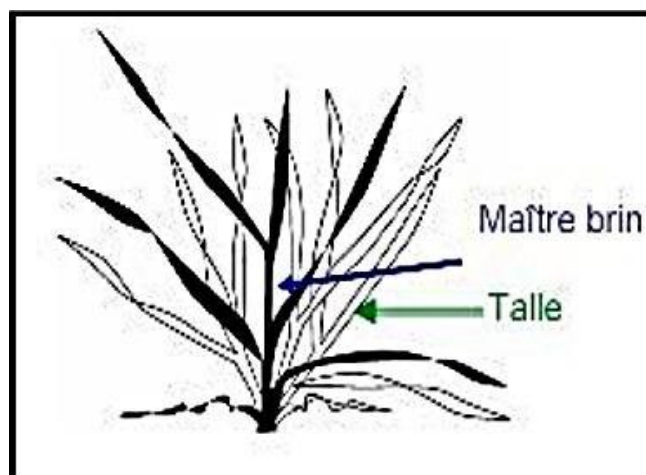


Figure 2. Les principales parties de la tige du blé

b-3. La feuille

La feuille est la source principale des assimilats produits par la photosynthèse et exportés vers les graines. Les feuilles sont disposées de part et d'autre de la tige en position opposées. Chaque feuille prend naissance à l'aisselle d'un nœud (Figure 3). Les feuilles sont gainées comme le reste des herbes, et elles se composent d'une gaine, qui est la partie qui les relie à la tige et la lame qui est la partie s'étendant à l'extérieur de la tige et exposée au soleil, la gaine est plus épaisse que la lame et ses bords sont fins et transparents. Le limbe mesure environ 5 à 8 cm de long, les oreilles sont des excroissances griffues de taille moyenne et leurs bords ont souvent de longs poils. La ligule est une longue croissance membraneuse qui entoure la tige à la connexion lorsque la gaine est attachée à la lame (Sallahedin *et al.*, 2008). Selon Boufenar-Zaghouan et Zaghouan (2006), le blé dur se distingue du blé tendre par un feuillage plus clair, totalement glabre et un tallage-épi plus faible.

b-4. L'inflorescence

L'inflorescence chez le blé est un épi (Figure 3), composé d'unités morphologiques de base. L'épi contient environ 20 épillets atrophiés alternativement en deux types opposés (Sallahedin *et al.*, 2008). La fleur comprend trois étamines et un ovaire, c'est une fleur hermaphrodite. L'épillet est constitué par une petite grappe de fleurs enveloppées de leurs glumelles (Hamadache, 2013). La fécondation a lieu à l'intérieur des glumelles, avant que les étamines n'apparaissent à l'extérieur, de ce fait la conservation de la pureté variétale sera parfaite (Soltner, 1999). Le blé dur a un épi compact, barbu à glumes longues fortement

carénées (Hamadache, 2013). La glumelle inférieure se termine par une longue barbe, le dos de la glume a une courbe régulière, et le rachis est non ridé (Mazoyer, 2002).

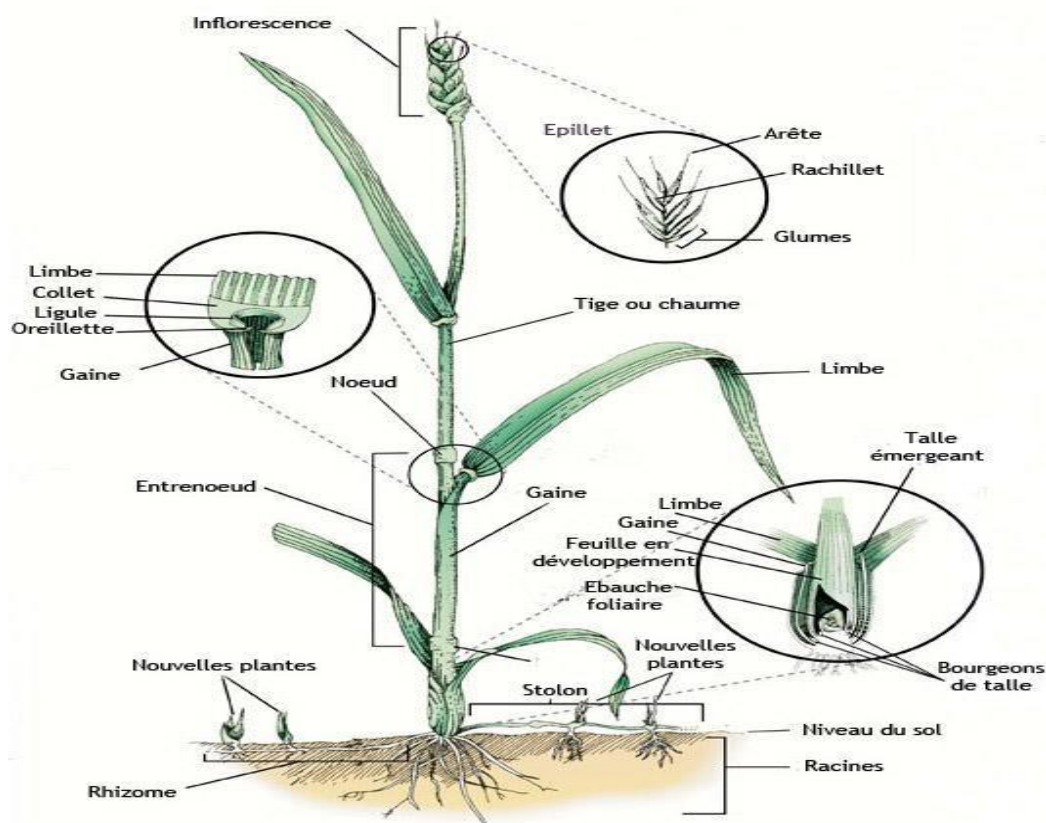


Figure 3. Composants de la feuille et de l'inflorescence du blé

b-5. Le fruit (caryopse)

Le fruit est un caryopse (grain soudé à l'ovaire). C'est un fruit sec indéhiscant. Le fruit du blé est un grain dont la longueur varie entre 3-10 mm et un diamètre de 3-5 mm et est composé de l'enveloppe de fructification (Sallahedin *et al.*, 2008). Selon Feillet (2000), le caryopse du blé se compose de trois régions :

▪ L'albumen

Une partie amylacée au sein de laquelle subsistent des cellules remplies de granules d'amidon dispersés au milieu d'une matrice protéique et dont les parois celluliques sont peu visibles, et aussi la couche à aleurone, l'albumen en forme 80 à 85 % de la graine.

▪ Les enveloppes

Elles sont au nombre de six et forment 13-17 % de la graine : épiderme du nucelle, tégument séminal ou testa, cellules tubulaires, cellules croisées, mésocarpe et épicarpe.

▪ Le germe

Il ne constitue que 3 % de la graine est composé d'un embryon lui-même formé de la coléoptile, de la gemmule, de la radicule, du coléorhize, de la coiffe et du scutellum.

1.4.3. Cycle de développement du blé dur

Le cycle de développement du blé est constitué d'une chaîne d'étapes séparées par des stades repères permettant de subdiviser en deux ou trois périodes la vie des céréales : Une période végétative durant laquelle la plante ne forme que des feuilles et des racines ; une période reproductrice dominée par l'apparition de l'épi et la formation du grain (Soltner, 1999). Hamadache (2013) subdivise le cycle du blé en trois périodes : végétative, reproductrice et période de remplissage et maturité du grain. Ces périodes sont constituées de stades clés suivant des échelles de développement différentes : telle que l'échelle de Jonard, Feekes et Zadocks (Tableau 2). Selon l'échelle de Feekes, les différentes périodes, sont décrites comme suit :

Tableau 2. Les stades de développement des céréales suivant l'échelle de Jonard, Feekes et Zadock (Hamadache, 2013)

	STADE	JONARD	FEEKES	ZADOKS	CARACTÉRISTIQUES (brin maître)
Levée	Levée			7	Sortie du coléoptile 1ère feuille traversant le coléoptile 1ère feuille étalée 2ème feuille étalée 3ème feuille étalée
	1 feuille		1	10	
	2 feuilles			11	
	3feuilles			12 13	
Tallage	Début tallage	A	2	21	Formation de la 1ère talle
	Plein tallage		3	22 23	2 à 3 talles
	Fin tallage		4	24 25	
Montaison	Début Montaison Épi à 1 cm	B	5	30	Sommet de l'épi distant à 1 cm du plateau de tallage
	1 nœud	C 1	6	31	1 nœud
	2 nœuds	C 2	7	32	2 nœuds
	Gonflement L'épi gonfle la gaine de la dernière feuille.		D	8	37
				9	39
			10	45	Gaine de la dernière feuille sortie
		Épiaison	E	10-1	49-51
	10-2			53	
	10-3			55	
	10-4			57	
	10-5			59	
	Floraison	F	10-5-1	61	Début floraison
			10-5-2	65	Demi-floraison
			10-5-3	69	Floraison complète
Maturation	Formation du grain	Mo	10-5-4	71	Grain formé
			11-1	75	Grain laiteux
			11-2	85	Grain pâteux
			11-3	91	Grain jaune
		M	11-4	92	Grain mûr

a- Période végétative

a-1. Phase Germination-Levée (stade 1)

Le blé germe dès que la température dépasse le zéro (0 °C). La levée est le premier stade du cycle de développement du blé et le début de la période végétative. Lors de cette phase, le sol est percé par la coléoptile, qui est un étui protecteur de la première feuille (Soltner, 1999). La levée est le passage à une vie autotrophe grâce à la chlorophylle contenue dans la première feuille, elle est notée lorsque 50 % des plantes sont sorties de la terre. Le taux de levée et sa vitesse dépendent de la faculté germinative de la semence, de l'état du lit de semence et du mode de semis (Hamadache, 2001). Durant cette première phase, le blé est très sensible aux conditions climatiques. L'excès d'eau en zones littorales et sublittorales, et le gel en zones des hautes plaines limitent l'enracinement et freinent la croissance (Hamadache, 2013).

a-2. Phase 3-4 feuilles (stade 1)

C'est le début de tallage, l'ébauche de la première talle ou mètre-brin apparaît à l'aisselle de la première feuille.

a-3. Phase Début de tallage (stade 2)

C'est la ramification du mètre-brin. La première talle apparaît à l'aisselle de la première feuille ; d'autres talles primaires naissent à l'aisselle des 2ème, 3ème et 4ème feuilles du mètre-brin, cette zone de ramification s'appelle le plateau de tallage ; c'est à ce moment qu'apparaissent les racines adventives. Ce sont des racines de tallage, ou coronales (Hamadache, 2001). Ce stade est souvent indiqué pour l'apport de l'azote en couverture et l'application des herbicides.

a-4. Phase plein tallage (stade 3)

Plante étalée et formation de nombreuses talles.

a-5. Phase Fin tallage (stade 4)

Le fin tallage correspond à la fin de la période végétative et le début de la phase reproductrice du cycle du blé. Les méristèmes apicaux des tiges commencent à former des pièces florales au lieu des feuilles. Le nombre final de talles est arrêté car la photopériode (longueur du jour) permet l'élongation des premiers entre-nœuds (Hamadache, 2001). C'est le début de la montaison. Le nombre des talles dépend de la variété, la densité de semis, la densité des racines adventives et la nutrition azotée (Soltner, 1999).

b- Période reproductrice

b-1. Phase Montaison (stade 5-7)

Durant cette période se différencient les ébauches de l'inflorescence. A ce stade la croissance et le développement de la céréale sont en phase exponentielle. Le jeune épi se trouve à 1 cm du plateau de tallage. C'est la bonne période pour le premier ou second (zone-

subhumide) apport d'azote, aussi la culture à ce stade craint les gels ou les températures inférieures à -4 °C, qui agissent sur la fertilité de l'épi (Hamadache, 2013).

b-2. Phase Gonflement (stade 8-10)

La gaine de la dernière feuille se trouve gonflée par l'épi encore dans la tige. A ce stade, le blé a initié une vingtaine d'épillets par épi. Durant cette phase, la méiose pollinique commence et les grains de pollen s'élaborent ; la méiose dure 1 à 2 jours. Une baisse de température peut induire une stérilité des gamètes mâles et une élévation des températures (> 30 °C) peut par contre engendrer une stérilité femelle (Hamadache, 2001).

b-3. Epiaison (stade 10-10.5)

L'épiaison débute lorsque les premières barbes ou le sommet de l'épi deviennent visibles au-dessus du col de la feuille étendard. Elle correspond à la sortie de 50% des épis de la gaine des dernières feuilles (Soltner, 1999).

b-4. Floraison (stade 10.5.1-10.5.3)

Elle correspond à l'apparition des étamines sur l'épi. La fécondation s'est déjà accomplie. Elle marque la fin de l'épiaison et le début de formation du grain. La tige et l'épi ont à ce stade achevé leur croissance. La tige possède alors 5 à 6 nœuds, le pédoncule, dernier entre-nœud, est le plus long (Hamadache, 2001).

c- Période de remplissage et maturité du grain

Au cours de cette dernière période, l'embryon se développe et l'albumen se charge de substance de réserve.

c-1. Phase Grain laiteux (stade 11.1)

C'est une phase de multiplication des cellules au niveau du jeune grain encore vert. En l'écrasant, il sort un liquide laiteux, la teneur en eau du grain est de 66 %. C'est le début du pallier hydrique ; un coup de chaleur accompagné d'un vent, à ce moment, provoque l'interruption de la migration des réserves des feuilles et de la tige vers le grain : c'est l'échaudage du grain, et le rendement peut chuter de 50 % (Hamadache, 2013).

c-2. Phase Grain pâteux (stade 11.2)

Il y a un remplissage des cellules des enveloppes par les sucres sous forme d'amidon. Le stade pâteux, correspond à la fin de la migration des réserves, le grain est de couleur jaune-vert. Il correspond à une teneur en eau du grain de 44 %. C'est la fin du pallier hydrique ; à ce stade le blé dur est utilisé en Algérie pour la fabrication du Frik (Hamadache, 2001).

c-3. Phase Grain dur (stade 11.4)

Cette phase correspond à la maturation physiologique, qui marque la fin du remplissage du grain. Le grain perd son humidité pour atteindre son poids sec final, il ne se laisse plus rayer par l'ongle. Cependant, le grain ne peut être moissonné qu'à une teneur en eau de 13-14 % (Boulal *et al.*, 2007).

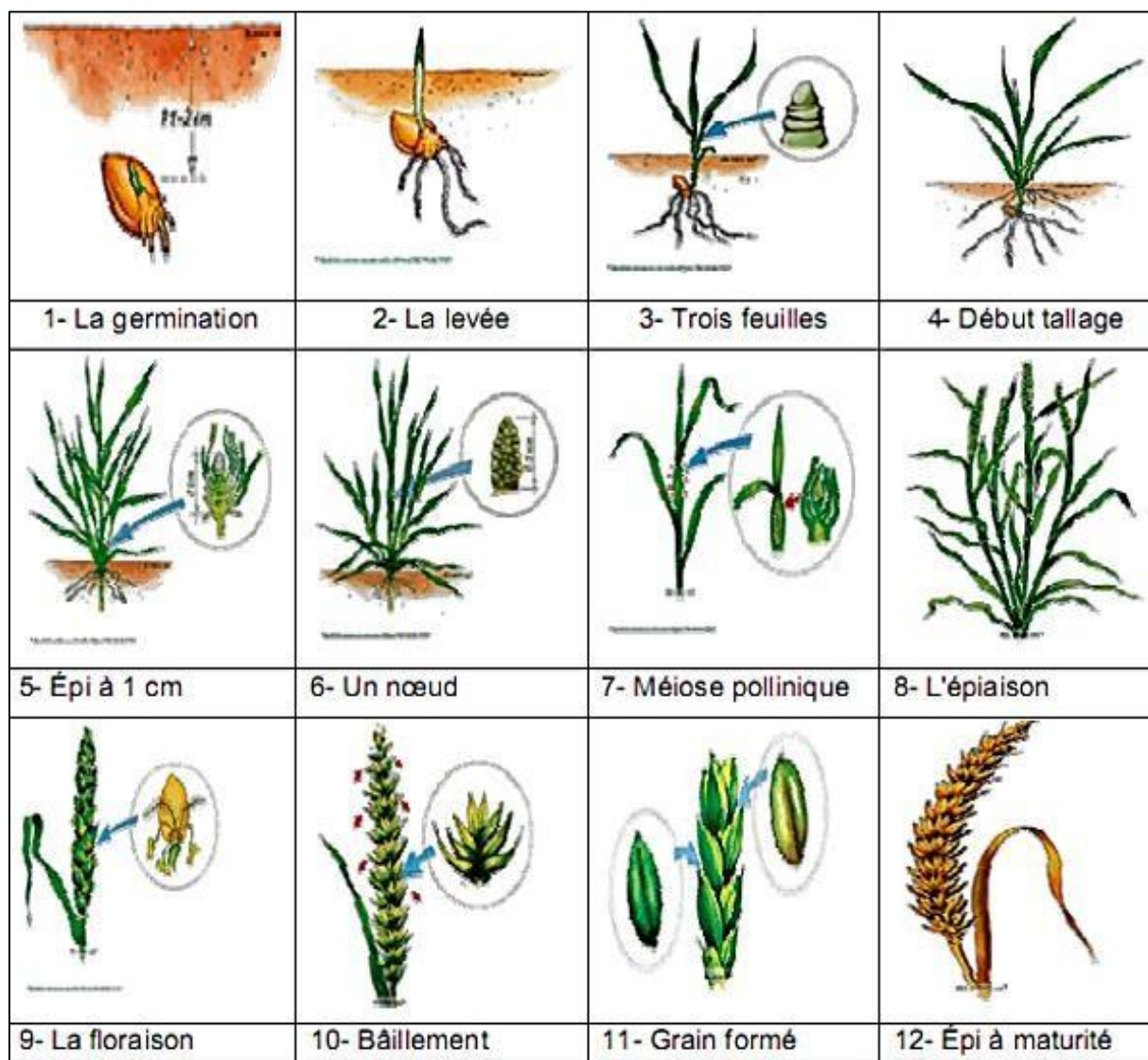


Figure 4. Les différents stades de développement du blé.

1.4.4. Les exigences de la culture du blé

a- Les exigences écologiques

a-1. La température

Le passage d'un stade du blé à l'autre est sous le contrôle de la somme des températures journalières subies par la plante (Hamadache, 2013). Une température supérieure à 0 °C est exigée pour la germination des céréales (Soltner, 1999). Selon Mekhlouf *et al.* (2001), les exigences en température pour les stades suivants sont décrites comme suit :

- Stade levée : La somme des températures = 120 °C.
- Stade tallage : La somme des températures = 450 °C.
- Stade plein tallage : La somme des températures = 500 °C.
- Stade épi 1 cm : La somme des températures = 600 °C.

a-2. La Lumière

Le plant de blé dur est considéré comme l'une des cultures avec une longue période d'éclairage, car il est de 12 à 14 heures, et il est très important, en particulier dans les régions froides, car il modifie l'effet des basses températures (Baldy, 1986). Une certaine durée du jour (photopériodisme) est nécessaire pour la réalisation du stade début montaison, et l'intensité lumineuse, et l'aération, agissent directement sur l'intensité de la photosynthèse, dont dépend le rendement (Soltner, 1999).

a-3. Le sol

Le sol est le support de la végétation, son garde-manger et son réservoir en eau. En effet, le sol agit par l'intermédiaire de ses propriétés physiques, chimiques et biologiques. Le blé apprécie les sols limoneux, argileux calcaires ou les sols argileux-siliceux profonds, il a besoin d'un sol sain, se ressuyant bien en hiver et à bon pouvoir absorbant (Maachi, 2005). Le sol doit être profond au moins 40 cm pour le blé dur et 30 cm pour le blé tendre. Le blé est sensible au calcaire et à la salinité. Un pH de 6,5 à 7,5 semble indiqué puisqu'il favorise l'assimilation de l'azote, et un pH très bas diminue l'assimilation, ce qui entrave la croissance et en particulier celle des racines (Bendif, 2017).

a-4. L'eau

L'eau joue un rôle primordial dans la croissance et le développement des plantes cultivées (Slama *et al.*, 2005). La sensibilité à la sécheresse peut concerner tout le cycle de la plante, du semis au stade maturité. La période végétative est moins sensible que la période reproductrice. Les besoins en eau sont estimés à environ 800 mm (Soltner, 1999). En zone aride, les besoins en eau sont plus importants vu les conditions climatiques défavorables. C'est de la phase épi 1 cm à la floraison que les besoins en eau sont les plus importants.

b- Conduite culturale

b-1. Préparation du sol

Le travail du sol constitue un facteur déterminant dans l'obtention de bons rendements. Il s'exécute en deux phases. Le labour pour l'ameublissement du sol en profondeur. Les façons superficielles pour préparer le lit de semence. Le choix de matériel de préparation du sol doit être en fonction de la nature des sols (légers ou lourds).

b-2. Mode de semis

Nécessite d'utilisation de semences sélectionnées et traités. La faculté germinative doit être supérieure à 90 %. Profondeur de semis : 2 à 3 cm. Dose de semis : 200 à 225 kg/ha (en fonction du PMG, FG, salinité et l'irrigation). Période de semis : de fin octobre à fin novembre (selon les zones).

b-3. Fertilisation

Fumure de fond : 184 unités de phosphore/ha. Dans les sols pauvres en potasse, il faut prévoir un apport de 100 unités de potasse/ha, une année sur deux.

Fumure de couverture (d'entretien) : l'azote est l'élément qui assure le rendement. Les besoins en azote sont de l'ordre de 4 à 6 qx/ha d'urée 46 % (184 à 276 unités d'azote). L'azote doit être fractionné comme suit : 1/3 à la levée, 1/3 au tallage et 1/3 à la montaison.

b-4. La récolte

Le grain de blé dur est mur lorsqu'il se casse sous la dent. Un taux d'humidité de 15 %, une hygrométrie de l'air ambiant inférieure ou égale à 70 % sont indiqués pour une bonne conservation (Si Bennasseur, 2005).

b-5. Gestion des mauvaises herbes

Les mauvaises herbes peuvent engendrer des pertes de l'ordre de 30 % de rendement. Le non contrôle des adventices ou leur contrôle inadéquat cause chaque année des pertes de rendements importants. Il est donc recommandé d'adopter une approche intégrée pour les maîtriser. La rotation des céréales avec des cultures nettoyantes, comme les légumineuses alimentaires, la betterave à sucre, le tournesol, ect., l'utilisation des semences certifiées et propres parmi d'autres techniques permettent de réduire leur impact sur les cultures. La lutte chimique est aussi conseillée comme moyen de lutte sûre et efficace (Si Bennasseur, 2005).

b-6. Gestion des maladies et des insectes

La culture de blé est fréquemment exposée à une multitude de stress abiotiques et biotiques. Les maladies cryptogamiques et les attaques d'insectes du blé dur constituent l'une des contraintes majeures qui empêchent l'amélioration des rendements. Les rouilles (brune et jaune), la septoriose, la pourriture des racines, l'helminthosporiose, la carie et l'oïdium sont les maladies dominantes. La cécidomyie, ou mouche de Hesse, les pucerons, ainsi que le cèphe sont les principaux ennemis du blé (Si Bennasseur, 2005).

1.4.5. Accidents physiologiques

a- La verse

Elle causée généralement par le vent fort, sachant qu'il est très difficile de protéger les cultures sous pivot, le rendement en bordure se trouve particulièrement touché (Houchiti, 2000).

b- L'échaudage

Les perturbations enregistrées sur la croissance en matière sèche sont fonction du stade de la maturation où les températures excessives apparaissent ; en l'occurrence le « palier » de poids d'eau constitue une phase critique de sensibilité (Ouaguini et Kahi, 2020).

c- Excès du froid

Les gelées coïncidant généralement avec la période de tallage, influent négativement sur la croissance des plantes (Houchiti, 2000).

d- Excès d'humidité

Il provoque le jaunissement qui se traduit par un développement chétif des plants, il cause aussi la propagation des maladies cryptogamiques et gêne la nutrition minérale des plantes (Grignac, 1977).

1.4.6. Stress abiotiques et effets sur la plante

a- Stress abiotiques

L'amélioration génétique du blé dur des zones arides est basée sur la recherche d'une meilleure tolérance aux stress abiotiques, pour adapter la plante à la variabilité du milieu de production (Amokrane, 2001).

Sous les conditions agro-climatiques de culture, tout au long de cycle du matériel végétal, il peut sujette de nombreuses contraintes qui influent de manière variable sur le potentiel de production. La fluctuation des rendements des céréales tire son origine en grande partie des effets de ces contraintes abiotiques (Bouzerzour et Benmahammed, 1994).

a-1. Le stress hydrique

Le déficit hydrique représente le stress abiotique le plus sévère auquel la culture du blé dur fait face dans les conditions de production des zones arides et semi- arides (Chennafi *et al.*, 2006). En effet, l'eau joue un rôle important dans la croissance et le développement des cultures. Le manque d'eau se traduit par une réduction de la croissance de la plante et de sa production par rapport au potentiel du génotype. Notre cas le problème ne se pose pas car l'irrigation est assurée complètement.

a-2. Le stress salin

La salinité des sols et de l'eau, est l'un des principaux facteurs abiotiques qui limitent la productivité végétale et le rendement agricole

. Dans les écosystèmes arides et semi arides, elle résulte des fortes évaporations d'eau à partir du sol ainsi que d'une pluviométrie irrégulière et insuffisante (Munns *et al.*, 2006).

a-3. La température

▪ **Les basses températures**

C'est rare que les basses températures hivernales affectent les blés sous climat méditerranéen. Au-dessus de milles mètres, lors des années où le froid survient sans enneigement des sols, le risque est signalé. La plupart des blés cultivés montrent une résistance limitée au froid, mais les parties endommagées sont généralement remplacées par des talles plus jeunes (Baldy, 1986).

▪ **Les températures élevées**

Parmi les facteurs très importants qui empêchent la maximisation des rendements, on peut citer les températures élevées. Elles affectent les organes floraux et la formation des fruits, ainsi

que le fonctionnement de l'appareil photosynthétique (El Madidi et Zivy, 1993). Une chaleur excessive agit sur la plante en provoquant une déshydratation résultant d'une transpiration accélérée. À 25 °C l'activité physiologique du blé est considérée maximale ; des températures de 28 à 32 °C sont considérées comme stressantes. Les hautes températures au-dessus de 30 °C affectent le poids final du grain en réduisant la durée de remplissage du grain (El khatib et Paulsen, 1984 ; Jenner, 1994). Au-delà de 32 °C, des dommages irréversibles pouvant aller jusqu'à la destruction de l'organe ou de la plante (Belhacen *et al.*, 1996). Une réduction du rendement grain des semis tardifs liée à une diminution du nombre d'épis et du poids moyen du grain est causée par les effets des hautes températures (Hauchinal *et al.*, 1993).

▪ L'ensoleillement

La lumière est un facteur climatique essentiel et nécessaire pour la photosynthèse. Néanmoins, elle peut devenir une source de stress par son intensité, éclairement trop faible ou trop élevé, conduisant à des phénomènes de photosensibilisation dangereux pour la plante.

CHAPITRE 2

Présentation générale de la région d'étude

2.1. Situation géographique de la région d'étude

Selon le découpage en zone homogène effectué pour la wilaya de Laghouat, la commune de Laghouat est située dans la zone homogène des hautes plaines semi-arides et arides à vocation agro-pastorale. Cette région d'étude est située dans la wilaya de Laghouat selon la figure 5.



Figure 5. Localisation de la région d'étude (carte tirée de Daoudi *et al.* (2021) modifiée par l'auteur)

2.2. Géologie

Le territoire de la wilaya s'étend sur deux domaines géologiques différents, notamment sur le plan de la structure et de l'évolution (Emberger, 1960 ; IAP, 1972 et Hannachi, 1981), ces domaines sont :

- L'Atlas Saharien au nord, formé par les monts des Amours et les monts des Ouled Nail ;
- La plate-forme Saharienne au Sud, formée par un ensemble de plateaux subtabulaires diversifiés selon leurs structures, leurs positions et la nature de la roche qui les constituent. Ces plateaux sont communément désignés par les noms arabes (Hmada et Reg).

2.3. Géomorphologie

Les paysages de la wilaya de Laghouat présentent une topographie typique des régions sèches, l'expression synthétique de l'interaction entre les facteurs climatiques et géologiques la caractérise par les reliefs plus ou moins abrupts, surtout de l'Atlas Saharien qui s'opposent aux

vastes surfaces subhorizontales dont les valeurs morphologiques ne sont pas les mêmes (Pouget, 1980 ; Djebaili, 1984 ; Aidoud-Lounis, 1984). Les géoformes peuvent se résumer à :

2.3.1. Les reliefs

Ce sont l'ensemble des inégalités de la structure terrestre de la wilaya, formés de relief de l'Atlas Saharien. Dans les reliefs montagneux de l'Atlas Saharien, deux aspects sont caractérisés par leur nature lithologique : les reliefs gréseux et les reliefs calcaires (Pouget, 1980). Les intervalles des altitudes permettent de distinguer à Laghouat trois formes de reliefs :

- a- Les montagnes** : constituées par les monts du Djebel Amour dont les altitudes varient entre 800 et 1720 m ;
- b- Les piémonts** : allongée d'Ouest en Est, présente une largeur réduite et elle correspond aux piémonts bas de l'Atlas Saharien et aux vallées des oueds Djedi, oued Atar et Oued M'zi ;
- c- Les surfaces subhorizontales** : appelées communément "Zone de Dayas" formée pratiquement d'un plateau plus ou moins ondulé dans les régions d'El Houita, Hassi Delaa et Hassi R'mel.

2.3.2. Les Hautes surfaces (Glacis et Terrasses)

L'Atlas saharien se retrouve soulevé en position dorsale par rapport au compartiment saharien et aux hautes plaines coincées entre les deux Atlas. Elles se présentent sous forme de surface d'érosion en pente douce, développées dans les régions semi arides au pied des reliefs. Elles forment l'ensemble des glacis, des terrasses, des chenaux d'oueds alluvionnés et des zones d'épandages et de débordements (Pouget, 1980).

2.3.3. Les dépressions (Dayas)

Ce sont des dépressions de type fermé aux bords faiblement inclinés, de formes grossièrement circulaires, parfois elliptiques mais toujours globuleuses et arrondies de diamètre très variables pouvant dépasser quelques centaines de mètres (Tricart, 1969). Peuplées de « *Pistacia atlantica* » au sud de Laghouat. Dans cette région elles couvrent environ 2 % de la surface des terrains de parcours (Monjauze, 1968).

2.4. Pédologie

Les sols des zones arides ont été décrits par plusieurs auteurs. Ils sont en général pauvres en humus, fragiles et peu profonds. La formation des sols est influencée non seulement par des précipitations insuffisantes mais aussi par une évaporation élevée.

D'après Houyou (2015), il est assez difficile de présenter de façon claire les domaines pédologiques de la wilaya de Laghouat. Ceci tient d'abord de l'importance de la taille de sa superficie globale. En outre les données pédologiques qui existent sur la wilaya de Laghouat sont relativement maigres et résultent en grande majorité d'un travail sous forme d'une prospection pédologique réalisée dans la wilaya sur 202 profils par BNEDER (2014), et d'une

carte des sols de l'Afrique élaborée en 1963 par l'institut géographique militaire de Bruxelles (CCTA, 1963 *in* Amrani, 2021).

La partie de cette carte qui traite les sols de l'Algérie, basés sur la classification française des sols où le facteur climatique joue un rôle essentiel dans la pédogenèse (vent, pluie, température) ensuite sur le degré de l'évolution du sol (nombre d'horizons différenciés), et sur le degré des lessivages (roche mère).

Selon Pouget (1980), Laghouat est considérée parmi les wilayat les plus riches sur le plan pédologique, en effet pratiquement tous les sols du Sud algérois cité par cet auteur sont rencontrés. Dans la partie qui couvre la wilaya de Laghouat (Figure 6), la carte montre une mosaïque dans laquelle cinq classes de sols sont dispersées (sols minéraux bruts, sols peu évolués, sols calcimagnésiques, sols isohumiques, et sols des dayas).

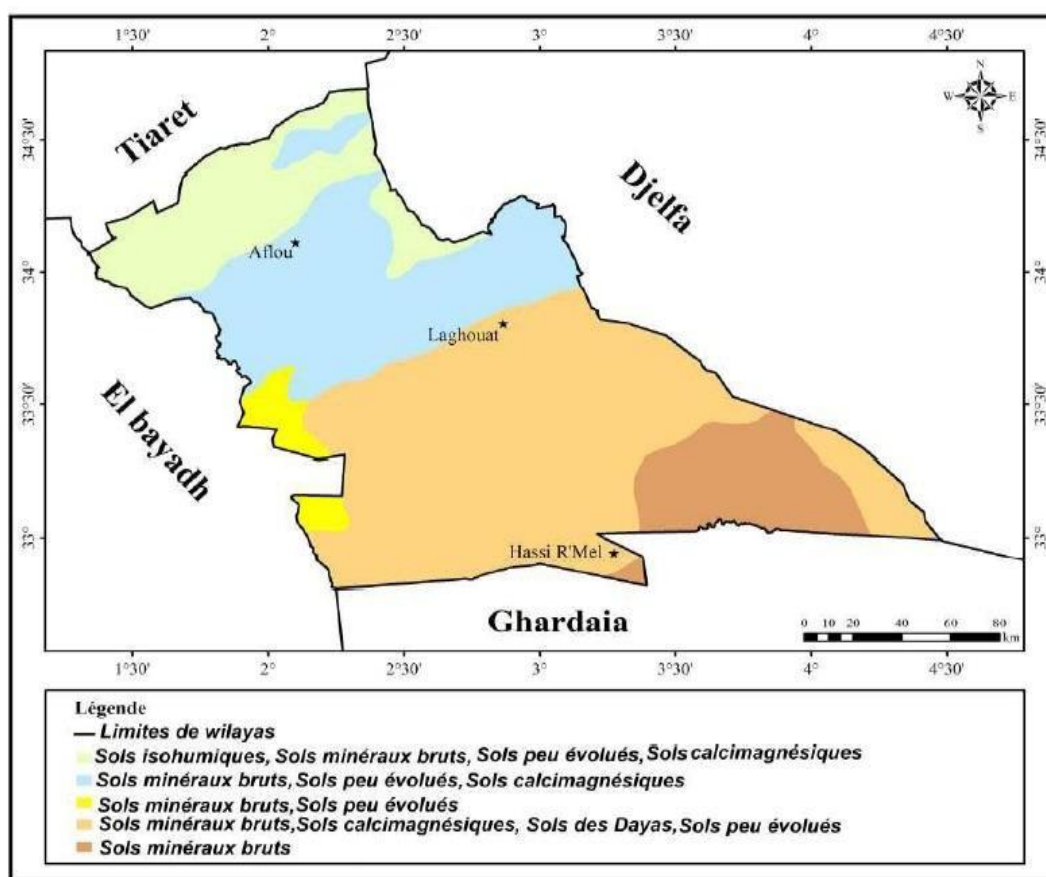


Figure 6. Carte des sols de la wilaya de Laghouat (Dérivée de CCTA, 1963 *in* Amrani, 2021)

2.5. Etude bioclimatique

Le climat est l'un des facteurs les plus déterminants du milieu naturel, notamment dans le développement du couvert végétal.

Le climat joue un rôle fondamental dans la distribution et la vie des êtres vivants. Il dépend de nombreux facteurs : vent, lumière, atmosphère, relief et nature du sol, voisinage ou éloignement de la mer (Faurie *et al*, 2003).

Dans la région des Hauts Plateaux, le climat est de type saharien et aride. La pluviométrie varie entre 150 mm au Centre et 50 mm au Sud. Les hivers sont caractérisés par des gelées blanches et les étés par une forte chaleur accompagnée de vents de sable.

2.5.1. Précipitations

À partir des données enregistrées sur une période de 40 ans (1981-2020) (Tableau 3), on constate que le cumul annuel des précipitations moyennes est d'environ 169,45 (mm) à Ben Nacer Ben Chohra.

Tableau 3. Les précipitations moyennes mensuelles enregistrées à Ben Nacer Ben Chohra de 1981 à 2020 (MERRA-2, 2022).

Mois	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	Cumul annuel
P (mm)	16,23	11,04	14,26	18,49	15,81	08,40	04,75	12,32	21,57	19,83	14,74	12,06	169,45

On constate aussi que le mois de Septembre est le mois le plus pluvieux à Ben Nacer Ben Chohra avec une moyenne mensuelle de 21,5 mm, et Juillet est le mois le plus sec avec une moyenne mensuelle de 04,75 mm.

2.5.2. Le régime saisonnier des précipitations

Tableau 4. Régime saisonnier de la région de Ben Nacer Ben Chohra

Répartition saisonnière des précipitations (mm)				Type du régime	Précipitations annuelles (mm)
Hiver (H)	Printemps (P)	Été (E)	Automne (A)		
39,33	48,55	25,47	56,12	APHE	169,45

Selon le tableau 4, le régime saisonnier de la région d'étude est de type APHE. La répartition saisonnière des précipitations de cette région montre que l'automne est la saison la plus pluvieuse, et l'été correspond à la saison la plus sèche. Au-delà des moyennes enregistrées, leur distribution annuelle à travers les saisons est assez irrégulière, entraînant ainsi un impact défavorable sur le développement et la croissance des cultures.

2.5.3. Températures

La température influence considérablement sur la végétation, elle est l'élément climatique le plus important dans l'aire de répartition des végétaux sur le globe.

Tableau 5. Les températures moyennes mensuelles enregistrées à Ben Nacer Ben Chohra entre 1981 et 2020 (MERRA-2, 2022)

MOIS	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juit	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
TM(C°)	19,45	21,97	26,16	30,32	35,38	39,93	41,62	41,19	37,38	31,51	24,81	20,282
Tm(C°)	-1,96	-2,19	-0,76	2,62	6,77	12,47	18,19	18,16	12,33	6,75	1,17	-1,81
M+m/2	8,74	9,89	12,70	16,47	21,08	26,2	29,90	29,67	24,86	19,13	12,99	9,23

Selon le tableau 5, les températures les plus basses sont enregistrées durant le mois de janvier dans la région d'étude, avec une température moyenne mensuelle de 8,74 °C. Tandis que le mois de juillet est le mois le plus chaud dans la région d'étude avec une température moyenne mensuelle de 29,90 °C.

En outre, si on considère que les gelées s'observent lorsque les températures minimales sont inférieures à 0 °C, la période des gelées s'installe donc dans cette région du mois de décembre jusqu'au mois de mars.

2.5.4. Synthèse bioclimatique

Les différents facteurs climatiques n'agissent pas indépendamment les uns des autres, pour tenir compte de cela, divers indices ont été calculés, principalement dans le but de rendre compte de la répartition des types de végétation. Les indices les plus employés utilisent la température et la pluviosité, qui sont les facteurs les plus importants et les mieux connus.

a- Diagramme ombrothermique

D'après Bagnouls et Gaussen (1953), un mois est sec lorsque les précipitations en millimètres sont inférieures ou égales au double de la température moyenne mensuelle en degrés Celsius ($p \leq 2T$).

À partir du diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1953) de la figure 7, on remarque que la région de Ben Nacer Ben Chohra ne présente aucune saison humide ; elle est marquée au contraire par une saison sèche qui s'étale sur toute l'année.

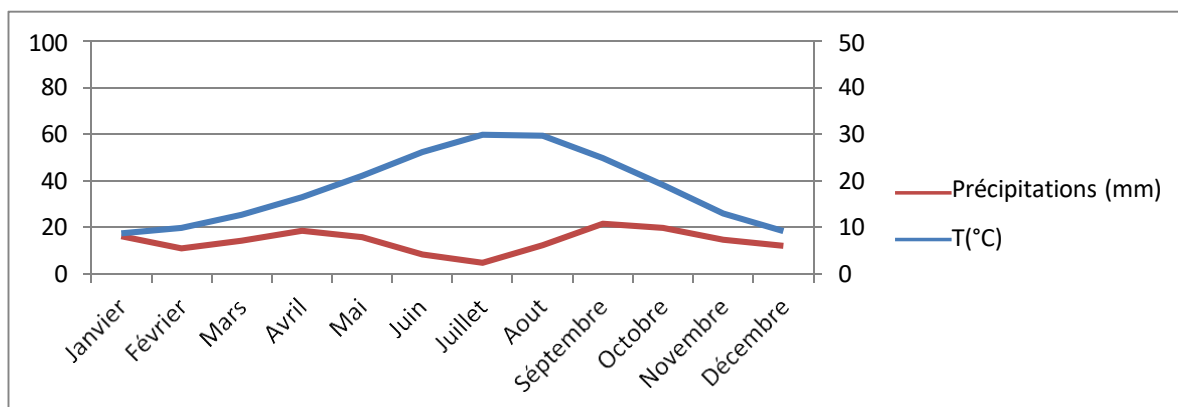


Figure 7. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen de la région Ben nacer Ben chohra

b- Climagramme d'Emberger

Le climagramme d'Emberger permet de connaître l'étage bioclimatique de la région d'étude, il est représenté en abscisses par la moyenne des minima des températures du mois le plus froid et en ordonnées par le quotient pluviothermique Q2 ; mais actuellement on calcule le quotient pluviothermique d'Emberger (Q2) selon la formule modifiée par Stewart (1969) :

$$Q2 = 3,43 \times P/M-m$$

- Q2 = Quotient pluviothermique d'Emberger.
- P = Pluviométrie moyenne annuelle exprimée en mm.
- M = Moyenne des températures maxima du mois le plus chaud exprimée en °C.
- m = Moyenne des températures minima du mois le plus froid exprimée en °C.

Afin de déterminer l'étage bioclimatique de la région de Ben Nacer Ben Chohra et le situer dans le climagramme d'Emberger, on a calculé le quotient pluviothermique pour cette région :

$$m = -2,19$$

$$M = 41,62$$

$$Q2 = 3,43 \times P/M-m$$

$$Q2 = 3,43 \times 169,45/41,62 + 2,19 = 13,27$$

$$Q2 = 13,27$$

D'après la figure 8, la région de Ben Nacer Ben Chohra se situe dans un étage bioclimatique saharien supérieur à hiver froid.

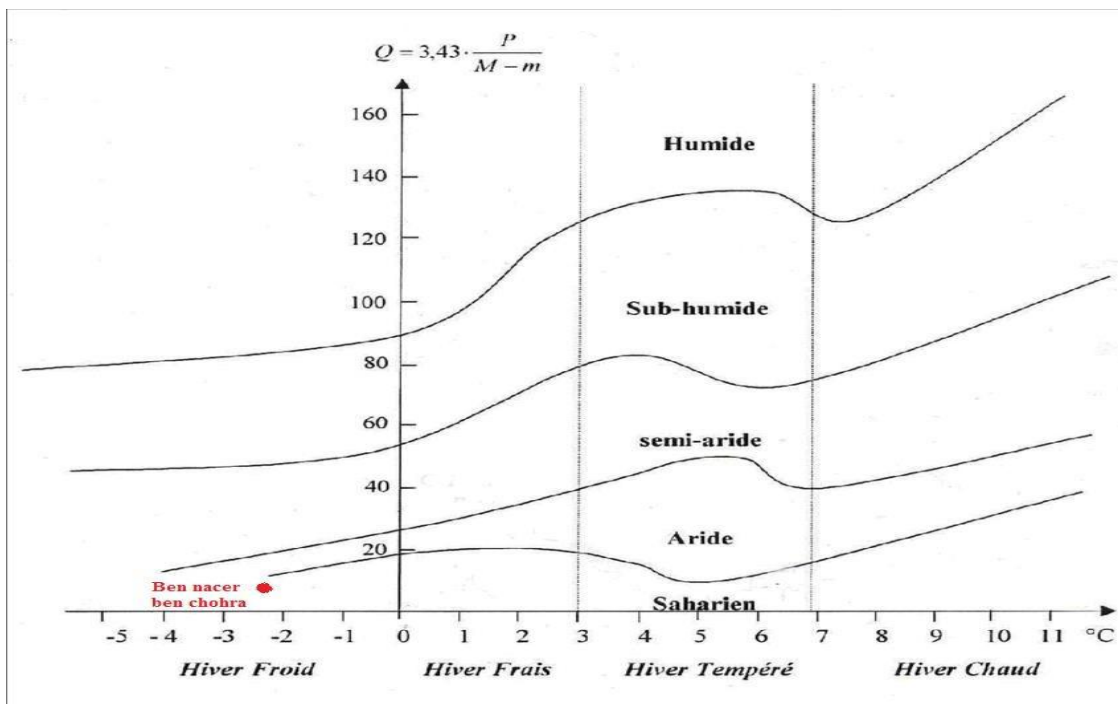


Figure 8. Climagramme d'Emberger de la région de Ben Nacer Ben Chohra

CHAPITRE 3

Matériels et Méthodes

3.1. Objectif de l'étude

L'objectif de cette étude est d'évaluer les pertes à la levée ainsi que les pertes en grains à la récolte mécanique du blé dur dans une région aride, en identifiant les principaux facteurs responsables de ces pertes. L'étude vise également à analyser l'impact des conditions climatiques, des pratiques culturales et des caractéristiques du sol sur le taux de levée et le rendement final du blé dur, afin de proposer des stratégies d'amélioration pour optimiser la production dans ces environnements contraignants.

3.2. Matériel végétal

L'étude a porté sur le blé dur (*Triticum durum* Desf.) variété Vitron. Ce choix de cette variété est principalement justifié par sa large diffusion et son adoption par la majorité des agriculteurs dans la wilaya de Laghouat.

La variété Vitron, d'origine espagnole, est décrite dans la littérature comme possédant une paille de hauteur moyenne à haute, un cycle végétatif demi-précoce et une capacité de tallage moyenne. Elle est notamment citée comme étant bien adaptée aux conditions des régions arides et semi-arides (Ladjal et Azouzi, 2014), ce qui la rend pertinente pour une étude dans la wilaya de Laghouat.

Les semences de la variété Vitron utilisées pour cette étude proviennent de l'Office Algérien Interprofessionnel des Céréales (OAIC) de la wilaya de Laghouat. Ces semences sont certifiées et traitées par un enrobage à base de fongicide contre toute maladie fongique pouvant entraver la germination et la levée du blé dur.

3.3. Conduite culturale des champs étudiés

L'étude a été conduite durant la campagne agricole 2024/2025 au niveau de deux champs de blé dur (variété Vitron) appartenant à deux agriculteurs différents et situant dans la commune de Ben Nacer Benchohra (Wilaya de Laghouat). Le premier champ a une superficie de 3,3 ha ; le deuxième a une superficie de 3 ha.

Dans les deux champs, un labour profond a été réalisé au mois de septembre avec une charrue à disque, suivi d'une reprise de labour effectuée une à deux semaine avant le semis avec un pulvérisateur à disque. L'opération du hersage n'a pas été réalisée malheureusement, ce qui a engendré un lit de semence motteux qui ne participe pas à notre avis à une levée adéquate et homogène du blé dur (Figure 9).

Le semis du blé dur a été effectué le 15 novembre 2024 au champ 1, et le 20 novembre 2024 au champ 2. Les semences ont été semis dans les deux champs à la volée à l'aide d'un épandeur d'engrais, suivi d'une opération de recouvrement des graines par un pulvérisateur à disque. La profondeur de semis n'a été pas contrôlée précisément par l'équipement utilisé. Une dose de semis de 364 kg/ha a été appliquée dans le champ 1 et 400 kg/ha dans le champ 2.



Figure 9. Vue du lit de semence obtenu dans les deux champs étudiés

Aucune fertilisation n'a été apportée dans le champ 2 ; tandis que dans le champ 1, une fertilisation de fond à base de mono-ammonium phosphate (MAP) a été épandue juste après le semis, suivie d'une fertilisation azotée à base d'urée a été réalisée au stade tallage du blé dur.

Notons enfin, que la luzerne était le précédent cultural au champ 2, alors qu'au champ 1 c'était le blé dur.

3.4. Dispositif expérimental

Au sein de chaque champ, un échantillonnage aléatoire a été réalisé pour estimer les paramètres liés aux pertes à la levée et aux composantes du rendement biologique. Selon la figure 10, la méthode d'échantillonnage consiste à placer aléatoirement un quadrat d'une surface de 1 m² en cinq points différents (5 répétitions).

L'évaluation des pertes à la levée a été réalisée au stade 3 feuilles du blé dur, c'est-à-dire 20 à 30 jours après le semis. Le rendement biologique a été évalué au stade grain pâteux de cette variété.

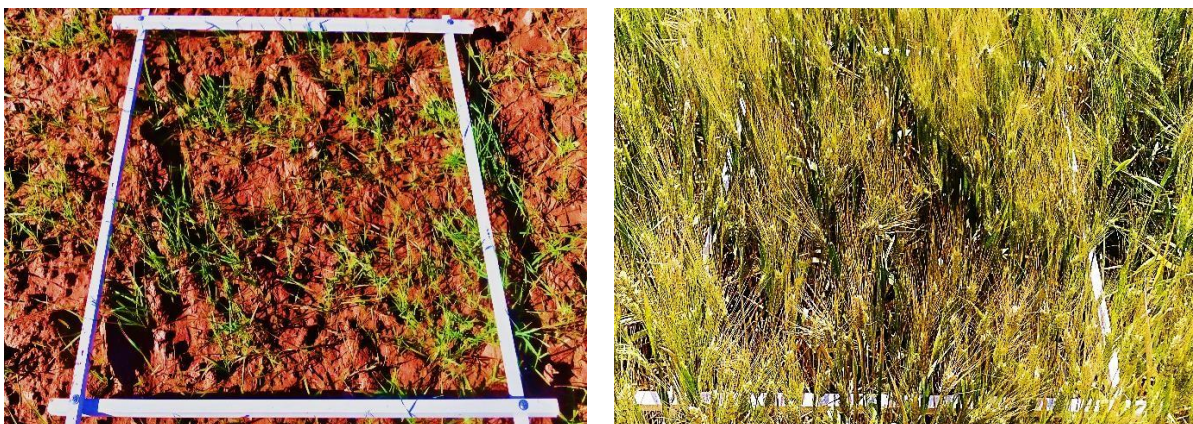


Figure 10. Quadrat de 1 m² pour évaluer les pertes à la levée et le rendement biologique

Pour le comptage des plantules ou bien des épis à l'intérieur de chaque quadrat de 1 m², une méthode systématique a été employée pour faciliter le dénombrement : deux bâtons d'un mètre de long chacun ont été placés comme guides, et les plantules ont été comptées par sections successives, délimitées par des déplacements approximatifs de 20 cm du bâton guide, jusqu'à couvrir l'ensemble de la surface du quadrat (Figure 11).

Dans le but d'estimer le taux des pertes en grains occasionnées par la récolte du blé dur, nous avons collecté 200 épis au mois de juin avant 1 à 2 jours de la moisson du blé dur par les agriculteurs des deux champs. Ces 200 épis ont été collectées dans 10 endroits aléatoires de chaque champ.



Figure 11. Deux bâtons guides déplaçables à l'intérieur du quadrat de 1 m²

3.5. Mesures et collecte des données

Les mesures suivantes ont été réalisées sur les deux champs étudiées afin d'estimer les pertes à la levée ainsi que les pertes en grains dues à la récolte du blé dur.

3.5.1. Estimation des pertes à la levée

Les pertes à la levée du blé dur sont estimées par la différence entre la densité de semis des graines viables et la densité de la levée que nous avons comptée dans chaque champ étudié.

$$\text{Densité de semis (graines viables/m}^2\text{)} = \frac{\text{Dose de semis (g)}}{10000} \times \frac{1000}{\text{PMG}} \times \text{FG en fréquence relative}$$

$$\text{Densité de semis (graines viables/m}^2\text{)} = \frac{\text{Dose de semis (g)} \times \text{FG en fréquence relative}}{10 \times \text{PMG}}$$

Pour la même variété du blé dur, le poids de mille grains (PMG) ainsi que la faculté germinative (FG) des semences sont légèrement variables d'un champ à un autre car il s'agit à partir de quel numéro de lot l'OAIC a fourni les semences de cette variété aux agriculteurs concernés. De ce fait, le PMG des semences dans le champ 1 est 50 g, et il est 49 g dans le champ 2. De même, la FG des semences dans le champ 1 est de 95 %, et elle est de 93 % dans le champ 2.

- La densité de la levée représente le nombre de plantules que nous avons comptées par 1 m² au stade 3 feuilles c.-à-d. après 20 à 30 jours de la date de semis.
- % **des pertes à la levée** = $\frac{\text{Densité des graines viables} - \text{Densité de la levée}}{\text{Densité des graines viables}} \times 100$

3.5.2. Estimation du rendement biologique

Plusieurs étapes ont été prises en considération pour estimer le rendement biologique du blé dur dans les champs étudiés. Premièrement, nous avons compté le nombre des épis par 1 m². Deuxièmement, nous avons collecté aléatoirement 10 épis dans le même 1 m² précédent. Troisièmement, nous avons compté le nombre des grains dans chaque épi collecté. Quatrièmement, nous avons calculé le nombre moyen de grains par un seul épi. Cinquièmement, nous avons multiplié le nombre des épis dans 1 m² par le nombre moyen de grains par un seul épi pour avoir le nombre de grains par 1 m². Sixièmement, nous avons calculé le poids des grains par un seul m² en se basant sur le nombre de grains par 1 m² ainsi que le PMG que l'agriculteur concerné a obtenu après la moisson de son champ. Finalement, le rendement biologique est estimé en multipliant le poids moyen des grains dans 1 m² (puisqu'il s'agit de 5 répétitions) par 10000 m².

$$\text{Nombre moyen de grains par épi} = \frac{\text{Nombre total des grains de 10 épis}}{10}$$

$$\text{Nombre de grains par m}^2 = \text{Nombre moyen de grains par épi} \times \text{Nombre d'épis par m}^2$$

$$\text{Poids des grains par m}^2 \text{ (g)} = \frac{\text{Nombre de grains par m}^2 \times \text{PMG récolté}}{1000}$$

$$\text{Poids moyen des grains par m}^2 \text{ (g)} = \frac{\sum \text{Poids des grains par chaque m}^2}{5 \text{ répétitions}}$$

$$\text{Rendement biologique (Qtx/ha)} = \text{Poids moyen des grains par m}^2 \text{ (g)} \times 10^{-1}$$

3.5.3. Les pertes naturelles du blé dur

Les pertes naturelles du blé dur sont liées, d'une part, aux facteurs biotiques comme les maladies, les ravageurs, et autres organismes vivants ; et d'autre part, aux facteurs abiotiques comme les précipitations à forte intensité ainsi que les vents violents.

Pour estimer ce type de pertes, nous avons calculé la différence entre le rendement biologique et le rendement évalué avant la moisson de 1 à 2 jours au mois de juin. Pour cela, nous avons collecté aléatoirement 200 épis dans chaque champ. La totalité des grains de ces 200 épis sont ensuite pesés pour connaître enfin le PMG récolté dans chaque champ.

$$\text{Nombre moyen de grains par épi} = \frac{\text{Nombre total des grains de 200 épis}}{200}$$

$$\text{Nombre moyen de grains par m}^2 = \text{Nombre moyen de grains par épi} \times \text{Nombre moyen d'épis par m}^2$$

$$\text{Poids moyen des grains par m}^2 \text{ (g)} = \frac{\text{Nombre moyen de grains par m}^2 \times \text{PMG récolté}}{1000}$$

$$\text{Rendement avant moisson (Qtx/ha)} = \text{Poids moyen des grains par m}^2 \text{ (g)} \times 10^{-1}$$

Pertes naturelles (Qt_x/ha) = Rendement biologique – Rendement avant moisson

3.5.4. Les pertes en grains à la récolte mécanique du blé dur

Les pertes en grains à la récolte mécanique du blé dur sont dues principalement au mauvais réglage de la moissonneuse-batteuse. Elles sont calculées par la différence entre le rendement que nous avons estimé avant la moisson de 1 à 2 jours et le rendement récolté par l'agriculteur.

Pertes mécaniques = Rendement avant moisson – Rendement récolté par l'agriculteur

CHAPITRE 4

Résultats et Discussion

4.1. Estimation des pertes à la levée

Visiblement, le semis à la volée à l'aide d'un épandeur d'engrais pratiqué par beaucoup d'agriculteurs dans la wilaya de Laghouat ne permet pas de respecter les normes idéales des paramètres liés à la levée du blé dur. Selon le tableau 6, la dose de semis dépasse largement la dose recommandée qui est de 120 à 200 kg/ha (Si Bennis, 2005). Ceci, va se répercuter sur la densité totale de semis qui est très élevée dans les deux champs par rapport à celle recommandée qui est de 300 à 350 graines/m² en irrigué (Meza *et al.*, 2023). Nous remarquons qu'il y a une forte hétérogénéité de la levée d'un point à un autre dans les deux champs, cela est fort probablement dû, d'une part au mauvais préparation de lit de semence qui nous semble motteux, et d'autre part au mode de semis pratiqué qui engendre une forte hétérogénéité sur la répartition spatiale des graines semées ainsi que sur la profondeur de semis. Tous ces causes ont participé aux taux élevés des pertes à la levée observés dans les deux champs et qui sont supérieurs aux taux normaux dans des bons conditions (15 à 20 %) (ARVALIS, 2021).

Tableau 6. Valeurs servant au calcul du taux des pertes à la levée

	Champ 1	Champ 2
Nombre de plantules par chaque 1 m² (5 répétitions)	437	420
	195	550
	460	630
	480	410
	665	280
Nombre moyen de plantules levées par m²	448 ± 167,62	458 ± 135,54
Dose de semis (kg/ha)	364	400
PMG (g)	50	49
Faculté germinative FG (%)	95	93
Densité totale de semis (graines/m²)	728	816
Densité des graines viables par m²	692	759
Nombre des graines viables non germées	244	301
Pertes à la levée (%)	35,26	39,66

4.2. Estimation du rendement biologique

Malgré presque la même conduite culturale pratiquée dans les deux champs, toutes les composantes du rendement biologique du champ 2 sont néanmoins visiblement supérieures à celles du champ 1. Il nous semble que cette différence réside sur la nature du précédent cultural qui a été installé avant le blé dur actuel. Apparemment, la luzerne qui a été installée avant le

blé dur au champ 2 a boosté la quantité d'azote dans le sol. De l'autre côté, la quantité d'azote épandue dans le champ 1 semble insuffisante pour atteindre les valeurs enregistrées au champ 2. De même, le blé dur était le précédent cultural au champ 1 qui est considéré comme culture très épuisante en éléments nutritifs notamment l'azote. Effectivement, un approvisionnement suffisant du blé dur en azote a un rôle crucial sur les composantes du rendement de cette culture stratégique. L'azote augmente le nombre de talles du blé dur ; il augmente également le nombre de grains par épis ainsi que le poids de mille grains de la variété cultivée. Tous ces causes ont influé sur le rendement biologique dans les deux champs où nous avons enregistré une différence de presque 37 Qtx/ha dans le champ 2 par rapport au champ 1. Cette situation nous révèle l'importance du choix des espèces cultivées dans la rotation culturale.

Tableau 7. Valeurs servant au calcul du rendement biologique

	Champ 1	Champ 2
Nombre d'épis par chaque 1 m² (5 répétitions)	560	545
	495	705
	490	370
	610	615
	350	440
Nombre moyen d'épis par m²	501 ± 97,88	535 ± 133,84
Nombre de grains par épis (5 répétitions)	54	65
	44	44
	32	44
	39	45
	54	61
Nombre moyen de grains par épis	45 ± 9,58	52 ± 10,33
Nombre moyen de grains par m²	22545	27820
PMG récolté (g)	54	57
Poids moyen des grains par m² (g)	1217,43	1585,74
Rendement biologique (Qtx/ha)	121,74	158,57

4.3. Estimation des pertes naturelles en grains

Les pertes naturelles en grains du blé dur sont liées aux facteurs biotiques et abiotiques de l'environnement. Le taux de ces pertes sont variables d'une année à une autre selon l'intensité des facteurs naturels. En cette année, il est fort probablement que ce type de pertes sont occasionnées principalement par les pluies torrentielles accompagnées par une averse de

grêle qu'a connu la wilaya de Laghouat au mois de mai 2025. Ces pluies sont survenues au stade de maturation du blé dur où les grains, qui ont été assez secs à cette étape, sont faciles à être détacher de la tige et tomber à terre. Le rendement biologique a chuté de 54,10 Qtx/ha dans le champ 1 et de 21,23 Qtx/ha dans le champ 2, avec un taux de pertes en grains qui est respectivement 44,44 % et 13,39 % (Tableau 8). Bien que ces deux champs se trouvent dans la même région, nous observons néanmoins un taux de pertes en grains plus élevé au champ 1 par rapport au champ 2. Malheureusement, nous n'avons pas trouvé une explication claire à cette différence significative.

Tableau 8. Valeurs servant au calcul du taux des pertes naturelles en grains

	Champ 1	Champ 2
Nombre de grains dans les 200 épis collectés	5052	8938
Nombre moyen de grains par épi	25	45
Poids total des grains des 200 épis (g)	274	508
PMG récolté (g)	54	57
Nombre moyen d'épis par m² (déjà compté)	501	535
Nombre moyen de grains par m²	12525	24075
Poids moyen des grains par m² (g)	676,35	1372,27
Rendement avant moisson de 1 à 2 jours (Qtx/ha)	67,64	137,23
Rendement biologique (Qtx/ha)	121,74	158,57
Pertes naturelles en grains (Qtx/ha)	54,10	21,23
Taux des pertes naturelles en grains (%)	44,44	13,39

4.4. Les pertes en grains à la récolte mécanique

En se référant aux valeurs déclarés par les deux agriculteurs concernés inhérent aux rendements qu'ils ont récoltés (Tableau 9), nous pouvons dire que le taux des pertes mécaniques en grains du blé dur dans cette région dépasse largement ce du niveau national qui est de 25 % (ITGC, 2019). Ce taux élevé est certainement dû au mauvais réglage de la moissonneuse-batteuse durant la récolte du blé dur. La récolte est assurée, durant son passage au niveau de la machine, par quatre organes essentiels : les organes de coupes (tablier de coupe), les organes de battage, les organes de séparation, et les organes de nettoyage. Ces organes doivent être dans un bon état et bien réglés pour ramener ce taux élevé de pertes à un niveau le plus bas.

Tableau 9. Valeurs servant au calcul des pertes mécaniques en grains

	Champ 1	Champ 2
Rendement biologique (Qtx/ha)	121,74	158,57
Rendement avant moisson de 1 à 2 jours (Qtx/ha)	67,64	137,23
PMG récolté (g)	54	57
Rendement récolté par l'agriculteur (Qtx/ha)	45	60
Pertes mécaniques en grains (Qtx/ha)	22,64	77,23
Taux des pertes mécaniques en grains (%)	33,47	56,28

CONCLUSION

La présente étude a eu pour objectif d'évaluer les pertes à la levée et les pertes en grains du blé dur (variété Vitron) dans une région aride de la wilaya de Laghouat, durant la campagne agricole 2024/2025. Les résultats obtenus mettent en lumière plusieurs aspects cruciaux de la culture du blé dur dans ces conditions spécifiques.

Concernant les pertes à la levée, nos observations révèlent des taux significativement élevés de 35,26 % jusqu'à 39,66 %. Ces chiffres dépassent largement les taux considérés comme normaux (15 à 20 %) dans des conditions optimales. Cette situation est principalement attribuée à la méthode de semis à la volée, couramment pratiquée par les agriculteurs locaux, qui entraîne une hétérogénéité de la répartition spatiale des graines et un contrôle insuffisant de la profondeur d'enfouissement. La préparation motteuse du lit de semence et les densités de semis élevées contribuent également à ces pertes initiales importantes.

Malgré ces pertes à la levée, l'estimation du rendement biologique a montré des valeurs remarquablement élevées pour de 121,74 Qtx/ha jusqu'à 158,57 Qtx/ha. Cette performance, bien supérieure aux moyennes régionales en culture pluviale, s'explique par la pratique de l'irrigation d'appoint et une fertilisation moyennement adéquate. La différence de rendement entre les champs étudiés est attribuée à la nature du précédent cultural où la luzerne est parmi les meilleurs choix. Cela souligne l'importance cruciale de la rotation culturale et de la gestion de la fertilité du sol sur les composantes du rendement (nombre d'épis par m², nombre de grains par épi, poids de mille grains) et, par conséquent, sur le rendement final.

Les pertes naturelles en grains ont été particulièrement notables cette année, principalement en raison d'événements climatiques extrêmes (pluies torrentielles et grêle en mai 2025) survenus au stade de maturation. Ces pertes ont atteint 13,39 % jusqu'à 44,44 %, réduisant significativement le rendement potentiel avant moisson. Bien que la raison de la différence marquée de ces pertes entre les champs étudiés n'était pas clairement identifiée, cela met en évidence la vulnérabilité de la culture aux aléas climatiques à des stades critiques.

Enfin, l'analyse des pertes mécaniques en grains à la récolte a révélé des taux très élevés de 33,47 % jusqu'à 56,28 %. Ces chiffres dépassent largement la moyenne nationale (25 %) et sont principalement dus au mauvais réglage des moissonneuses-batteuses. Un réglage inadéquat des organes de coupe, de battage, de séparation et de nettoyage de la machine est la cause majeure de ces pertes, impactant directement le rendement commercialisable des agriculteurs.

En somme, cette étude démontre que, bien que le blé dur puisse atteindre des rendements biologiques élevés sous irrigation d'appoint dans la région de Laghouat, des pertes importantes surviennent à différentes étapes du cycle cultural : dès la levée en raison de pratiques de semis inadaptées, au stade de maturation à cause des aléas climatiques, et surtout lors de la récolte mécanique par manque de réglage précis des machines. L'optimisation de la production passe donc par une approche intégrée, agissant sur l'ensemble de la chaîne de production.

Sur la base des résultats de cette étude, les recommandations suivantes sont formulées pour les agriculteurs de la wilaya de Laghouat et les acteurs du secteur agricole :

❖ **Amélioration des techniques de semis :**

- Adopter le semis en ligne avec des semoirs adaptés pour assurer une profondeur d'enfouissement homogène (2-3 cm) et une meilleure répartition des graines.
- Optimiser la préparation du lit de semence pour obtenir un sol fin et sans mottes, favorisant une levée uniforme.
- Ajuster la densité de semis aux normes recommandées (environ 300-350 graines/m² en irrigué) pour réduire la compétition inter-plantes et les pertes à la levée.

❖ **Gestion de la fertilité du sol et rotation culturale :**

- Intégrer des légumineuses (comme la luzerne) dans la rotation culturale pour améliorer la teneur en azote du sol et la structure du sol, ce qui favorise le développement du blé dur.
- Assurer un apport suffisant et équilibré en éléments nutritifs, notamment l'azote, en fonction des besoins de la culture et des analyses de sol.

❖ **Optimisation de la récolte mécanique :**

- Sensibiliser les agriculteurs à l'importance du bon réglage des moissonneuses-batteuses.
- Organiser des formations pratiques sur le réglage et l'entretien des machines de récolte pour minimiser les pertes.
- Encourager l'utilisation de moissonneuses-batteuses modernes et bien entretenues.

Pour approfondir les connaissances et optimiser davantage la production de blé dur dans les zones arides, plusieurs pistes de recherche futures sont suggérées :

- **Caractérisation pédologique détaillée** : Réaliser des analyses physico-chimiques approfondies des sols des parcelles étudiées pour mieux comprendre leur influence sur le rendement et les pertes.
- **Bilan hydrique précis** : Mener des études sur le bilan hydrique de la culture du blé dur sous irrigation d'appoint pour optimiser les apports en eau et l'efficacité d'utilisation de l'eau.
- **Évaluation variétale** : Tester un plus large éventail de variétés de blé dur, locales et introduites, pour identifier celles qui sont les mieux adaptées aux conditions arides et qui présentent une meilleure résistance aux pertes.
- **Analyse économique des pertes** : Quantifier l'impact économique des pertes à la levée, naturelles et mécaniques, sur la rentabilité des exploitations agricoles, afin de justifier les investissements dans l'amélioration des pratiques.
- **Impact du changement climatique** : Étudier les effets potentiels du changement climatique sur la culture du blé dur dans la région et développer des stratégies d'adaptation à long terme.
- **Étude des interactions** : Approfondir la compréhension des interactions complexes entre la densité de semis, le tallage, les composantes du rendement et les facteurs environnementaux.

Ces recherches contribueront à développer des stratégies agricoles plus résilientes et productives pour le blé dur dans les régions arides, assurant ainsi une meilleure sécurité alimentaire et un développement durable du secteur agricole.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Aidoud-Lounis F. 1984. Contribution à la connaissance des groupements à sparte (*Lygeum spartum* L.) des Hauts Plateaux Sud-Oranais; étude phyto-écologique et syntaxonomique. Thèse Doctorat 3ème Cycle. USTHB, Alger, 253 p.

Amokrane A. 2001. Evaluation et utilisation de trois sources de germoplasme de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Thèse de Magister, Institut d'Agronomie, université El Hadj Lakhdar, Batna.

Amrani O. 2021. Etude floristique et nutritive, spatiotemporelles, des principales plantes vivaces des parcours steppiques, naturels et aménagés, de la région de Laghouat. Thèse Doctorat es-Sciences en Sciences Agronomiques. Université de Kasdi Merbeh Ouargla. Algérie. 164 p.

ARVALIS 2021. Guide de culture du blé dur en région Centre et Ile de France. 36 p.

Bagnouls F. et Gausсен H. 1953. Saison sèche et indice xérothermique. Bull. soc. hist. nat. Toulouse, France. pp 193-239.

Baldy C. 1986. Effets du climat sur la croissance et le stress hydrique des blés en méditerranée occidentale *in* : tolérance à la sécheresse des céréales en zones méditerranéenne.

Belhacen E., This D., Monneveux P. 1996. L'adaptation génétique face aux contraintes de sécheresse. Cahiers Agriculture 4 : 251-261.

Bendif N. 2017. L'itinéraire technique du blé ? Cours de formation programme P.R.C.P. Document interne ITGC.

BNEDER. 2014. Analyse de l'aptitude à la culture de l'olivier des sols de la région de Laghouat. Bureau National d'Etudes pour le Développement Rural (BNEDER). 202 p.

Boufenar-Zaghoune F., Zaghoune O. 2006. Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie (blé dur, blé tendre, orge et avoine), 1^{ère} édition, ITGC, Alger : 154 p.

Boulal H., Zaghoune O., El Mouradi M. 2007. Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blé et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie) : 175 p.

Bouzerzour H., Benmahammed A. 1994. Environmental factors limiting barley grain yield in the high plateau of eastern Algeria. Rachis, 12 : 11-14.

Boyeldieu J. 1997. Blé tendre - Techniques Agricoles. Fascicule n°2020. 360 p.

Chennafi H., Aidaoui A., Bouzerzour H., Saci A. 2006. Yield response of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivar Waha to deficit irrigation under semi- aride growth conditions. Asian J. Plant Sci., 5: 854-860.

Chibani D., Houamdi A. 2022. Etude du comportement et de l'adaptation de quatre variétés locales du blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans la région d'El Oued, mémoire de Master. Université Echahid Hamma Lakhdar -El OUED, 64 p.

Daoudi A., Colin J.-Ph. et Baroud K. 2021. La politique de mise en valeur des terres arides en Algérie : une lecture en termes d'équité. *Cah. Agric.* 30, 4.

- Djebaili S. 1984.** Recherches phytosociologiques et phytoécologiques sur la végétation des Hautes plaines steppique et de l'Atlas saharien. O.P.U Alger, 177 p.
- El Madidi S., Zivy M. (1993).** Variabilité génétique des protéines de choc thermique et thermotolérance chez le blé. In : Le progrès génétique passe-t-il par le repérage et l'inventaire des gènes. Edition AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. pp 173-181.
- Elkhatib et Paulsen. 1984.** The effect of Heat Stress on Wheat Leaf and Ear Photosynthesis. Journal of experimental Botany. Vol 37, No 174, pp 111-118.
- Emberger J. 1960.** Esquisse géologique de la partie orientale des monts d'Ouled Nails. Publication du service de la carte géologique de l'Algérie. Bulletin 27. Nouvelle série. 399 p.
- Faurie et al. 2003.** Ecologie approche scientifique et pratique. 5ème édition. Paris : Lavoisier. 404 p.
- Feillet P. 2000.** Le grain de blé composition et utilisation éditions. INRA. pp : 20-31.
- Grignac P. 1977.** Le blé dur, morphologie succincte, Annales de L'INRA El Harrach, Vol : VIII n° 2, Alger, pp 83-87.
- Hamadache A. 2001.** Stades et variétés de blé, document de vulgarisation, ITGC, DFRV, Alger, 22 p.
- Hamadache A. 2013.** Grandes cultures : principaux itinéraires techniques des principales espèces de grandes cultures pluviales cultivées en Algérie et en Afrique du nord (agriculture conventionnelle), le blé, Tome 1, 1^{ère} édition : 256 p.
- Hamou M., Labdi M., Hamdi S., 2009.** Problématique de la céréaliculture et perspectives de développement. Actes de l'Atelier régional sur la recherche scientifique et le développement de l'agriculture. Mostaganem-Algérie, 12-13 janvier 2009. pp : 8-15.
- Hannachi A. 1981.** Relation entre aquifères superficiels et profonds : Hydrogéologie de la vallée d'oued M'zi à l'Est de Laghouat. Thèse de Doctorat, Université de Grenoble. 121 p.
- Hannachi A. 2017.** Aptitude à la combinaison, sélection mono et multi caractères et adaptabilité du blé dur (*Triticum durum* Desf.) aux conditions semi-arides. Thèse de doctorat. Université de Sétif. 156 p.
- Hauchinal R.R., Tandon J.P., Salimath P.M. 1993.** Variation and adaptation wheat Varieties to heat tolerance in Peninsular India. In: Saunders, D. A. and G. P. Hettel EDS, Wheat in heat stressed environments, irrigated, dry areas and rice-wheat farming systems, Mexico, D.F., Cimmyt, 175-183.
- Houchiti R. 2000.** Situation des céréalicultures dans les régions de Ouargla et de Ghardaïa, bilans et perspectives. Mémoire d'ingénieur, université de Ouargla, 66 p.
- Houyou Z. 2015.** Impact de la mise en culture en pluvial sur la dégradation du sol par érosion éolienne dans la steppe centrale (cas de la région de Laghouat). Thèse Doctorat, USTHB, Alger. 168 p.
- I.A.P. 1972.** Notice explicative de la carte géologique à 1/200.000 de Laghouat. Institut du pétrole Algérien. Rapport collectif dirigé par le professeur J.Guillemot. 110 p.

- ITGC 2019.** La récolte des céréales et des légumineuses alimentaires. Algérie. 20 p.
- Ladjal I., Azouzi B. 2014.** Etude du comportement variétal de cinq variétés de blé dur sous l'effet des deux doses de semis différentes en environnement semi-aride de Djelfa. Sciences et technologie. C, Biotechnologies, 40 : 25-31.
- Maachi L. 2005.** Etude de comportement d'une céréale à grains sous centre pivot dans la région de Ouargla : Evaluation de l'efficacité de l'irrigation et de la fertilisation azotée, Thèse, Ing, agro, Sah. ITAS, Ouargla, 91 p.
- Mazoyer M. 2002.** La rousse agricole : le monde agricole au XXI^{ème} siècle, la rousse, 767. pp 98-99.
- Mekaoussi R. 2015.** Etude de comportement variétal du blé dur (*Triticum durum* Desf.) vis-à-vis de *Rhopalosiphum maidis* (Homoptera : Aphididae) dans la région de Batna en vue de l'amélioration de la plante. Thèse de magistère en sciences agronomiques. Université de Batna. 127 p.
- Mekhlouf A., Bouzerzour H. 2001.** Déterminisme génétique et associations entre le rendement et quelques caractères à variation continue chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Recherche Agronomique, INRAA, 7 : 37-49.
- MERRA 2. 2022.** Données climatiques de la commune de Ben Nacer Ben Chohra, wilaya de Laghouat tirées de site NASA Power Data.
- Meza R., Crevits C., Vermeulen P., Godin B. et Eylenbosch D. 2021.** Variétés en blé dur. *Livre Blanc Céréales* : 113-122.
- Monjauze A. 1968.** Répartition et écologie de *Pistacia atlantica* en Algérie, Bulletin de la Société d'histoire naturelle d'Afrique du Nord. Tome 56- 2. 128 p.
- Munns R., James R. A., Läuchli A. (2006).** Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. Journal of experimental botany, 57 (5), 1025-1043.
- Ouaguini A., Kahi Z. 2020.** Étude de la composante variétale des céréales d'hiver cultivées à Ouargla. Mémoire de Master, université de Ouargla, 85 p.
- Pouget M. 1980.** Les relations sol-végétation dans les steppes sud-algérois. Document de l'ORSTOM, Paris. 555 p.
- Sadouki M. et al. 2018.** Etude de la variabilité morpho-physiologique du blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans les conditions climatiques du Haut Chéelif. Mémoire de Master. Université de Khemis Miliana. 46 p.
- Sallahedin A. et al. 2008.** Production de grandes cultures, Dar al-Fikr al-Arabi, 105-112.
- Si Bennasseur A. 2005.** Référentiel pour la Conduite Technique de la Culture du blé dur (*Triticum durum*) : 24-38.
- Siouda A., Benkhelifa. 2016.** Etude écophysiological de quelques écotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans la région semi-aride de Sétif. Mémoire de Master. Université Mohamed El Bachir El Ibrahim B.B.A. 74 p.

Slama A., Ben Salem M., Zid E. 2005. Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 16 (3) : 225-229.

Soltner D. 1999. Les grandes productions végétales, 19^{ème} éditions, sciences et techniques agricoles : 464 p.

Stewart Ph. 1969. Quotient pluviométrique et dégradation biosphérique : quelques réflexions. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord.* T. 59 : 23-36, Alger.

Tricart J. 1969. Le modèle des régions sèches. Sedes, Paris. 472 p.

Yalloui-yaici N., Ghalem Y., Kaci A. 2013. Développement des cultures céréalières en Algérie: suivi-évolution. *Céréaliculture*, n° 61, ITGC, Alger : 05-22.