



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي



Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université IBN KHALDOUN de Tiaret

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

THÈSE

Présentée Par

Mme: MAROUANE Hanane

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE

DOCTORAT 3^{ème} cycle LMD

Domaine: Sciences de la Nature et de la Vie

Filière: Sciences Agronomiques

Spécialité: « Valorisation de la flore dans la phytoprotection »

THÈME

Effet du stress hydrique sur la biomasse microbienne de la rhizosphère et les composantes technologiques d'une culture céréalière

Soutenu le : / / 2022

Membres du jury :

Président	Pr. HASSANI Abdelkrim	Université	Ibn Khaldoun	de Tiaret
Examineur	Dr. KOUADRIA Mustafa	Université	Ibn Khaldoun	de Tiaret
Examineur	Dr. ZIANE Mohamed	Université	Belhadj Bouchaib A.T'émouchent	
Examinatrice	Dr. FAROUN Fatiha	Université	Dj. Liabes	Sidi Bel Abbés
Directrice de Thèse	Pr. OULBACHIR Karima	Université	Ibn Khaldoun	de Tiaret
Co-encadrant	Pr. ACEM Kamel	Université	Ibn Khaldoun	de Tiaret

Année universitaire : 2021 – 2022

REMERCIEMENTS

J'adresse mes vifs remerciements et ma profonde reconnaissance :

Au Professeur OULBACHIR Karima, ma directrice de thèse pour son aide, ses encouragements et sa disponibilité.

Au Professeur ACEM Kamel, pour l'aide précieuse et constante qu'il m'a apporté durant la réalisation de ce travail autant que Co- directeur de thèse.

Aux membres du jury pour l'importance qu'ils ont accordé pour l'examen de mon travail :

Professeur HASSANI Abdelkrim d'avoir accepté la présidence du jury.

Docteur KOUADRIA Mustafa, docteur ZIANE Mohamed et docteur FAROUNE Fatiha d'avoir accepté d'examiner mon travail.

Au docteur MAAMAR Benchohra

A Mme. ABBES Soraya

A Mme. KOULALI Halima

A madame MILOUD AMEUR Lamia

A madame BOUABDELLI Fatiha

Aux ingénieurs de l'institut technique des grandes cultures de la wilaya de Tiaret.

A Mr. MAROUANE Abdelkader

A Mr. MAROUANE Houcine

A Mr. MAROUANE Sahraoui

L'occasion m'est également accordée afin de remercier tous ceux qui, durant cette période, m'ont apporté : aide, conseils et encouragements.

Je tiens également à exprimer ma profonde reconnaissance à mes amis.

Résumé

L'étude de l'effet du stress hydrique sur la biomasse microbienne de la rhizosphère et les composantes technologiques d'une culture céréalière a pour but de déterminer la sensibilité des microorganismes du sol : bactéries aérobies, azotobacters, actinomycètes, ammonifiants, nitrifiants, dénitrifiants et champignons ; cette sensibilité est déterminée par la diminution du nombre des microorganismes du sol (rhizosphère) sous l'effet du stress hydrique qui cause la diminution de l'humidité du sol.

La sensibilité varie d'un microorganisme à un autre dont les actinomycètes sont les plus résistantes contrairement aux azotobacters, bactéries aérobies qui sont les plus sensibles au déficit hydrique.

Les champignons sont moins sensibles or la variation des paramètres du sol tel que le pH montre un impact sur leur nombre cela est confirmé par la corrélation entre le pH et la densité des champignons.

Par ailleurs le stress hydrique a un effet direct sur la culture de blé dur ; cet effet est montré par la comparaison entre une culture irriguée et une culture non irriguée. Ce stress provoque une diminution dans le rendement, le poids de mille grains, le poids spécifique; et une augmentation des taux de protéines, d'amidon, d'humidité du produit de mouture et le taux d'impuretés. Son effet varie d'une variété à l'autre. Il s'avère qu'il existe des interactions entre le sol, la plante et les microorganismes au sein de la rhizosphère où l'effet du stress sur l'un des facteurs provoque un déséquilibre dans le système sol-plante-microorganisme.

Mots-clés : Stress hydrique, rhizosphère, bactéries aérobies, champignons, poids spécifique.

Abstract

The aim of the study of water stress effect on the rhizospheric microbial biomass and the technological components of a cereal crop is to determine the sensitivity of soil microorganisms: aerobic bacteria, azotobacters, actinomycetes, ammonifiers, nitrifiers, denitrifiers and fungi. This sensitivity is determined by the decrease in the number of soil microorganisms (rhizosphere) under the effect of water stress which causes the decrease in soil moisture.

The sensitivity varies from a microorganism to another, the actinomycetes are the most resistant; azotobacters, aerobic bacteria are the most sensitive to water deficit.

Fungi are less sensitive to stress but the variation of soil parameters such as pH shows an impact on their number this is confirmed by the correlation between pH and the number of fungi.

Water stress has an effect on the cultivation of durum wheat; this effect is shown by the comparison between an irrigated and non-irrigated crop. This stress causes a decrease in the yield, the weight of a thousand grains, the specific weight; and increased protein level, rate of starch, moisture content of the ground product and the level of impurities. Wiche varies from strain to strain. There are interactions between soil, plant and microorganisms in the rhizosphere so the effect of stress on any of the three causes an imbalance in the soil-plant-microorganism system.

Keywords: Water stress, rhizosphere, aerobic bacteria, fungi, specific weight.

ملخص

تهدف دراسة تأثير الإجهاد المائي على الكتلة الحية للكائنات الحية المجهرية الموجودة في التربة خاصة المنطقة التي تمتد فيها جذور النباتات (ريزوسفير) وتأثيره على المكونات التكنولوجية لمحصول الحبوب إلى تحديد مدى حساسية ومقاومة هذه الكائنات الدقيقة للإجهاد المائي، يتم تحديد هذه التأثير من خلال انخفاض عدد الكائنات الحية الدقيقة في التربة (ريزوسفير) بسبب انخفاض رطوبة التربة الناتج عن هذا الإجهاد .

يختلف تأثير الإجهاد المائي من كائن حي دقيق إلى آخر ، حيث لاحظنا أن الفطريات الشعاعية (الأكتينوميست) هي الأكثر مقاومة ، على عكس البكتيريا الأزوتية (الأزوتوبكتر) ، والبكتيريا الهوائية.

الفطريات أقل تأثرا بالإجهاد المائي ولكن لاحظنا خلال هذه الدراسة أن درجة الأس الهيدروجيني pH له تأثير على عدد هذه الفطريات وهذا ما يؤكد الارتباط بين الأس الهيدروجيني pH وعدد الفطريات.

الإجهاد المائي له تأثير على محصول القمح الصلب؛ يظهر هذا التأثير من خلال المقارنة بين المحاصيل المسقية وغير المروية. يؤدي هذا الإجهاد إلى انخفاض في المحصول ، ووزن الألف حبة ، والوزن النوعي وزيادة نسبة البروتين والنشا و الرطوبة هذا التأثير يختلف من صنف إلى آخر. هناك علاقة ارتباط و تفاعل بين التربة والنبات والكائنات الحية الدقيقة في منطقة الريزوسفير ، وبالتالي فإن تأثير الإجهاد على أي من الثلاثة يؤدي إلى خلل في هذا التفاعل أو هذا الارتباط .

الكلمات المفتاحية: الإجهاد المائي، ريزوسفير، البكتيريا الهوائية، الفطريات ، الوزن النوعي.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS.....	I
RESUME	II
TABLE DES MATIERES.....	III
LISTE DES TABLEAUX.....	IV
LISTE DES FIGURES.....	V
LISTE DES ABREVIATIONS.....	VI
INTRODUCTION GENERALE.....	01

PARTIE 1 : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : SOL, RHIZOSPHERE ET MICROORGANISMES DU SOL

I.1. Sol.....	4
I.2. Rhizosphère.....	4
I.3. Êtres vivants du sol.....	4
I.4. Microflore du sol	5
I.4.1. Bactéries	5
I.4.1.1. Densité, biomasse et distribution.....	6
I.4.2. Actinomycètes.....	6
I.4.3. Champignons	6
I.5. Rôle des microorganismes dans l'évolution de la matière organique dans un sol	7

CHAPITRE II : CÉRÉALES ET LE CONCEPT DE LA QUALITÉ

TECHNOLOGIQUE

II.1. Qualité de blé dur.....	10
II.2. Critères de la qualité.....	11
II.2.1. Taux d'impuretés	11
II.2.2. Teneur en eau	13
II.2.3. Poids spécifique	13
II.2.4. Poids de mille grains	14
II.2.5. Taux de mitadinage	14
II.2.6. Teneur en protéines	15
II.2.7. Teneur en gluten	15
II.2.8. Teneur en amidon	16
II.3. Production du blé dur	16

CHAPITRE III : EFFET DU STRESS HYDRIQUE SUR LES INTERACTIONS SOL- PLANTE –MICROORGANISMES

III.1. Notion de stress	17
III.2. Stress hydrique	17
III.3. Effet de sécheresse/ stress hydrique sur les microorganismes du sol.....	18
III.4. Effet de sécheresse/ stress hydrique sur la production végétale.....	18
III.4.1. Influence du stress hydrique sur la germination	19
III.4.2. Influence du stress hydrique sur la morphologie de la plante	19
III.4.3. Influence du stress hydrique sur la physiologie de la plante	19
III.4.4. Effets du stress hydrique sur le rendement et ses composantes	20
III.5. Notion d'adaptation, d'acclimatation et de réaction	21
III.5.1. Adaptation	21
III.5.2. Acclimatation.....	22
III.5.3. Réaction.....	22
III.5.3.1. Echappement.....	22
III.5.3.2. Tolérance	23
III.5.3.3. Evitement.....	23
III.6. Mécanismes d'adaptation aux stress salin et hydrique	23
III.6.1. Maintien de la balance hydrique et accumulation des osmolytes	23
III.6.1.1. Sucres solubles.....	24
III.6.1.2. Proline	24
III.6.1.3. Protéines impliquées dans la réponse aux stress.....	25
III.7. Stress hydrique et les interactions sol, plante et microorganismes	25

PARTIE 2 : DEMARCHES EXPERIMENTALES

CHAPITRE IV : MATERIEL ET METHODES

IV.1. Site expérimental	28
IV.2. Matériel végétal	28
IV.3. Installation du stress hydrique	28
IV.4. Dispositif expérimental.....	29
IV.5. Méthodes d'analyse	31
IV.5.1. Analyses physico-chimiques du sol	31
IV.5.1.1. Prélèvement du sol	31
IV.5.1.2. Granulométrie	31
IV.5.1.3. Humidité.....	31

IV.5.1.4. Mesure de pH	32
IV.5.1.5. Calcaire total (carbonates totaux)	32
IV.5.1.6. Conductivité électrique	32
IV.5.1.7. Carbone et la matière organique	32
IV.5.2. Analyses microbiologiques du sol	32
IV.5.2.1. Dénombrements de bactéries cultivables par le Nombre le Plus Probable (NPP) : Méthode d'évaluation des nitrifiants, dénitrifiants et ammonifiants.....	32
IV.5.2.1.1. Préparation des suspensions-dilutions.....	32
IV.5.2.1.2. Expression des résultats	34
IV.5.2.2. Méthode d'évaluation des actinomycètes, champignons azotobacters et bactéries aérobies : numération indirecte en milieu solide	34
IV.5.2.2.1. Principe.....	34
IV.5.2.2.2. Lecture des résultats.....	34
IV.5.3. Analyses technologiques des grains et des semoules	35
IV.5.3.1. Taux d'impuretés.....	35
IV.5.3.2. Teneur en eau	35
IV.5.3.3. Poids spécifique.....	36
IV.5.3.4. Poids de mille grains.....	36
IV.5.3.5. Taux de mitadinage.....	36
IV.5.3.6. Teneur de protéines.....	36
IV.5.3.7. Teneur en gluten humide	37
IV.5.3.8. Teneur en gluten sec	37
IV.5.3.9. Taux d'amidon.....	38
IV.5.4. Données climatiques.....	38

CHAPITRE V

RESULTATS ET DISCUSSION

V.1. Analyses physico-chimiques du sol	39
V.1.1. Granulométrie	39
V.1.2. L'humidité du sol	39
V.1.3. pH.....	40
V.1.4. Calcaire total.....	41
V.1.5 Conductivité électrique	41
V.1.6. Matière organique	41
V.2. Analyses microbiologiques du sol.....	42

V.2.1. Evaluation des bactéries aérobies, azotobacters, actinomycètes et champignons: numération indirecte en milieu solide	42
V.3. Analyses technologiques des grains et des semoules.....	55
V.3.1. Taux d'impuretés	55
V.3.2. Taux d'humidité.....	58
V.3.3. Effet de stress sur les paramètres de rendement	60
V.3.4. Poids de mille grains	61
V.3.5. Poids spécifique	62
V.3.6. Taux de cendres	65
V.3.7. Taux de mitadinage.....	66
V.3.8. Taux de gluten	67
V.3.9. Taux de protéines.....	69
V.3.10. Taux d'amidon.....	69
CONCLUSION GENERALE.....	74
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	76
ANNEXES	

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01: Critères de qualité en moucheture pour un lot de blé dur.	13
Tableau 02 : Densité apparente et l'humidité du sol étudié.....	39
Tableau 03: Valeurs du pH du sol durant les stades végétatifs.	40
Tableau 04: Taux de calcaire total du sol durant les stades végétatifs.	41
Tableau 05: Valeurs de la conductivité électrique du sol.....	42
Tableau 06 : Taux de la matière organique du sol pour chaque stade végétatif.....	42

LISTE DES FIGURES

Figure 01 : Complicité externe et interne du sol	08
Figure 02 : Structure du grain de blé.....	09
Figure 03 : Grains de blé dur mouchetés et de la répercussion sur l'aspect visuel des pâtes..	12
Figure 04 : Exigences du Maghreb en termes de moucheture	13
Figure 05 : Constituants du blé dur impliqués dans les mécanismes physico-chimiques de la qualité des pâtes.....	15
Figure 06 : Localisation de l'ITGC de Sebaine Tiaret	28
Figure 07 : Dispositif expérimental adopté dans notre étude	29
Figure 08 : Démarches expérimentales réalisées durant notre étude	30
Figure 09 : Préparation des suspensions de dilutions du sol.....	33
Figure 10 : Méthode de l'UV-Visible	38
Figure 11 : Effet de stress hydrique sur l'humidité du sol (horizon 0-20 cm de la rhizosphère	39
Figure 12 : Effet de stress hydrique sur la densité des bactéries aérobies (nombre de germes/g de sol ($\times 10^6$)	43
Figure 13 : Résultat du dénombrement des bactéries aérobies par la méthode UFC	43
Figure 14 : Effet de stress hydrique sur le nombre des azotobacters (nombre de germes/g de sol ($\times 10^6$)	44
Figure 15 : Résultat de dénombrement des azotobacters par la méthode UFC.....	45
Figure 16 : Effet de stress hydrique sur le nombre des actinomycètes (nombre de germes/g de sol ($\times 10^6$)	46
Figure 17 : Résultat de dénombrement des actinomycètes par la méthode UFC	46
Figure 18 : Effet de stress hydrique sur la densité des champignons (nombre de germes/g de sol ($\times 10^6$)	47
Figure 19 : Résultat de dénombrement des champignons par la méthode UFC.....	47
Figure 20 : Effet de stress hydrique sur la densité des bactéries ammonifiantes (nombre de germes/g de sol ($\times 10^6$)	48
Figure 21 : Résultat de dénombrement des ammonifiants par la méthode NPP (deux tube par dilution)	48

Figure 22 : Effet de stress hydrique sur La densité des bactéries nitrifiantes (nombre de germes/g de sol ($\times 10^6$))	49
Figure 23 : Effet de stress hydrique sur la densité des dénitrifiantes (nombre de germes/g de sol ($\times 10^6$))	49
Figure 24: Différence entre le nombre des nitrifiants et les dénitrifiants.....	50
Figure 25: Taux d'impureté de blé dur des deux variétés Vitron et Bousselem (cultures irriguée et non irriguée)	56
Figure 26 : Effet du stress hydrique et de l'apport azoté sur le taux d'humidité de produit de mouture de blé dur des deux variétés Vitron et Bousselem.....	59
Figure 27 : Effet du stress hydrique sur le nombre d'épis/m ² sur les deux variétés de blé dur étudiées Vitron et Bousselem	60
Figure 28 : Effet du stress hydrique sur le nombre de grains /épis sur les deux variétés de blé dur étudiées Vitron et Bousselem	61
Figure 29 : Effet du stress hydrique sur le rendement (qx/ha) sur les deux variétés de blé dur étudiées Vitron et Bousselem	61
Figure 30 : Effet du stress hydrique et l'apport azoté sur le poids de mille grains des deux variétés Vitron et Bousselem	62
Figure 31 : Effet du stress hydrique et l'apport azoté sur le poids spécifique des deux variétés Vitron et Bousselem	63
Figure 32 : Effet du stress hydrique et l'apport azoté sur le taux de cendre des deux variétés Vitron et Bousselem	65
Figure 33 : Effet du stress hydrique et l'apport azoté sur le taux de mitadin des deux variétés Vitron et Bousselem	66
Figure 34 : Effet du stress hydrique et l'apport azoté sur le taux de gluten humide (A) le taux de gluten sec (B) des deux variétés de blé dur Vitron et Bousselem	68
Figure 35 : Effet du stress hydrique et l'apport azoté sur le taux de protéines des deux variétés Vitron et Bousselem	69
Figure 36 : Effet du stress hydrique et l'apport azoté sur le taux d'amidon des deux variétés Vitron et Bousselem	70

LISTE DES ABREVIATIONS

PMG :	poids de mille grains
PS :	poids spécifique
Gram - :	gram négatif
Gram +:	gram positif
MO :	matière organique
H% :	taux d'humidité
Pf :	poids frais
Ps :	poids sec
CO₂:	dioxyde de carbone
μS /cm :	micro siemens par centimètre
NPP :	nombre le plus probable
UFC :	unité formant colonie
V % :	taux de vitrosité
M% :	taux de mitadin
GH:	gluten humide
GS:	gluten sec
S/C/NI:	sol avec culture non irriguée
S/C/I à 50 %:	sol avec culture irriguée à 50 % à la capacité au champ
S/C/I à 100 %:	sol avec culture irriguée à 100 % à la capacité au champ
SV:	stade végétatif
MPa :	méga pascal unité du potentiel hydrique.

INTRODUCTION GENERALE

I. CONTEXTE DE L'ETUDE

L'amélioration de la production végétale doit être durable et préserver l'environnement dont l'étude des interactions sol-plante-microorganisme, peut donner des solutions. Selon **Lepoivre (2003)** le réchauffement climatique cause la sécheresse, qui provoque le phénomène de stress hydrique influençant la production végétale.

Le terme "sécheresse" peut recouvrir plusieurs situations différentes selon que l'on se positionne en tant que météorologiste, agronome ou biologiste moléculaire (**Passioura, 2007**). De manière générale, il s'agit d'un phénomène climatique défini comme un manque d'eau au cours d'une période prolongée (au cours des années) qui concerne exclusivement des plantes localisées en plein champ (**Wood, 2005** cité in **Lauri et al., 2014**).

D'un point de vue écologique, une sécheresse interfèrera défavorablement avec le fonctionnement des écosystèmes, alors qu'en agriculture, une sécheresse signifie que la disponibilité en eau du sol n'est pas suffisante pour pourvoir aux besoins de la culture implantée (**Passioura, 1996 ; Pereira et al., 2007**) cités par **Marguerit (2010)**. La production végétale, dépend du climat et de la richesse d'un sol en éléments assimilables. Elle est donc en partie conditionnée par un recyclage correct de la matière organique : un écosystème, naturel ou cultivé, ne fonctionne normalement que si la vie microbienne y est active (**Davet, 1996**).

Les sols sont les milieux naturels qui hébergent la plus grande densité et la plus grande diversité microbienne connues, et une faune d'une grande richesse. La gestion durable des sols vise à préserver ce patrimoine essentiel pour l'humanité qui n'est pas renouvelable à notre échelle de temps. Cette gestion est au cœur des systèmes agro écologiques qui visent à mieux valoriser la biodiversité et les interactions biotiques afin de réduire l'utilisation d'intrants de synthèse et préserver les ressources (eau, sol, biodiversité) (**Jean et al., 2017**).

Les bactéries promotrices de la croissance des plantes (PGPR) peuvent améliorer la performance et la tolérance des plantes lors de stress environnementaux. L'importance sociale et économique d'une meilleure production des plantes lors d'un déficit hydrique est énorme, et dans un tel contexte, il est important de comprendre les stratégies déployées par les plantes pour faire face à la sécheresse. En conditions naturelles, de nombreux paramètres peuvent

influencer les capacités d'acclimatation des plantes face à des stress abiotiques. Parmi ceux-ci peuvent être cités la qualité physico-chimique du sol ou la présence de micro-organismes pouvant agir sur la disponibilité des ressources ou sur le fonctionnement des plantes **(Bresson, 2013)**.

A la lumière de ces données, les recherches sur les interactions sol-plante-microorganismes sous condition de stress hydrique peuvent aider au choix des microorganismes du sol (rhizosphère) qui résistent au stress hydrique et les utilisent comme auxiliaires(PGPR) pour améliorer la production de plante de quantité jusqu'à sa qualité.

En Algérie, une grande partie de la production céréalière est soumise aux pratiques de l'agriculture traditionnelle, incapable d'amortir les irrégularités du climat, d'où des variations considérables dans les rendements d'une année à l'autre. Cependant les exigences en termes de qualité technologique du grain de blé sont parfois difficiles à concilier avec les contraintes des producteurs.

La variabilité des rendements en grain est due à des interactions des géotypes avec l'environnement de production parce que ces géotypes ont été le plus souvent sélectionnés sur la base de leur potentiel de rendement sans tenir compte de l'aspect adaptation. Ainsi le problème posé ces dernières années est l'apparition de variétés de blé dur (*Triticum durum Desf.*) caractérisées par une forte productivité mais aussi par une mauvaise aptitude à la transformation industrielle, ce qui nous a amené à rechercher de nouveaux facteurs liés à la qualité culinaire et susceptibles d'être utilisés en sélection **(Ait slimane ait kaki, 2008)**.

La qualité de la production végétale surtout les grandes cultures comme les céréales est très demandée pour des choix économiques. Les critères de qualité peuvent varier selon le niveau de commercialisation des produits ou leur utilisation ultérieure. Les organismes stockeurs recherchent des grains ayant une bonne aptitude au stockage, ils s'intéressent donc à l'humidité, à la température, taux d'impuretés, aux taux d'infestation par les insectes et aux taux d'infestation par les moisissures. Les industries de transformation recherchent des lots de grains très homogènes ayant une bonne valeur alimentaire, nutritionnelle et technologique. **(Cruz, 1989)**.

II. PROBLEMATIQUE ET OJECTIFS

En Algérie, la production des céréales est localisée principalement dans les plaines intérieures et les hauts plateaux où le déficit hydrique est un facteur limitant de la production végétale surtout des principales céréales cultivées. Parmi ces dernières, le blé dur en occupe une place prépondérante et se justifie à plusieurs niveaux (**Adda et al., 2013**), les hauts plateaux sont classés parmi les zones semi-aride où s'installe le stress hydrique naturellement et affecte la biomasse microbienne rhizosphérique et la qualité du sol à long terme (**Oulbachir, 2010**) et vu qu'il existe des interactions diverses dans la rhizosphère entre le sol, la plante, les microorganismes et que ces derniers sont toujours sous l'effet de plusieurs facteurs climatiques comme la sécheresse qui provoque le stress hydrique il est nécessaire de faire une étude de l'effet de ce stress sur l'ensemble des interactions rhizosphériques afin d'utiliser les résultats obtenus pour trouver des solutions préliminaires comme le choix et l'utilisation de la biomasse microbienne pour améliorer la performance et la tolérance des plantes lors de stress environnementaux (**Carnavalet, 2015**).

La présente thèse a pour objectifs de mettre en évidence de l'effet du stress hydrique et de l'apport azoté :

1. Sur la densité de la biomasse microbienne rhizosphérique associée à une culture céréalière ;
2. Sur la culture céréalière du point de vue qualité technologique par l'étude de son impact sur les composantes technologiques du produit de récolte en fin de culture ;
3. Les interactions plantes, sol et microorganismes de la rhizosphère en se référant à une étude statistique en vue d'une corrélation entre les paramètres étudiés.

PARTIE 1
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I
SOL, RHIZOSPHERE ET
MICROORGANISMES DU SOL

La partie bibliographique est divisée en trois chapitres distincts dont le premier traite : le sol, la rhizosphère, les microorganismes et leur rôle dans un sol. Le second présente des informations sur les céréales et le concept de la qualité technologique. Le troisième chapitre traite l'effet de stress hydrique sur la production végétale, les microorganismes et l'ensemble des interactions entre sol- plante- microorganismes dans une rhizosphère face aux stress environnementaux.

I.1. Sol

Le sol est le milieu meuble où s'ancrent les racines et dans lequel elles puisent l'eau et les éléments minéraux nécessaires à la croissance et au développement des végétaux. C'est une infime pellicule à la surface de la croûte terrestre. Formée au cours des temps géologiques par lente transformation des roches-mères initiales sous l'effet de phénomènes physiques, chimiques et biologiques dont l'action se poursuit de nos jours. Le sol est formé de trois phases : solide, liquide et gazeuse (**Gobat, 2010**). Un sol est un support de vie, créatrice de matière organique. (**Davet, 1996**). Les sols sont les milieux naturels qui hébergent la plus grande densité et la plus grande diversité microbienne connue, et une faune d'une grande richesse (**Jean et al., 2017**).

I.2. Rhizosphère

Gobat (2010) définit la rhizosphère, comme étant la région du sol qui est sous l'influence des racines. Elle représente une interface essentielle entre la plante et le sol et active par présence de microorganismes, bactéries et champignons, ainsi que leurs prédateurs (**Watt et al., 2006**), considérée comme l'habitat de microorganismes liés aux activités de la racine.

I.3. Êtres vivants du sol

Les organismes vivants du sol sont des bactéries, des champignons, des algues, les parties souterraines des plantes ainsi que des animaux très variés, des protozoaires aux mammifères. (**Gobat, 2010**). La biomasse est la quantité de matière vivante par unité de surface d'un environnement donné ; c'est-à-dire la masse de tous les organismes vivants d'une communauté biologique à un moment donné. On distingue généralement la phytomasse, la zoomasse et la biomasse microbienne qui sont mesurées à l'échelle de parcelle de dimensions limitées.

I.4. Microflore du sol

La microflore du sol aussi appelée microflore tellurique est composée d'espèces appartenant aux groupes suivants : bactéries, actinomycètes, champignons, algues, protozoaires. Les virus ne sont pas des microorganismes du sol *sensu stricto* ; mais jouent, dans ce milieu, un rôle indirect.

I.4.1. Bactéries

Les cellules bactériennes sont en moyenne 10 fois (en dimension linéaire) ou 1000 fois(en volume) plus petites que celle des Eucaryote. Sur le plan quantitatif, la biomasse bactérienne est estimée à environ 10^9 germes vivants par gramme de sol (**Gobat, 2010**).

Les bactériologistes du sol se sont préoccupés de mettre en évidence des groupes bactériens : les groupes morphologiques, les groupes nutritionnels et les groupes physiologiques (ou écologiques).

- Les groupes morphologiques que l'on effectue par observation directe au microscope, est fondée sur la forme et la dimension des bactéries.
- La distinction en groupes nutritionnels est fondée sur la culture des souches isolée du sol sur des milieux de complexité croissante qui permettent de séparer les espèces bactériennes peu exigeantes (groupes 1 à 5) des espèces beaucoup plus exigeantes (groupes 6 et 7).
- Par groupe physiologique, on entend l'ensemble des bactéries qui présentent toutes la même aptitude à effectuer un type donné de réaction de biodégradation ou de biosynthèse à partir d'un substrat défini. Parmi les nombreux groupes physiologiques dont il effectue couramment les études, citons :
 - Le groupe des fixateurs d'azote, composé de l'ensemble des bactéries pourvues d'un complexe enzymatique, appelé nitrogénase, leur permettant de fixer l'azote moléculaire ;
 - Le groupe des ammonificateurs, composé de l'ensemble des bactéries capables de dégrader jusqu'au stade ammoniacal un milieu à base d'azote organique (par ex. : milieu à peptoné ou milieu à l'asparagine) ;

- Le groupe des cellulolytiques, composé de l'ensemble des bactéries capables de dégrader un milieu où le carbone est fourni sous forme de cellulose (**Dommergues, 1968**).

D'après **Clark (1967)**, les bactéries de la famille des Corynébactériacées sont les bactéries les plus répandues dans le sol, qui pourraient représenter jusqu'à 65 % de la microflore bactérienne totale ; les bacilles sporulés représenteraient en gros 25% de cette micropopulation. Dans les 10 % restants se placent les genres suivants qui ont été plus particulièrement étudiés : *Agrobacterium*, *Azotobacter*, *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*, *Rhizobium*, *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Clostridium*, *Spirillum*.

I.4.1.1. Densité, biomasse et distribution

La densité de la microflore bactérienne totale est en général comprise entre 10^6 et 10^9 ; dans des conditions exceptionnellement favorables (sol forestier à humus type mull ou printemps) le nombre peut aller jusqu'à 10^{11} bactéries par gramme de sol. Les bactéries du sol sont en majorité des hétérotrophes, c'est-à-dire des organismes tirant leur énergie de la dégradation de la matière organique du sol. A la surface des racines les densités bactériennes sont souvent plus élevées que dans le sol loin des racines (**Dommergues, 1968**).

I.4.2. Actinomycètes

Selon **Davet (1996)**, ces bactéries Gram-positive forment des filaments ramifiés et émettent des conidies ce qui lui les a fait longtemps considérer comme des champignons. Elles jouent un rôle actif dans la décomposition des litières. Beaucoup synthétisent des antibiotiques.

La plupart des actinomycètes sont des organismes du sol. Mais deux genres seulement sont bien représentés dans le sol : le genre *Streptomyces* et le genre *Nocardia*. Les *Streptomyces* à eux seuls peuvent représenter presque 70 à 90 % de l'ensemble de la micropopulation d'actinomycètes du sol (**Dommergues, 1968**).

I.4.3. Champignons

Les champignons sont des microorganismes hétérotrophes filamenteux et immobiles, si l'hétérotrophie est la règle générale, le caractère filamenteux n'est cependant pas un critère absolu puisque beaucoup de champignons, dont certains ont une grande importance pratique, se présentent sous forme unicellulaire (**Davet, 1996**). La biomasse des microchampignons est

comprise entre 100 et 1000 kg/ha. En ce qui concerne plus particulièrement le cas des seuls ectomycorhizes. La distribution dans le sol des champignons, comme celle des bactéries est liée à la présence de substrats convenables, en général constitués par des débris végétaux (Dommergues, 1968).

I.5. Rôle des microorganismes dans l'évolution de la matière organique dans un sol

- Les êtres vivants du sol, constitue un véritable réacteur biologique. Ils sont responsables de la dégradation de la matière organique et les grands cycles qui dépend directement comme celui du carbone et d'azote.
- La faune a une action mécanique de broyage, microdivision, transport et dilution des matières organiques fraîche du sol. Les réactions biochimiques qui se produisent lors de la décomposition des matières organiques sont réalisées par la microflore, qu'elle soit libre ou associée à la faune. Tous les constituants organiques subissent une évolution selon deux voies : la majeure partie est minéralisée et une faible partie transformée en composée humiques par héritage, transformation physico-chimique ou déformation microbienne (Schvartz *et al.*, 2005).
- La microflore a des effets sur les caractères physico-chimiques du sol surtout liés aux fonctions bactériennes. Par exemple en présence d'un excès de substrats carbonés, les bactéries accaparent l'azote disponible. D'autre sont à même, dans des conditions de carence en azote, de fixer l'azote élémentaire N₂.
- Par la synthèse de facteur de croissance (vitamines) d'une part, et d'antibiotiques d'autre part, certaines bactéries exercent un contrôle, positif ou négatif, sur d'autres organismes. Mais c'est avant tout par leurs fonctions biogéochimiques, telles la minéralisation de la matière organique, l'oxydation des composés inorganiques réduits, la réduction anaérobie de composés inorganiques oxydés, la solubilisation ou précipitation de minéraux sans oublier la transformation de certains composants organiques en humine, que les bactéries jouent un rôle essentiel dans la formation et l'évolution du sol (Gobat, 2010).
- Fonctions des champignons dans le sol : Par sa taille et sa structure, un mycélium a même de transporter activement des quantités importantes d'eau et de substances d'un endroit à l'autre du sol. La translocation des aliments organiques sert à la formation des fructifications : en un ou deux jours, une part importante des matériaux de réserve

accumulé dans un mycélium est ainsi transportée dans des fructifications en développement.

- La translocation de sels minéraux prend toute sa signification chez les mycorhizes, association symbiotiques entre un champignon est les racines d'un végétal. Le champignon est ici un collecteur des sels minéraux, qu'il transfère à la plante ou garde en réserve pendant la morte saison. Par leur structure ramifiée, les mycéliums augmentent la cohésion des particules dans les couches superficielles du sol (Gobat, 2010).

La rhizosphère est un milieu où se déroulent les interactions entre les plantes, les microorganismes du sol et les paramètres pédologiques d'un sol. Cette rhizosphère est sous l'influence des facteurs de l'environnement et les changements climatiques.

Les constituants du sol interagissent pour lui conférer ses propriétés. Leurs proportions, leur variabilité spatio- temporelle, la vitesse des flux qui relient influencent le fonctionnement du système (figure 01).

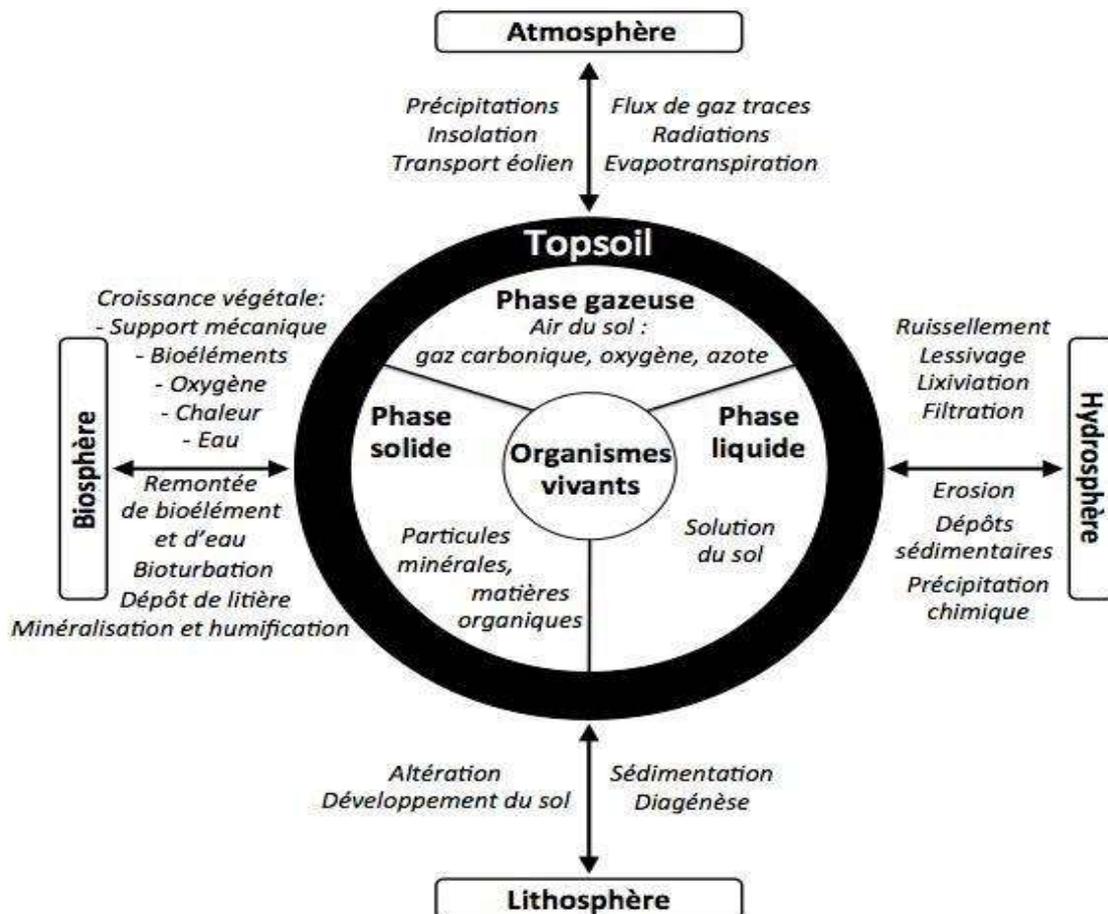


Figure 01 : Complicité externe et interne du sol (Gobat, 2010).

CHAPITRE II
CEREALES ET CONCEPT DE
QUALITE TECHNOLOGIQUE

Les céréales ont constitué pour l'homme une ressource alimentaire riche en éléments nutritifs, peu volumineuse facile à conserver et à transformer et bien adaptée aux milieux et aux climats les plus variés. Les céréales sont des plantes cultivées pour leurs grains riches en amidon et destinées à l'alimentation humaine ou animale. Ces plantes appartiennent essentiellement à la famille des poacées ou graminées auxquelles on associe parfois d'autres plantes, appelées par certaines pseudo-céréales.

Le blé est une monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* de la famille des Gramineae. C'est une céréale dont le grain est un fruit sec et indéhiscents, appelé caryopse, constitué d'une graine et de téguments. Les deux espèces les plus cultivées sont le blé tendre (*Triticum aestivum*) et le blé dur (*Triticum durum*). Le blé tendre possède les trois génomes AA, BB et DD constitués chacun de sept paires de chromosomes homéologues numérotés de 1 à 7 (A1....A7, B1B7, D1D7), soit au total 42 chromosomes ; le blé dur ne contient que les deux génomes AA et BB est 28 chromosomes (Feillet, 2000). La structure du grain du blé est donnée par la **figure 02**.

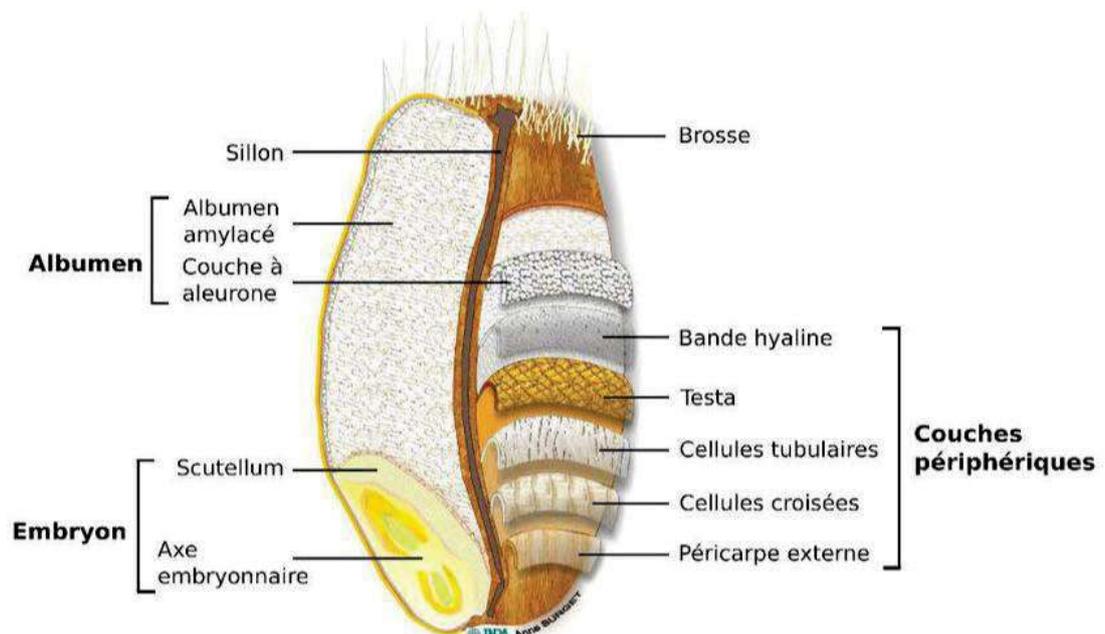


Figure 02: Structure du grain de blé (Bonnot, 2016).

Le blé a un cycle physiologique annuel, dans ce cycle annuel, une série d'étapes séparées par des stades repères, permettent de diviser le cycle évolutif du blé en deux grandes périodes (Soltner, 2005).

1. **Une période végétative** : Elle s'étend de la germination à l'ébauche de l'épi. On y trouve deux stades :

Phase Germination – levée : la germination est le passage de la semence de l'état de vie lente à l'état de vie active alors que le levée est lorsque 50% des plantes seront sorties de la terre (**Ait slimane ait kaki, 2008**).

Phase Levée– Tallage : Le début du tallage est marqué par l'apparition de l'extrémité de la première feuille de la talle latérale primaire. Il est caractérisé par trois caractéristiques :

- Formation du plateau de tallage,
- Emission des talles,
- Sortie de nouvelles racines.

L'importance du tallage dépendra de la variété, de la densité de semis, de la densité d'adventices et de la nutrition azotée. Le tallage marque la fin de la période végétative et le début de la phase reproductive, conditionnée par la photopériode et la vernalisation qui autorisent l'élongation des entre-nœuds (**Gate, 1995**).

2. **Une période reproductrice** : Elle comprend la formation et la croissance de l'épi ; elle se caractérise par :

Montaison – gonflement : La montaison débute à la fin du tallage, elle est caractérisée par l'allongement des entre-nœuds et la différenciation des pièces florales. A cette phase, un certain nombre de talles herbacées commence à régresser alors que, d'autres se trouvent couronnées par des épis. Pendant cette phase de croissance active, les besoins en éléments nutritifs notamment en azote sont accrus (**Clement - Grancourt et 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.

Maturation du grain : C'est la dernière phase du cycle végétatif. la maturation correspond à l'accumulation de l'amidon dans les grains. Par la suite, les grains perdent leur humidité : 45% d'humidité, c'est le stade pâteux. ; à 20% d'humidité, c'est le stade rayable à l'ongle. A 15 – 16% d'humidité, c'est le stade cassant (mûr pour la récolte) (**Gate, 1995**).

II.1. Qualité de blé dur

Selon **Henin (2015)**, le marché du blé dur est un marché atypique, caractérisé par un produit exclusivement transformé en vue de l'alimentation. Dans le bassin méditerranéen (au Maghreb notamment) la demande mondiale en blé dur est concentrée. Les enjeux de qualité se posent de manière particulièrement prégnante sur ce marché : pour les industriels fabricants de semoule, de pâtes et de couscous, la qualité du blé dur qui a un statut de matière première unique dans la fabrication de ces produits, constitue un élément compétitif fondamental (**Jouanin et al., 2020**).

La définition des critères d'évaluation de la qualité du blé dur constitue ainsi un enjeu important. En parallèle, les préoccupations environnementales sont croissantes et la prise en compte de critères en faveur de la durabilité environnementale est mal connue (**Huyghe, 2013**).

En Algérie, une grande partie de la production céréalière est soumise aux pratiques de l'agriculture traditionnelles, incapable d'amortir les irrégularités du climat, d'où des variations considérables dans les rendements d'une année à l'autre (**Ait slimane ait kaki, 2008**).

II.2. Critères de la qualité

Benbelkacem et al. (1995) ont mentionnés que le choix du consommateur se base sur plusieurs critères d'où la nécessité de sélectionner des variétés possédant les qualités requises :

- Les ménages recherchant des semoules pures et de couleur dorée. Cette semoule doit présenter une granulométrie homogène. Quant à la semoule de qualité inférieure, elle est destinée à la fabrication de galettes ;
- Le semoulier recherche des variétés à poids spécifique élevé du fait que les unités de transformation se basent sur ce paramètre pour trituration ;
- Le pâtier recherche des semoules pures et non contaminées par le son, dont la qualité des protéines soit satisfaisante ;

II.2.1. Taux d'impuretés

Les impuretés n'ont pas seulement une influence négative sur le stockage des produits ; elles concourent à définir la qualité même de ces produits.

Les grains mouchetés (**figure n° 3**) sont des grains qui présentent une coloration située entre le brun et le noir brunâtre ailleurs que sur le germe lui-même et, en particulier, dans le sillon.

Cette coloration résulte d'un brunissement enzymatique par oxydation de polyphénols du péricarpe. Plusieurs hypothèses peuvent expliquer l'apparition de cette coloration : ce serait la conséquence d'un mécanisme de défense des plantes ou un déséquilibre physiologique précoce (**Comité technique blé dur ouest océan, 2014**).

Selon **Macheix (1996)**, la moucheture de grain correspond à des tâches brunes sur le péricarpe, elle est causée par des champignons. Elle se traduit par la présence des points noirs dans les semoules ; pénalisant ainsi leur qualité commerciale. La moucheture entraîne la diminution de la qualité commerciale de blé (**King et al., 1981**) et engendre la présence de piqûres brunes dans le produit fini.

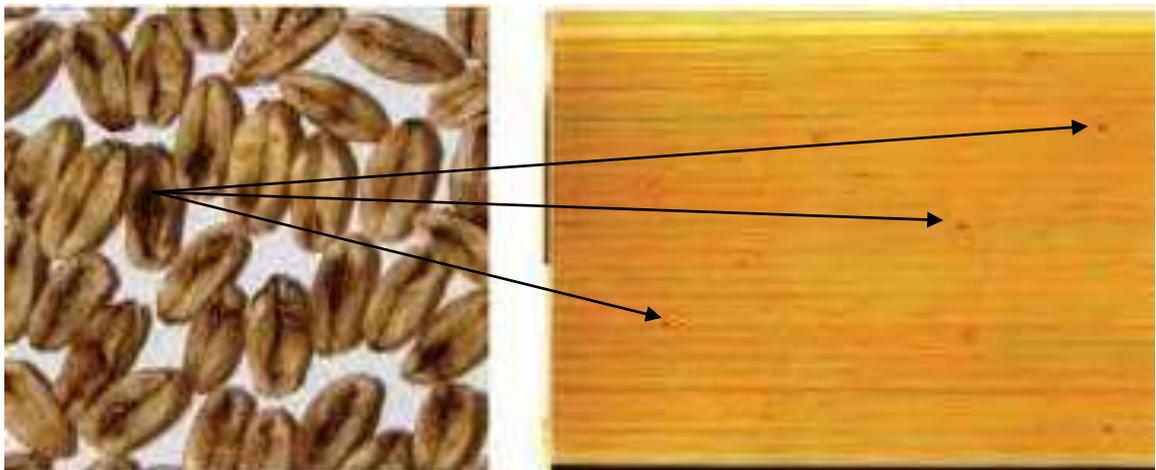


Figure 03: Grains de blé dur mouchetés et de la répercussion sur l'aspect visuel des pâtes (**Comité technique blé dur ouest océan, 2014 ; Chau, 2019**).

Les grains punaisés sont des blés dans lesquels les punaises ont injecté des protéases et dont le gluten est, de ce fait, très altéré. Or les grains échaudés sont des blés passant par des tamis à fentes de 2 mm pour le blé tendre et de 1,9 mm pour le blé dur. On appelle blé échaudés ou retraits, les grains qui au lieu d'être remplis de farine et d'avoir leur surface unie, se trouvent ridés extérieurement (**Feillet, 2000**).

La figure 04 et le tableau 1 indiquent respectivement des exigences du Maghreb en termes de moucheture et des critères de qualité en moucheture pour un lot de blé dur.

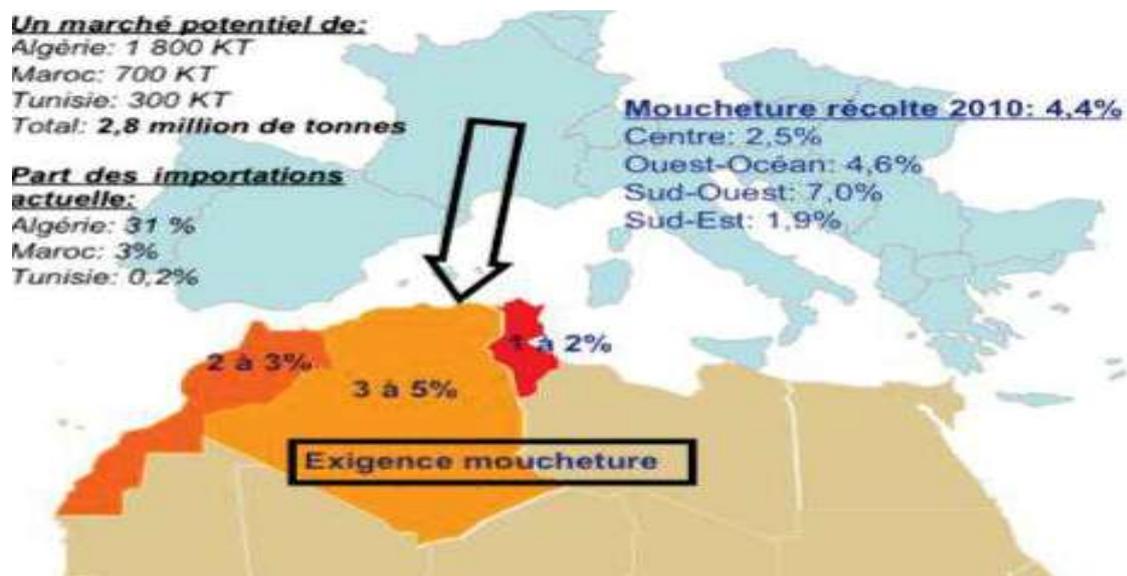


Figure 04 : Exigences du Maghreb en termes de moucheture (De la panouse, 2011).

Tableau 01 : Critères de qualité en moucheture pour un lot de blé dur (Arvalis-institut du végétal, 2017).

Niveau	Moucheture %
Très bon	< 1
Bon	< 3
Moyen	3 à 5
Faible	> 5
Très faible	> 10

II.2.2. Teneur en eau

L'eau est un des constituants de base du grain (environ 13%), la réglementation impose une teneur en eau < à 15% afin de faciliter la conservation et d'éviter une altération (Scotti, 1997).

II.2.3. Poids spécifique

Le Poids Spécifique (PS) est une ancienne mesure qui permet de mesurer la masse de grains pour un volume donnée (kg/hl), c'est la masse volumique dite masse à l'hectolitre de grains exprimée en kilogrammes selon NF V03-719. C'est une analyse qui présente toujours

un intérêt commercial. Elle est considérée comme un indicateur de la valeur semoulière en relation avec le rapport enveloppe sur amande. Plus le poids à l'hectolitre est élevé, plus le rapport enveloppe sur amande est faible et le rendement semoulier important (**Scotti, 1997**).

II.2.4. Poids de mille grains

C'est une des composantes du rendement agronomique et rendement semoulier. c'est un critère essentiellement variétal qui dépend beaucoup des conditions de cultures qui l'influencent de façon très significative. Le poids de mille grains permet de déterminer le poids moyen des grains en pesant mille graines. C'est la masse de 1000 grains entiers exprimée en gramme **NF V03-702**.

Poids de Mille Grains (PMG) permet de connaître la masse de 1000 grains d'un échantillon de céréales et donne des indications sur le mode d'élaboration du rendement et des problèmes pendant son développement (échaudage, attaques par les insectes ou par les maladies). La présence de grain échaudé a une incidence sur le rendement en mouture (**Dexter et Matsuo, 1977**).

II.2.5. Taux de mitadinage

Un grain mitadiné présente à la coupe une ou plusieurs plages farineuses et à tendance, lors de la mouture, à se désagréger en farine et non à éclater en semoule, provoquant une diminution du rendement semoulier. Le mitadinage est un accident physiologique fréquent qui se traduit par un changement de texture de l'albumen du grain, dépendant à la fois de la quantité d'azote présent dans le grain, un manque d'azote au stade gonflement, et des conditions de récolte. Le grain apparaît alors comme farineux. Néanmoins, plus la teneur en protéines totales d'un lot de grains est élevée, moins le mitadinage est important (**Feillet, 2000**). **La figure 05** illustre les constituants du blé dur impliqués dans les mécanismes physico-chimiques de la qualité des pâtes

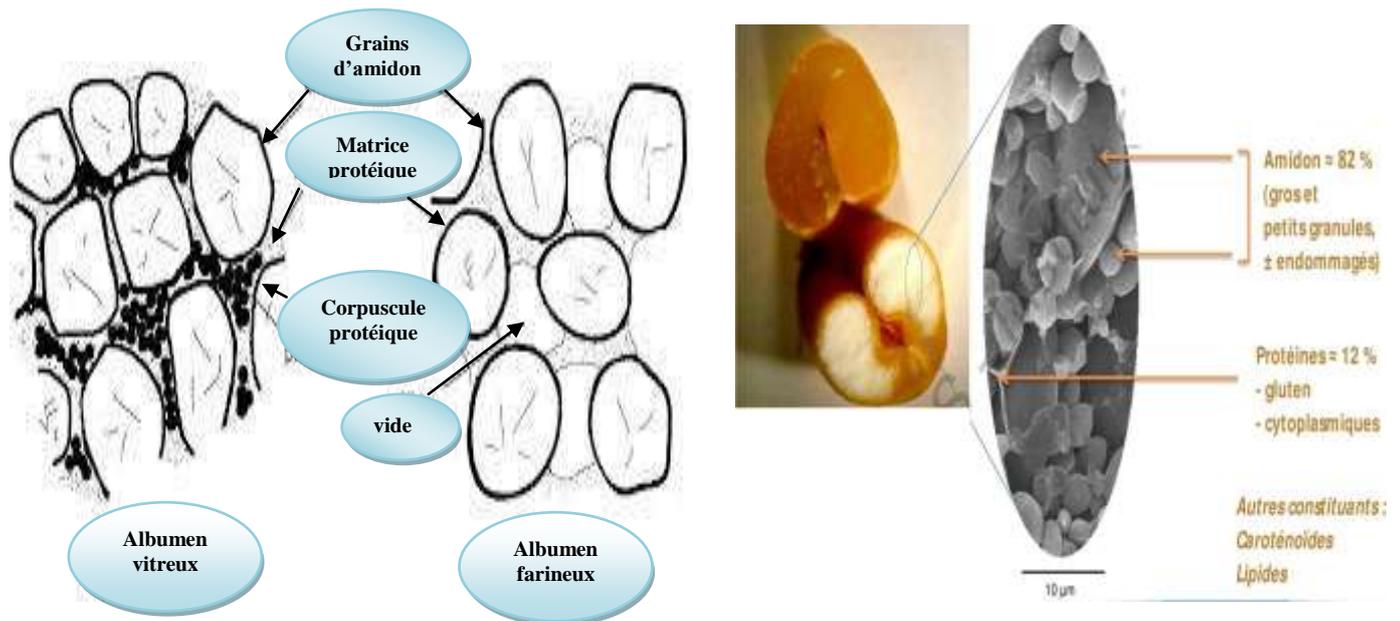


Figure 05 : Constituents du blé dur impliqués dans les mécanismes physico-chimiques de la qualité des pâtes (Philippe et al., 2020).

II.2.6. Teneur en protéines

La teneur en protéines de blé dur est un critère très important qui influe fortement sur la qualité du blé dur compte tenu de ses relations étroites avec le taux de grains mitadinés et avec la qualité culinaire des produits de transformation. La teneur minimale pour la mise à l'intervention est de 11.5%. En règle générale, plus la teneur en protéines est élevée, meilleure est la qualité du blé dur. Un seuil de 14% est le plus souvent nécessaire à l'obtention d'un taux de vitrosité satisfaisant (Feillet, 2000).

Les protéines de la semoule de blé dur interviennent à la fois dans le développement des propriétés viscoélastiques des pâtes cuites et dans leurs états de surface (collant, état de surface) (Matsuo et al., 1982 ; Feillet 1984 ; Masci et al., 1995), affirment que les protéines stockées dans le blé déterminent plusieurs caractéristiques de l'évolution de la qualité de la farine et de la semoule de blé. Sur le plan quantitatif la teneur en protéines dépend essentiellement des conditions agronomiques du développement de la plante (Mok, 1997).

II.2.7. Teneur en gluten

Le blé est la seule céréale dont les protéines ont la propriété de constituer dans la pâte un réseau protéique ; le gluten, fraction insoluble des protéines (gliadines et gluténines) dans une solution saline, est le responsable majeur de la qualité rhéologique des pâtes c'est-à-dire

l'extensibilité, l'élasticité et la ténacité, qui ont une influence sur le comportement des pâtes au cours de la fabrication et sur la qualité du produit finis (Pain, biscuit, pâte,...). La quantité de gluten est très liée à la teneur en protéines. En Italie et en Grande Bretagne la teneur en gluten constitue le plus souvent, le seul test technologique d'appréciation de la qualité des blés durs **I'ISO 21415**.

II.2.8. Teneur en amidon

L'analyse de la teneur en amidon présente un intérêt nutritionnel vu que l'amidon est une source de glucides importante dans l'alimentation et un intérêt réglementaire dans le but de contrôler la pureté des amidons industriels (**ITCF et ONIC, 1995**). L'amidon constitue le glucide le plus consommé dans le monde. C'est grâce à leur richesse en amidon que les céréales sont une source d'énergie. L'amidon a un rôle important dans la panification puisqu'il assure la dilution du gluten, fixe l'eau et constitue une source de sucres fermentescibles (**Feillet, 2000**). Par son pouvoir fixateur d'eau, variable selon le degré d'endommagement des granules, et sa capacité à former des liaisons non-covalentes (liaisons hydrogènes) avec les protéines, l'amidon contribue de manière active à la formation de la pâte (**El hadef el okki, 2015**).

II.3. Production du blé dur

En Algérie, l'aire de culture de blé dur s'étend des zones sub-littorales à zones hautes plaines et hauts plateaux. Ainsi, le blé dur occupe 50 % des emblavures céréalières divisées en trois régimes d'humidité : Humide, semi-humide et aride, dans les hautes plaines, dans les hauts plateaux et dans les zones sub-littorales ou littorale. A la lumière de ces données, les contraintes posées à la culture de blé dur peuvent être :

- Le climat qui peut présenter un stress hydrique en début et fin de cycle, des hautes températures (sirocco) et du froid (gelées de printanière).
- La maîtrise de la fertilisation azotée et minérale et l'utilisation des techniques appropriées contribuent à une qualité supérieure des blés produits par l'agriculteur afin de permettre au grain l'élaboration de sa vitrosité (**Benbelkacem et al., 1995**).

CHAPITRE III
EFFET DU STRESS HYDRIQUE SUR LES
INTERACTIONS SOL-PLANTE –
MICROORGANISMES

La "sécheresse" est un phénomène climatique défini comme un manque d'eau au cours d'une période prolongée qui concerne exclusivement des plantes localisées en plein champ (**Wood, 2005**). D'un point de vue écologique, une sécheresse interfèrera défavorablement avec le fonctionnement des écosystèmes, alors qu'en agriculture, une sécheresse signifie que la disponibilité en eau du sol n'est pas suffisante pour pourvoir aux besoins de la culture implantée (**Passioura, 1996 ; Pereira et al., 2007**).

III.1. Notion de stress

Le terme de « stress » est introduit à partir d'un modèle mécanique et défini comme une force (**Cauchy, 1821** cité *in* **Kranner et al., 2010**). **Levitt (1980)** définit la notion de "stress" comme un facteur de l'environnement potentiellement défavorable à un organisme vivant et la notion de résistance comme la capacité de cet organisme à survivre à ce facteur. Dans ce cas, la notion de stress correspond à un état physiologique modifié par des facteurs qui tendent à altérer l'équilibre initial (**Gaspar et al., 2002**).

D'après **Hopkins (2003)**, il s'agit de toute force ou condition hostile qui tend à empêcher le fonctionnement normal de la plante (croissance, développement et productivité). Ce terme regroupe à la fois les stress biotiques (causés par d'autres organismes vivants) et les stress abiotiques (se présentant à chaque fois qu'il y a un excès ou un déficit dans l'environnement physique ou chimique de la plante).

III.2. Stress hydrique

Le stress hydrique est un problème dans les environnements arides et semi-arides, où les précipitations changent d'année en année et où les plantes sont soumises à des périodes longues de déficit hydrique (**Boyer, 1982**). **Lamaze et al. (1994)** définissent le déficit hydrique comme étant une baisse de la disponibilité de l'eau dans le milieu d'installation d'une culture donnée, se traduisant par une réduction de la croissance de la plante et/ou de sa reproduction. L'origine de ce déficit peut être : une salinité excessive du sol, une sécheresse qui se manifeste quand la quantité d'eau transpirée est supérieure à la quantité d'eau absorbée ou du gel qui par cristallisation des molécules d'eau diminue sa disponibilité ce qui réduit significativement les productions agricoles (**Chaumeil, 2006 ; Bousba, 2012**).

D'un point de vue physique, le stress hydrique résulte d'un abaissement du potentiel hydrique dans l'air et/ou dans le sol en dessous d'une certaine valeur (**Lamaze et al., 1994**).

III.3. Effet de sécheresse/ stress hydrique sur les microorganismes du sol

Selon **Calvet (2003)**, La teneur en eau du sol (déterminée par l'humidité du sol) a une influence sur l'activité de la microflore par ses relations à la fois avec la biodisponibilité de l'eau et l'aération du sol.

L'eau est un corps chimique indispensable au déroulement des processus métaboliques. Elle a aussi de multiples effets mécaniques ou physiques : abondante, elle augmente la disponibilité des éléments solubles et facilite les déplacements des microorganismes mobiles à la recherche de substrats, elle permet de meilleurs échanges gazeux avec l'atmosphère extérieure et un plus rapide renouvellement de l'oxygène.

Une forte dessiccation entraîne toujours la mort d'un grand nombre d'individus. L'intensité de phénomène augmente avec la valeur du potentiel hydrique atteint, la durée de la période de la sécheresse et la température. Le taux de survie des microorganismes dépend en grande partie de leur état physiologique : la fraction la plus jeune et la plus active de la biomasse, celle qui se trouvait en pleine phase exponentielle de la croissance au moment de la déshydratation, est la plus vulnérable ; la fraction provenue à l'état stationnaire ou dormante est au contraire peu touchée (**Davet, 1996**). L'activité microbienne diminue régulièrement avec la disponibilité de l'eau.

III.4. Effet de sécheresse/ déficit hydrique sur la production végétale

Selon **Soltner (1990)**, l'eau a une grande importance dans la croissance de la plante. En plus de l'eau de constitution des cellules et de celle qui entre dans les synthèses glucidiques catalysées par la chlorophylle, l'eau est le véhicule des éléments minéraux solubles de la sève brute. La sécheresse est définie de deux façons :

- Il y a sécheresse dès qu'il se produit dans la masse des tissus un déficit hydrique amenant une baisse de rendement.
- Il y a sécheresse chaque fois que le déficit en eau provoque des réactions de défense de la plante, se traduisant par des modifications de l'état de feuillage qui caractérisent le flétrissement.

III.4.1. Influence du stress hydrique sur la germination

L'effet du stress hydrique va dépendre de son intensité, de sa durée, du stade de développement de la plante ainsi que du génotype et de son interaction avec l'environnement (Yokota *et al.*, 2006 ; Radhouabe, 2014). Ce phénomène est l'un des facteurs environnementaux qui affecte le plus la germination des espèces cultivées et réduit leur survie au cours des stades précoces de développement. En absence d'humidité suffisante, la graine même si elle est correctement placée dans le sol, n'évolue pas, retardant ainsi la levée.

III.4.2. Influence du stress hydrique sur la morphologie de la plante

Le stress hydrique cause des modifications au niveau de la morphologie des végétaux en limitant sérieusement la croissance de la plante (Moulineau, 1993). Une conséquence importante de la sensibilité à l'élongation des cellules lors d'un stress hydrique est la réduction marquée de la surface foliaire.

III.4.3. Influence du stress hydrique sur la physiologie de la plante

Parmi les modifications physiologiques liées au stress hydrique, on observe un changement dans la régulation stomatique qui influe sur la photosynthèse et la respiration. En effet, un tel stress provoque la fermeture des stomates, ralentissant ainsi la photosynthèse en même temps que la respiration (Maury *et al.*, 2011). De plus l'activité physiologique de la feuille est fortement affectée et est liée à la diminution du potentiel hydrique foliaire. Cette réduction est supposée dépendre d'une fermeture des stomates, avec pour conséquence une diminution de la conductance à la diffusion du CO₂ et d'une limitation biochimique du chloroplaste pour la fixation du CO₂.

Selon Benkaddour (2014) cette même contrainte peut conduire à un stress oxydatif par production des espèces réactives d'oxygène particulièrement le radical superoxyde et le peroxyde d'hydrogène. Les dommages provoqués par un stress hydrique vont aussi avoir des conséquences sérieuses sur le plan structurel et sur le plan métabolique en affectant l'intégrité des membranes et des protéines, ce qui entraîne des dysfonctionnements métaboliques. Les stress qui affectent la bicouche lipidique pourraient provoquer une perte de sélectivité des biomembranes. Ces dernières ont également tendance à devenir très poreuses lorsqu'elles sont desséchées (Hopkins, 2003).

III.4.4. Effets du stress hydrique sur le rendement et ses composantes

Le terme de stress est utilisé à la fois pour décrire le facteur qui induit une réaction des plantes et la réponse pouvant servir de signal à une cascade de réponses physiologiques (**Gaspar et al., 2002**). Un déficit hydrique est le résultat d'une diminution temporaire de la disponibilité en eau pour les plantes (**Chaves et Oliveira 2004**). Le déficit hydrique : est une contrainte abiotique majeure de la production agricole, qui impacte négativement le rendement et la qualité de la production agricole (**Benkhelif, 2016**).

Le rendement d'une culture sera affecté en fonction de l'intensité de déficit et sa position dans le cycle de la plante. Selon **Bouniols et al., (1982)**, le rendement est considéré comme le critère de réponse au déficit hydrique. **Nemmar, 1983** nota qu'au cours de la germination, un certain taux d'humidité est nécessaire pour assurer une bonne levée qui est le premier élément de la densité de peuplement et par conséquent du rendement final. Un déficit hydrique survenant au stade montaison affecte deux composantes du rendement ; le nombre d'épis par mètre carré et le nombre de graines par épi, et éventuellement des conséquences indirectes sur le poids de 1000 grains (**Ait kaki, 1993**). A partir de la montaison, le blé rentre dans une phase de sensibilité à la sécheresse cette sensibilité s'accroît particulièrement de la mi-montaison à la floraison, période où s'élabore une composante principale pour le rendement du blé ; le nombre de grain par m² (**Deumier, 1987 ; Baldy, 1993a**).

Olufalio (1994) rapporte qu'une réduction de la quantité d'eau disponible influence le métabolisme et les processus physiologiques, qui contrôlent la croissance et le développement de la plante, ces effets peuvent aussi se répercuter sur les composantes de rendement, le rendement lui-même ainsi que sa qualité sur le poids de 1000 grains. Selon **Chahrour (2004)** les déficits hydriques qui s'installent après la floraison ont une action préjudiciable sur les deux opérateurs qui déterminent la qualité de matière sèche accumulée dans les grains :

- Diminution de la taille de l'enveloppe du grain.
- Réduction de l'activité et la durée de fonctionnement des organes sources
conséquences d'un excès d'eau (**Simon et al., 1989**).

Cependant les exigences en termes de qualité technologique du grain de blé sont parfois difficiles à concilier avec les contraintes des producteurs. La variabilité des rendements en grain est due à des interactions des génotypes avec l'environnement de production parce que ces génotypes ont été le plus souvent sélectionnés sur la base de leur potentiel de rendement sans tenir compte de l'aspect adaptation. Ainsi le problème posé ces dernières années est l'apparition de variétés de blé dur (*Triticum durum Desf.*) caractérisées par une forte productivité mais aussi par une mauvaise aptitude à la transformation industrielle, ce qui nous a amené à rechercher de nouveaux facteurs liés à la qualité culinaire et susceptibles d'être utilisés en sélection (**Ait slimane ait kaki, 2008**).

III.5. Notion d'adaptation, d'acclimatation et de réaction

III.5.1. Adaptation

Est un ensemble de modifications héréditaires dans les structures ou les processus qui augmentent la probabilité pour les organismes de survivre dans un environnement donné.

Beaucoup des modifications génétiques apportant ces caractères se sont produits au cours de l'évolution et sont le résultat de mutations aléatoires ou de recombinaisons. La plupart sont létales et disparaissent mais quelques-unes permettent à la plante de croître et de se reproduire plus facilement et sont préservées par la sélection naturelle. Ces modifications se produisent sur les plantes de milieux variés et ne sont préservées par la sélection que dans les climats à contraintes. Les plantes soumises à une contrainte hydrique ont accumulé des modifications à caractère adaptatif qui augmentent leur probabilité de survie (**Kramer, 1983**). Ces modifications, dans le cadre d'une adaptation à la sécheresse, peuvent être de plusieurs types :

- morphologiques avec un rapport entre biomasse racinaire et aérienne élevé, une croissance aérienne lente et une dimension en hauteur souvent réduite.
- anatomiques et conduisent à une économie de l'eau telles que des petites feuilles à cuticule épaisse, une inclinaison des feuilles pour diminuer la quantité de rayonnement intercepté.
- physiologiques tels qu'un potentiel osmotique à pleine turgescence très faible qui permet d'augmenter la capacité de rétention de l'eau dans les tissus (**Ducrey, 1988**).
- cellulaires et moléculaires par la modification de l'expression ou de la régulation de certains gènes (**Bray, 1997**).

III.5.2. Acclimatation

Se réfère à des modifications phénotypiques produites par des variations de facteurs environnementaux. Une meilleure résistance à la contrainte hydrique chez les plants exposés régulièrement à des sécheresses modérées est une forme d'acclimatation, elle se matérialise entre autre par un ajustement osmotique, une diminution de la surface foliaire, des stomates plus sensibles, certains paramètres étant des effets incidents de la contrainte et d'autres permettent l'augmentation de la résistance.

III.5.3. Réaction

À une contrainte est la réponse immédiate ou à court terme à une contrainte. Cette réponse est induite par la libération ou la synthèse des composés chimiques ou par un signal physique. La fermeture stomatique en réponse à l'augmentation de la concentration en acide abscissique dans la feuille est une réaction de la plante, permettant une régulation efficace des flux d'eau. Les caractéristiques adaptatives des espèces influencent leurs réponses à la sécheresse.

En effet nous ne pouvons pas traiter séparément l'adaptation d'une espèce à la contrainte hydrique et l'ensemble des réponses de la plante à cette contrainte. Lorsqu'une plante subit une contrainte hydrique, elle est soumise à une forte tension. Par analogie aux lois de la physique concernant un objet soumis à une tension, les végétaux sous la contrainte vont se déformer. Il existe ainsi les végétaux qui échappent à la contrainte et ceux qui l'acceptent. Parmi ces derniers, certains évitent la déformation engendrée par la contrainte et d'autre la tolèrent. Sur la base de ces trois comportements, **Levitt (1980)** puis **Ludlow (1989)** ont définis des groupes d'espèces développant les stratégies d'échappement, d'évitement et de tolérance à la sécheresse:

III.5.3.1. Echappement

Que l'on trouve chez des espèces de milieu désertique ou à courte saison des pluies. Dès que les conditions sont favorables, la germination, la croissance, le développement, la floraison et la production de graines se font rapidement avant que la disponibilité en eau soit limitée. Ces espèces évitent ensuite la période sèche sous une forme tolérant une forte déshydratation telle que les graines ou d'autres formes de survie (**Ludlow, 1989**).

III.5.3.2. Tolérance

Les plantes tolérantes sont capables de survivre dans des conditions de faible disponibilité en eau dans le sol. La transpiration est maintenue jusqu'à des niveaux de potentiels hydriques faibles, l'eau dans les tissus est difficilement extractible du fait de leur capacité d'ajustement osmotique.

III.5.3.3. Evitement

Chez ces espèces, beaucoup d'énergie est dépensée pour minimiser les pertes en eau notamment par la fermeture stomatique, la perte des feuilles, la réduction de la taille des feuilles. Un enracinement profond permet de maximiser le prélèvement d'eau. Le contrôle du dessèchement des tissus a un coût: la croissance est rapidement stoppée. Une hypothèse forte est que ce sont les caractéristiques hydrauliques qui sont responsables du comportement évitant ou tolérant des espèces. Si cette hypothèse est vérifiée, l'étude de la vulnérabilité à la cavitation et des conductivités hydrauliques pourraient permettre de connaître le comportement des espèces pendant une contrainte hydrique (**Froux, 2002 ; Hopkins, 2003**)

III.6. Mécanismes d'adaptation aux stress salin et hydrique

La survie des plantes soumises à un stress environnemental est un vaste domaine de recherche (**Sami, 2016**). Plusieurs études ont montré que, lors d'un stress abiotique, les plantes adoptent des stratégies d'adaptation qui font intervenir une large combinaison de facteurs morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires (**Monneveux et Nemmar, 1986**).

III.6.1. Maintien de la balance hydrique et accumulation des osmolytes

On retrouve des stratégies d'adaptation communes au stress salin et au stress hydrique. Il existe des stratégies qui font appel à des modifications physiques : réduction de l'hydratation cellulaire, réduction du volume cellulaire et augmentation de la conductivité hydraulique.

D'autre part, il existe des stratégies plutôt d'ordre chimique et en particulier l'ajustement osmotique (**Yeo, 1983**). On parle d'ajustement osmotique quand la concentration en solutés à l'intérieur de la cellule augmente pour maintenir une pression osmotique cellulaire élevée. La cellule accumule alors activement des molécules comme réponse à la chute du potentiel osmotique ; se traduisant par une plus grande capacité d'attraction et de

rétenion des molécules d'eau (Yeo, 1983 ; Chaumeil, 2006). Il s'agit de molécules hautement solubles, de faible poids moléculaire, non toxique, sans charge et tendant à être neutres au pH physiologique (Farooq *et al.*, 2009).

Ces osmolytes s'accumulent majoritairement dans le cytoplasme et peuvent être aussi bien d'origines organiques telles que les sucres, les acides organiques et les acides aminés (comme la proline et la glycine bêtaïne), que d'origine inorganique comme les ions, en particulier les ions de potassium. La plupart de ces composés s'accumulant dans le cytoplasme sont appelés des solutés compatibles, car ils n'interfèrent pas dans les activités enzymatiques (Cuin et Shabala, 2007).

III.6.1.1. Sucres solubles

L'augmentation de la concentration des sucres (glucose, saccharose et fructose) améliorent la tolérance à plusieurs stress abiotiques, tels que la sécheresse et la salinité. Généralement, on pense qu'une hausse de la teneur en sucres solubles peut avoir comme origine l'hydrolyse des réserves (en particulier l'amidon) mais aussi une modification de certaines voies métaboliques de synthèse (Lepoivre, 2003). Ils permettent également la stabilité des membranes, la protection des protéines, la protection des processus de synthèse des enzymes et la production d'énergie. Ce phénomène d'osmorégulation permet le maintien de nombreuses fonctions physiologique comme la photosynthèse ou encore la croissance et peut intervenir à tous les stades de développement (Hassani *et al.*, 2008 ; Ahmad, 2019).

III.6.1.2. Proline

La proline ou acide pyrrolidine-2-carboxylique est l'un des vingt principaux acides aminés qui entrent dans la constitution des protéines (El jaafari, 1993). Il s'agit aussi, très certainement, de l'un des osmolytes le plus répandu (Bensalem *et al.*, 2005). La synthèse de cet acide aminé à partir du Glutamate est catalysée par une enzyme : Δ 1-Pyrroline-5-carboxylate synthétase (P5C synthétase) (Neffar, 2013). Elle peut agir comme une molécule de signalisation / régulatrice capable d'activer plusieurs réponses faisant partie du processus d'adaptation ; En plus du rôle osmotique attribuer à celle-ci, elle intervient également dans : la détoxification des formes réactives d'oxygènes, la stabilisation des protéines, la protection de l'intégrité membranaire, la protection des systèmes enzymatiques et la régulation de l'acidité cytosolique (Hassani *et al.*, 2008; Chaib *et al.*, 2015 ; Aswani *et al.*, 2019).

La proline et les sucres solubles peuvent être considérés comme des marqueurs biochimiques du degré de tolérance aux stress abiotiques et par conséquent ils peuvent être utilisés pour la sélection précoce de variétés tolérantes (**Belfakih et al., 2013**).

III.6.1.3. Protéines impliquées dans la réponse aux stress

Les protéines de stress jouent un rôle majeur dans l'adaptation de la plante et de ce fait de nombreux chercheurs abordent la résistance au stress par l'isolement et l'étude de ces molécules. Parmi ces protéines on cite: les aquaporines, les protéines HSP (Heatshock proteins), les protéines LEA (Late embryogenesis abundant proteins) et autres chaperonnes qui peuvent jouer un rôle dans la régulation de la circulation de l'eau et dans la protection de la cellule végétale (**Wang et al., 2003**).

III.7. Stress hydrique et les interactions sol, plante et microorganismes

Dans un sol, la rhizosphère surtout ; il existe un grand nombre d'interactions complexes entre les microorganismes-la plante, et les microorganismes entre eux. Ces êtres vivants sont en contact direct avec les propriétés pédo- climatiques.

Certaines espèces de bactéries sont attirées par des composés sécrétés par un groupe particulier de végétaux (**Gobat, 2010**). Le stress hydrique a un effet significatif sur la productivité de la culture par une chute de rendement. Cet effet sur la productivité de la culture affecte aussi la biomasse microbienne, il s'avère qu'il existe une relation étroite entre l'évolution des stades végétatifs de la culture de blé dur (levé, tallage, montaison, épiaison, floraison et remplissage) et la population microbienne.

Durant le stade tallage il est remarqué un nombre élevé de microorganismes, par rapport aux autres stades végétatifs : montaison/épiaison puis le stade remplissage ou il est observé le taux le moins dense sous le stade levé (**Davet,1996**). Le stade tallage est reconnu par l'activité photosynthétique intense. Ce qui traduit la corrélation entre l'augmentation du taux de bactéries et le stade tallage. Durant les autres stades marqués par une diminution de l'activité physiologique on remarque une diminution du taux de germes par contre, Il est apparent qu'au stade tallage chacun des germes microbiens atteint son maximum (**Oulbachir, 2010**).

En 1970 ; **Dommergues et mangelot** suggèrent un effet de la plante cultivée sur la biomasse microbienne, l'hypothèse avancée est la suivante : Les pratiques culturales, telles que labour ou fumure, améliorent la croissance végétale, entraînant une rhizodéposition accrue, source de carbone facilement métabolisable par les microorganismes rhizosphériques. En plus Les pratiques culturales qui exercent un effet indirect sur la biomasse (**Oulbachir, 2010**).

La présence de la culture de blé dans le sol à un effet stimulateur pour la biomasse microbienne du fait que l'exsudation où la production racinaire fournit des composés facilement utilisables qui sont à l'origine de la stimulation de la densité microbienne qui sont, selon **Lynch, 1982** ; constitués par un matériel labile facilement biodégradable cette stimulation est particulièrement exprimée au stade tallage.

Il est apparu que la présence de racines vivantes sous culture de blé apportant l'exsudation racinaire et la rhizodéposition sont à l'origine de la stimulation microbienne et son activité qui se manifeste surtout par une augmentation de la biodégradation et la minéralisation.

D'une autre part les bactéries promotrices de la croissance des plantes (PGPR) peuvent améliorer la performance et la tolérance des plantes lors de stress environnementaux. Hors contexte des changements globaux, l'agriculture est souvent pratiquée dans des régions où la disponibilité en eau est fréquemment déficiente comparée à l'évapotranspiration, limitant la croissance et la productivité des plantes. L'importance sociale et économique d'une meilleure production des plantes lors d'un déficit hydrique est énorme, et dans un tel contexte, il est important de comprendre les stratégies déployées par les plantes pour faire face à la sécheresse.

En conditions naturelles, de nombreux paramètres peuvent influencer les capacités d'acclimatation des plantes face à des stress abiotiques. Parmi ceux-ci peuvent être cités la qualité physico-chimique du sol ou la présence de micro-organismes pouvant agir sur la disponibilité des ressources ou sur le fonctionnement des plantes. Souvent les bactéries sont perçues comme des germes responsables de maladies. En réalité, très peu des milliers de sortes de bactéries peuplant la Terre sont pathogènes. La plupart d'entre elles sont bénéfiques, voire essentielles au maintien de la vie (**Bresson, 2013**).

Les êtres vivants du sol, constitue un véritable réacteur biologique. Ils sont responsables de la dégradation de la matière organique et les grands cycles qui dépendent directement comme celui du carbone et d'azote (**Schvartz et al., 2005**). La microflore à des effets sur les caractères physico-chimiques du sol surtout liés aux fonctions bactériennes. Ils jouent un rôle essentiel dans la formation et l'évolution du sol (**Gobat, 2010**).

PARTIE 2

DEMARCHES EXPERIMENTALES

CHAPITRE IV
MATERIEL ET METHODES

IV.1. Site expérimental

L'expérimentation a été conduite au niveau de «l'institut technique des grandes cultures » **l'ITGC de Sebaine**, wilaya de Tiaret, Algérie, durant l'année 2016 /2017 c'est une zone classée parmi les zones semi-aride dont le stress hydrique est l'un des problèmes majeurs qui cause la réduction de la production végétales notamment des céréales.

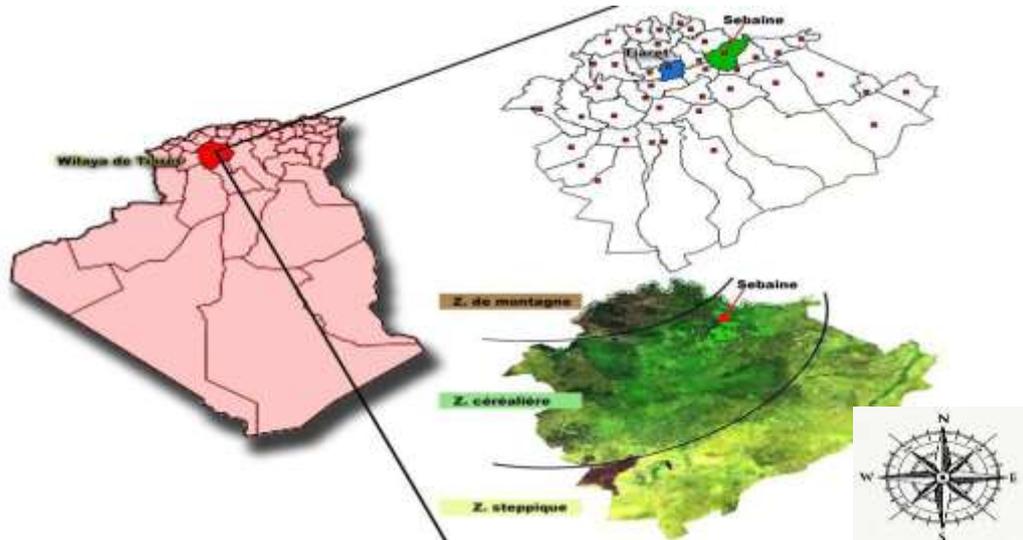


Figure 06 : Localisation de l'ITGC de Sebaine Tiaret (**Tahani, 2009** cité in **Benouadah, 2020**).

IV.2. Matériel végétal

La culture céréalière étudiée est une culture de blé dur composée de deux variétés Vitron et Bousselem, qui sont introduites et utilisées le plus souvent par les ingénieurs de l'ITGC. Sont variétés à paille courte, précoce d'épiaison et productive. Elle se caractérise par une capacité élevée de translocation des glucides stockés dans le col de l'épi (**Belkherchouche et al., 2009**). Elle est sensible au gel tardif (**Mekhlouf et al., 2006**). Elle présente une bonne aptitude à la combinaison pour la proline et la durée de la phase végétative (**Hannachi, 2013**).

IV.3. Installation du stress hydrique

Le suivi de l'effet du stress hydrique est déterminé par une étude comparative entre une culture irriguée à la capacité au champ (50 % et 100 %) et une culture de même variété soumise à la pluviométrie ; le stress hydrique qui s'installe durant les stades végétatifs montaison et remplissage est confirmé par la chute des paramètres de rendement (**Gallais, 1992 ;Carnavalet, 2015**).

IV.4. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental adopté est le bloc aléatoire complet qui dépend d’abord du nombre de facteurs étudiés et ceux qu’on souhaite contrôler (l’irrigation dans ce cas) (Vilain, 2012 ; Makowski, 2018), le dispositif se compose de trois blocs, chacun contient trois parcelles chacune soumise à quatre traitements azotés ; T1= 92 unité/ha, T2= 115 unité/ha, T3=138 unité/ha et T4= 184 unité/ha. Ces blocs sont classés comme suit:

- Un bloc pluvial soumis à la pluviométrie.
- Un bloc irrigué a 50% de la capacité au champ
- Un bloc irrigué a 100% de la capacité au champ.

Dates d’apport de l’irrigation : Montaison : 03,04 ; 05/04/2017 ; épiaison : 10,11 et 17/04/2017 ; remplissage : 19,24, 25, 26 et 27/04/2017.

Dates de fertilisation azotée avec (l’urée) : 1^{er} apport : le 24 /11/2016 au semis 1/3
2^{eme} apport le 02/03/2017 stade épis 1cm 2/3.

Le dispositif expérimental et es démarches expérimentales de notre étude sont présentées dans les figures 07 et 08.

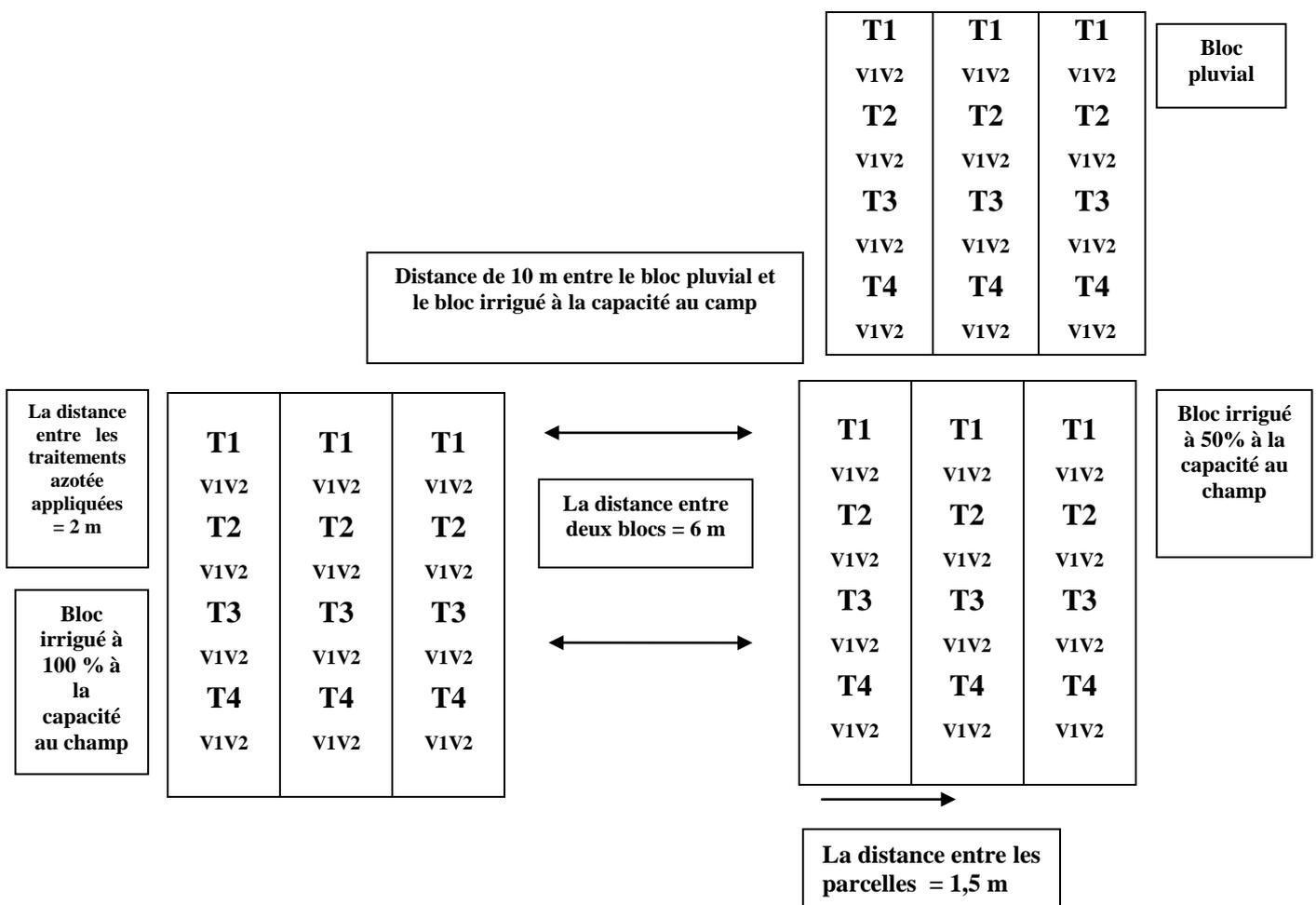


Figure 07 : Dispositif expérimental adopté dans notre étude

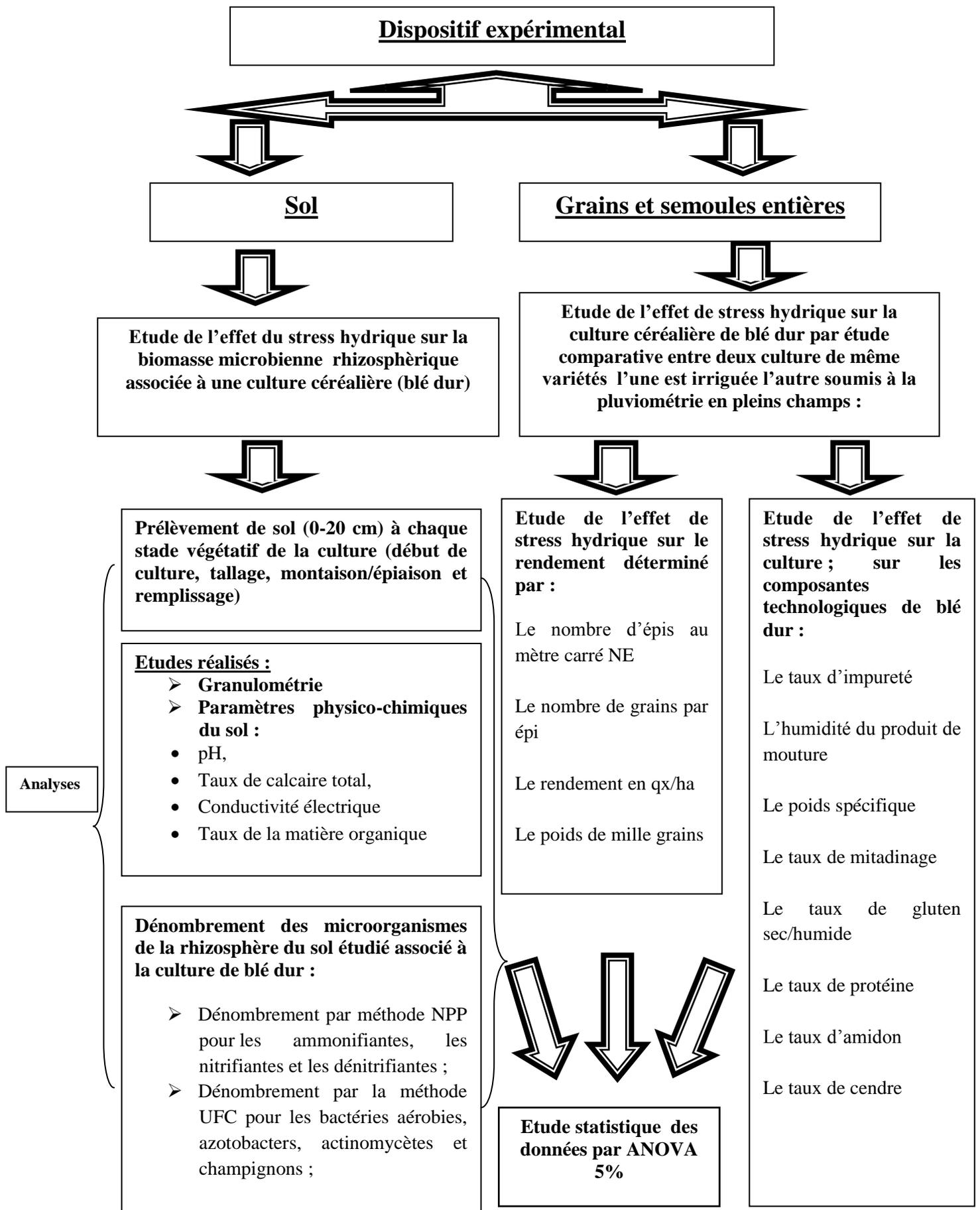


Figure 08 : Démarches expérimentales réalisées durant notre étude.

Les résultats obtenus ont été soumis à l'analyse de la variance (ANOVA) à un niveau de probabilité de 5%.

IV.5. Méthodes d'analyses

IV.5.1. Analyses physico-chimiques du sol

Les analyses physico-chimiques sont réalisées selon, **Baize (2000) et Baize (2018)**, ces analyses sont réalisées au niveau du laboratoire d'Agrobiotechnologie et de nutrition en zone semi-aride, Université de Tiaret, Faculté SNV, Algérie. Ces analyses sont choisies car ont un effet sur l'activité biologique des plantes et des microorganismes dans un sol (**Gobat, 2010**).

IV.5.1.1. Prélèvement du sol

Le sol a été prélevé dans l'horizon de surface (0-20 cm) Il a été séché sur des bâches à la température ambiante puis tamisé à 2 mm (**Clément, 1998 ; Baize, 2018**). Le prélèvement du sol a été réalisé durant les stades végétatifs suivant : levée, tallage, montaison/épiaison et remplissage (fin de culture) a fin d'étudier l'effet de stress hydrique sur la biomasse microbienne rhizosphérique d'une culture céréalière et son effet sur l'ensemble des interactions sol, plante et microorganismes. L'échantillon a été séché à l'air à environ 4 % d'humidité pondérale, tamisé à 2 mm, puis stocké à 4 °C, pour minimiser son évolution pendant le temps de l'étude (**Baize, 2018**).

- **Dates des prélèvements :** 1^{er} prélèvement le 20,24/ 11/2016 au stade semis ; 2^{ème} le 13/03/2017 au stade levé début tallage ; 3^{ème} le 11/04/2017 et 11/05/2017 au stade tallage /montaison; 4^{ème} le 05/06/2017 au stade remplissage (grains au stade laiteux) et le dernier prélèvement était à la récolte/

IV.5.1.2. Granulométrie

La granulométrie est analysée par la technique de la pipette de Robinson qui consiste à prélever de manière répétée des échantillons de la suspension à une hauteur fixe et selon un horaire prédéfini (selon la viscosité du liquide et les classes de diamètres texturaux qui nous intéressent) (**norme française, AFNOR [172J] ; Baize, 2018**).

IV.5.1.3. Humidité

L'humidité du sol après chaque prélèvement est mesurée. Un échantillon du sol est pesé directement pour obtenir le poids frais (Pf). Il est placé dans une étuve à une température de 105°C jusqu'à l'obtention d'un poids sec constant (Ps) (**Baize, 2000**), (**Baize, 2018**).

L'expression de l'humidité est alors calculée selon la formule suivante :

$$H\% = (P_f - P_s) / P_s \cdot 100$$

IV.5.1.4. Mesure de pH

Le pH est mesuré par un pH mètre en mettant en contact 20 g de sol et 50 ml d'eau distillée (rapport sol/eau =2/5) distillée après agitation pendant 2h (**Baize, 2018**).

IV.5.1.5. Calcaire total (carbonates totaux) (CaCO₃)

Cette valeur est déterminée par « calcimètre volumétrique », c'est-à-dire par mesure du volume de CO₂ dégagé, suite à l'action d'un excès d'acide chlorhydrique sur un poids connu d'échantillon (**Baize, 2018**)

Lorsque le taux de calcaire total (CaCO₃) dépasse 5 % on passe au calcul du calcaire actif.

IV.5.1.6. Conductivité électrique

A été mesurée par conductimètre de type en mettant en contact 20 g de sol et 50 ml d'eau distillée (rapport sol/eau =2/5) après agitation pendant 2h (**Baize, 2018**).

IV.5.1.7. Carbone et la matière organique

La teneur en carbone organique est déterminée directement par oxydation humide. **La méthode Anne (norme AFNOR X 31-109[172J]** qui consiste à une oxydation de la matière organique par une quantité en excès de dichromate de potassium en milieu sulfurique à température contrôlée ou à ébullition. Pour passer du taux de carbone au taux de matière organique totale, les laboratoires d'analyse utilisent soit le coefficient multiplicateur 1,72, soit le coefficient 2,0. Le premier semble mieux convenir aux horizons labourés tandis que le second serait plus approprié pour les horizons de surface forestière (**Baize, 2000**).

IV.5.2. Analyses microbiologiques du sol

IV.5.2.1. Dénombrements de bactéries cultivables par le Nombre le Plus Probable (NPP) : Méthode d'évaluation des nitrifiants, dénitrifiants et ammonifiants

IV.5.2.1.1. Préparation des suspensions-dilutions

La préparation des suspensions-dilutions consiste à disposer sur un portoir une série de 09 tubes stériles numérotés de 01 à 09 et contenant chacun 9 ml d'eau distillée, peser 01 gramme de sol préalablement tamisé et homogénéisé, le verser dans la tube 01 agiter vigoureusement, c'est la suspension dilution 10^{-1} , le transférer dans le tube 2 contenant déjà de l'eau distillée (9ml), il s'agit de la suspension dilution 10^{-2} agiter vigoureusement et recommencer l'opération pour le restant des tubes en transférant 1ml de solution d'un tube à l'autre, afin de préparer les suspensions dilutions 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7} , 10^{-8} , 10^{-9} les suspensions dilutions doivent être utilisées aussitôt après leur préparation (**Prescott, 2018**).

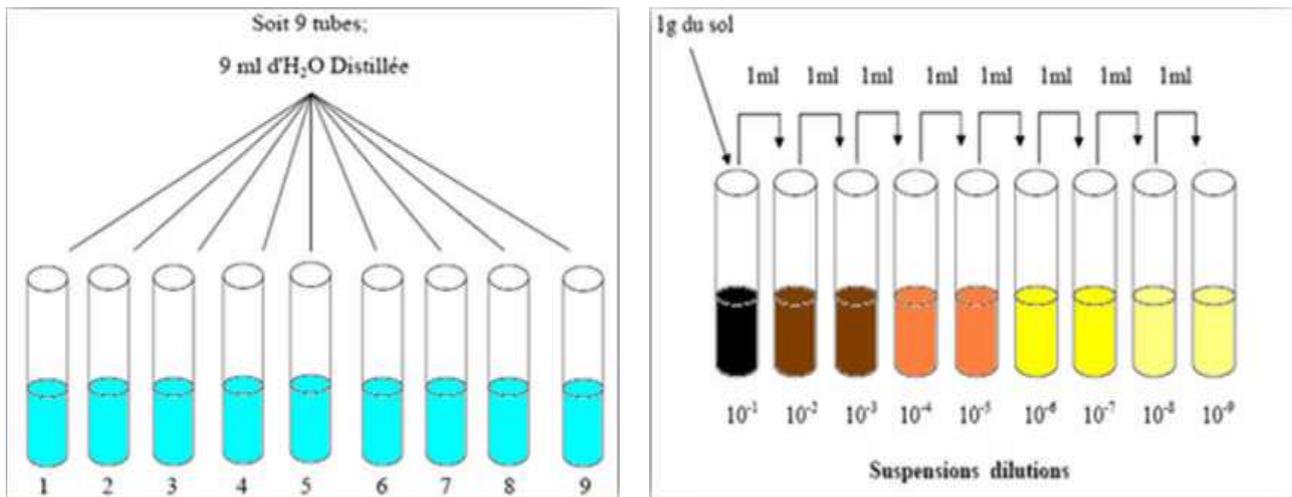


Figure 09 : Préparation des suspensions de dilutions du sol.

La préparation des milieux de culture, pour les différents germes est indiquée en (**ANNEXE N° 39**).

Les populations bactériennes cultivables, ont déterminées par la technique d'estimation statistique du Nombre le Plus Probable (NPP). Cette technique permet, grâce à des dilutions liquides en cascade, d'estimer le nombre de bactéries cultivables d'une population sélectionnée par un milieu de culture, et qui étaient présentes dans l'échantillon de terre initiale (**Prescott, 2018**). Répartir le milieu de culture en tube à raison de 5 ml par tube. Boucher au coton, Stériliser à l'autoclave 20 minutes à 110° C. Utiliser les suspensions-dilutions de sol déjà préparées, 1 ml par tube, 2 tubes par dilutions de 10^{-3} à 10^{-9} laisser incuber à 28° pendant 21 jours (**Calvet, 2003**).

Lire après 21 jours d'incubation le nombre de tubes positifs c'est à dire ceux ayant donné une couleur trouble après test. Pour les nitrifiants, le test se fait à l'aide du zinc en poudre plus quelques gouttes de **NaOH** et on chauffe au contact du papier tournesol. La détection des ammonifiants se fait en présence du réactif de **Nessler**. Le résultat est positif

lorsque le papier tournesol vire au bleu, on détermine le nombre de tubes positifs et on calcule le nombre par gramme de terre (Pochon et Tardieux, 1962 ; Calvet, 2003 ; Prescott, 2018).

IV.5.2.1.2. Expression des résultats

Compter le nombre de tubes positifs à chaque dilution. Calculer le « nombre caractéristique » NPP et déterminer le nombre de germes par gramme de sol suivant la table de Mc Crady. Quand à la biomasse microbienne totale, elle est déterminée par la somme algébrique des différentes populations qui la composent (ex : bactéries et champignons) (Sparling et al., 1986 ; Chaussaud, 1996 cité in Calvet, 2003 ; Prescott, 2018).

Calcul :

$$\text{Nombre de germes par gramme de sol (N)} = (\text{NPP} / \text{volume ensemencé}) \times \text{facteur de dilution}$$

IV.5.2.2. Méthode d'évaluation des actinomycètes, champignons azotobactères et bactéries aérobies : numération indirecte en milieu solide

IV.5.2.2.1. Principe

Étalement à la surface de la boîte de milieu nutritif gélosé d'une quantité mesurée de suspensions-dilutions de sol. Dénombrement des colonies apparues après 7 jours d'incubation. Ensemencement de 0,1 ml de suspension dilution 10^{-5} , sur la gélose dans chaque boîte et étalées avec soin sur toute la surface. L'ensemencement et l'étalement doivent se faire aseptiquement près de la flamme d'un bec benzen. On inocule 3 boîtes par dilution, 10^{-5} ou 10^{-7} (selon le type de sol). Après ensemencement, on homogénéise puis on laisse les boîtes absorber l'inoculum de la solution nutritive préparée auparavant, En position retournée, on laisse incuber à 28°C. Pendant sept jours (Prescott, 2018).

IV.5.2.2.2. Lecture des résultats

Après 7 jours, examiner successivement chaque boîte en lumière transmise et en lumière rasante à l'œil nu ou à l'aide d'une loupe. Compter le nombre de colonies développées par boîte et déterminer pour chaque dilution la moyenne des 3 boîtes.

Calcul du nombre de germes par gramme de sol (N):

$$\text{N} = \text{La moyenne des colonies développées dans les trois boîtes} \times \text{inverse de la dilution} \\ \times \text{coefficient de sécheresse} \times 10 / 1 \text{ g de sol.}$$

Coefficient de sécheresse = $1 / (1 - \text{Taux d'humidité})$.

IV.5.3. Analyses technologiques des grains et des semoules

Cette étude cible les céréales complètes et ses propriétés de point de vue qualité technologique. Les céréales complètes sont des sources de fibres alimentaires mais également de vitamines, de minéraux et de composés antioxydants. Leur consommation est associée à des bénéfices pour la santé. Elles diminuent en particulier le risque de diabète de type 2, de maladies cardiovasculaires et de cancer colorectal. Donc les analyses des paramètres de la qualité technologiques sont réalisées sur le produit brut de broyage de grains de blé complet (**Champs, 2017**). Les analyses de la qualité technologique sont réalisées au niveau de laboratoire d'analyse des moulins EL RIAD de METIDJI de la wilaya de Tiaret.

IV.5.3.1. Taux d'impuretés

Les grains de blé doivent être débarrassés de toutes leurs impuretés avant d'être envoyés sur le premier broyeur : graines étrangères, graines d'autre céréales, pailles, pierres, pièces métalliques, d déchets d'animaux (rongeurs, insectes). Il est également souhaitable d'éliminer les blés mal venus (grains échaudés, ergotés et fusariés) dont la présence pourrait nuire à la qualité de produit de mouture (semoule) (**Feillet, 2000**).

En pratique, on procède en séparant les grains sains des impuretés par tri visuel et tamisage. En suite, on classe et on pèse les impuretés au moyen d'une balance. Le rapport exprimé en pourcentage, entre le poids des impuretés et le poids de l'échantillon fournit de taux d'impuretés des grains analysés (**De lucia, 1992**). La présence d'impuretés fausse les mesures de l'humidité et de poids spécifique.

IV.5.3.2. Teneur en eau

Basées sur la mesure de la perte de poids de l'échantillon après séchage, ces méthodes ne sont pas théoriquement applicables qu'à la condition d'opérer à des températures de séchage inférieures à celle de la volatilisation d'autre composés présents dans le produit. De ce fait, les protocoles expérimentaux diffèrent d'un produit à l'autre. Dans le cas du semoule, la méthode pratique de référence la plus couramment utilisée repose sur la détermination de la perte de masse après séchage de 5 g de farine maintenus à 130-133 °C pendant 1 h 30 à la pression atmosphérique (**NF V 03-707 ; Feillet, 2000**).

IV.5.3.3. Poids spécifique

La masse volumique dite masse à l'hectolitre, appelée communément poids spécifique (PS), est la masse d'un hectolitre de grains exprimée en kilogrammes selon **NF V03-719**.

La masse à l'hectolitre est calculée à partir de la masse de 50 litre (trémie conique) ou d'un litre (Niléma-litre) pour les blés durs, sur un échantillon débarrassé manuellement des grosses impuretés (**De Lucia, 1992**).

IV.5.3.4. Poids de mille grains

C'est une des composantes du rendement agronomique et rendement semoulier. Cette mesure est surtout effectuée lors de la sélection du blé dur selon **NF V03-702**. Le poids de mille grains est estimé à la partir du comptage et pesage de 1000 graines à l'aide de l'appareil de comptage ou bien manuellement (**Feillet, 2000**). Le principe de la méthode repose sur le comptage automatique ou manuel du nombre de grains entiers contenus dans une prise de masse connue. La détermination de la masse de 1000 grain est basée sur le comptage des grains d'une prise d'essai de 30 g après élimination des impuretés et de grains cassés. La différence entre les résultats de deux essais ne doit pas dépasser 6% pour les grains ayant une masse supérieure à 25 grammes pour 1000 grains. En utilisant une balance de 0.001 de précision.

IV.5.3.5. Taux de mitadinage

Un grain mitadiné présente à la coupe une ou plusieurs plages farineuses et à tendance, lors de la mouture, à se désagréger en farine et non à éclater en semoule, provoquant une diminution du rendement semoulier, déterminé selon **NF V03-705**. Le taux de mitadinage (exprimé en %) indique le nombre de grains partiellement ou totalement farineux dans un lot de grains. La détermination du taux de mitadinage s'effectue sur 300 grains à l'aide d'un farinotome de POHL (**Feillet, 2000**).

$$M \times (100-1)/100$$

Le taux de vitrosité peut être calculé selon: $V = 100 - M$

M% : taux de mitadinage

V% : Le taux de vitrosité

IV.5.3.6. Teneur de protéines

La teneur en protéines de blé dur est un critère très important qui influe fortement sur la qualité du blé dur compte tenu de ses relations étroites avec le taux de grains mitadinés et

avec la qualité culinaire des produits de transformation. La teneur minimale pour la mise à l'intervention est de 11.5%. En règle générale, plus la teneur en protéines est élevée, meilleure est la qualité du blé dur. Un seuil de 14% est le plus souvent nécessaire à l'obtention d'un taux de vitrosité satisfaisant.

La détermination de la teneur en protéines des grains a été effectuée sur le principe de spectrométrie (**Feillet, 2000**). Le principe de cette méthode développée par **Bradford (1976)** repose sur l'utilisation de bleu brillant de Coomassie. Il s'agit de trouver la concentration en protéines d'une solution inconnue par la méthode de Bradford. La correspondance entre la valeur de la densité optique D.O. à 595 nm et la concentration en protéines de la solution est donnée grâce à l'établissement d'une gamme d'étalonnage. Cela consiste à faire réagir le réactif de coloration avec des solutions de protéines de concentrations connues et croissantes (sérum bovin).

$$\text{D.O} = f(\text{concentration de protéines})$$

IV.5.3.7. Teneur en gluten humide

La détermination de la teneur en gluten humide se base sur l'extraction du gluten selon **l'ISO 21415**. La détermination du gluten sec se fait par séchage de la totalité du gluten humide. La détermination de la teneur en gluten humide se base sur l'extraction du gluten à partir d'une mouture intégrale des grains de blé dur en raison de 10 grammes pour chaque échantillon. L'extraction se fait par l'ajout d'une solution saline (4.8ml de NaCl à 2%) à la mouture du blé et par un malaxage mécanique suivis d'une lixiviation automatique grasse à un système glutomatic. La masse plastique issue à la fin représente le gluten humide, elle est pesée et calculée comme suit :

$$\text{GH} (\%) = m \times 100/10$$

(GH : gluten humide ; m: masse en gramme de gluten humide), le gluten humide est exprimé en pourcentage.

IV.5.3.8. Teneur en gluten sec

La détermination du gluten sec se fait par séchage de la totalité du gluten humide. La masse du gluten humide est mise 4min dans une plaque chauffante à 150°C. Après séchage on pèse le gluten. Le gluten sec est calculé comme suit et donné en pourcentage :

$$\text{GS}(\%) = m \times 10/100$$

(GH: gluten sec; m : est la masse en gramme du gluten sec). Appareillage : Plaque chauffante.

IV.5.3.9. Taux d'amidon

La méthode est basée sur la Loi de Beer-Lambert qui permet de calculer la quantité de lumière transmise après passage à travers une épaisseur donnée d'un composé en solution dans une matrice non absorbante. Les étapes du dosage de la solution inconnue à l'aide d'un spectrophotomètre UV -Visible sont présentées dans la **figure 10 (Bao, 2002)**.

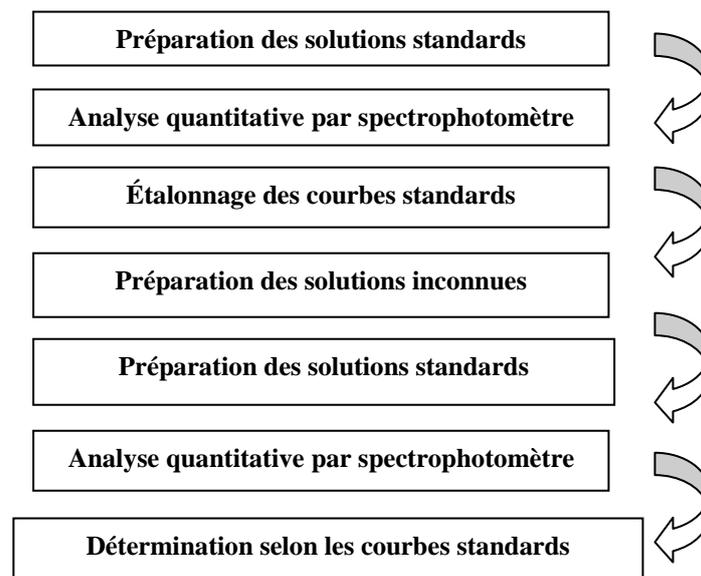


Figure 10 : Méthode de l'UV-Visible.

On sait que la réaction entre l'amidon et l'iode génère un complexe bleu qui peut absorber la lumière dans les zones de l'UV-Visible. Cela permet d'utiliser la méthode UV-Visible pour analyser la concentration d'amidons inconnus (voir le mode opératoire ANNEXE N° 45).

IV.5.4. Données climatiques

Nous avons présenté quelques données climatiques (température, précipitation, vitesse du vent et humidité) caractéristiques de la wilaya de Tiaret durant la période 2006 à 2017 (ANNEXES N° 29 a, 29 b, 29 c et 29 d).

CHAPITRE V

RESULTATS ET DISCUSSION

V.1. Analyse physico-chimique du sol

V.1.1. Granulométrie

Le sol étudié à une texture limoneux-sableuse, Cette texture est confirmée par plusieurs études réalisées (Oulbachir, 2010), confirme la présence des taux élevés de limon dans région. Cette analyse permet de connaitre (sous une forme pondérale) la répartition des particules minérales < 2mm selon des classes de grosseur. Une fois admis les limites des différentes classes de dimensions de particules, il s’agit de déterminer la répartition statistique des particules d’un échantillon dans ces différentes classes granulométriques (Baize, 2000).

Le tableau 02 présente des propriétés étudiées qui ont une relation avec l’eau dans le sol.

Tableau 02 : Densité apparente et l’humidité du sol étudié (selon l’ITGC) l’année 2016/2017

la densité apparente (da) g/cm 3	l’humidité à la capacité au champ (PF 3.5) ; Hcc (%)	l’humidité à la capacité au champ (PF 3.5) ; Hcc (mm)	l’humidité au point de flétrissement (PF 4.2) Hpf (%)	l’humidité au point de flétrissement (PF 4.2) Hpf (mm)	La réserve utile RU (mm)
1,32	19	50,16	9,66	25,5	24,7

V.1.2. L’humidité du sol

Il est remarqué qu’il y a une différence hautement significative (p= 0,020) (ANNEXE 03) entre le sol associé à une culture irriguée et le sol associé à une culture non irriguée, dont l’humidité diminue progressivement dès le début de la culture jusqu’à la récolte, l’effet du stress sur l’humidité du sol et présenté dans la figure 11.

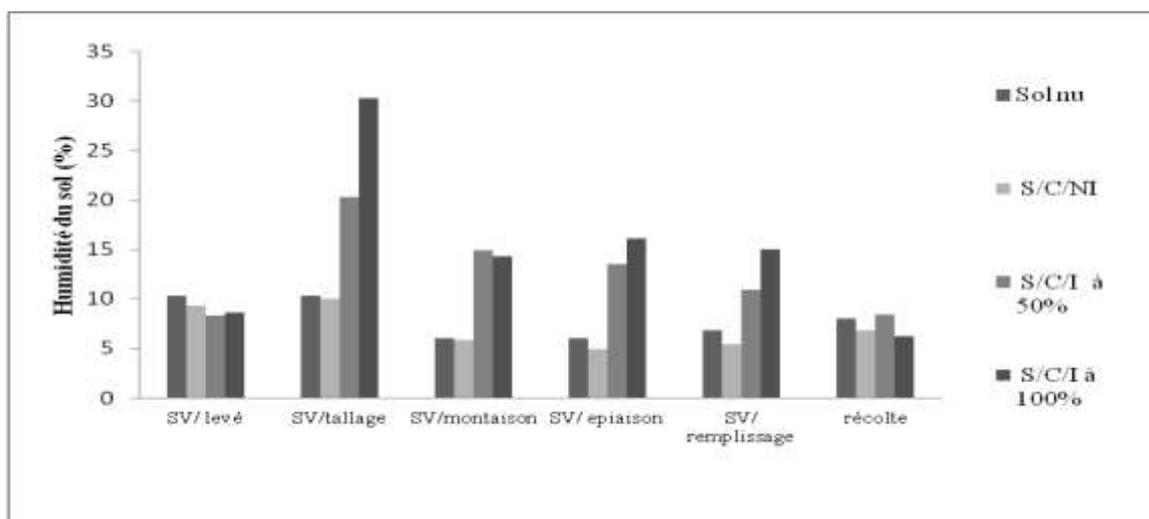


Figure 11: Effet de l’apport de l’eau sur l’humidité du sol (horizon 0-20 cm)

La disponibilité de l'eau dans un sol est liée aux conditions climatiques, la sécheresse qui est due à un déficit de pluviométrie (Gallais, 2015). La rareté des pluies ou des pluviosités trop espacées peuvent également induire un stress hydrique qui cause une diminution de la quantité d'eau dans le sol (Casals, 1996).

D'une autre part, le régime hydrique du sol dépend directement des trois propriétés du sol :

- La texture détermine les forces de rétention de l'eau.
- La structure influence la circulation de l'eau.
- La porosité définit le volume du réservoir hydrique du sol.

De même on distingue les états de l'eau dans le sol, selon la force avec laquelle est retenue et sa disponibilité pour les plantes : l'eau gravitaire, l'eau utile et l'eau inutilisable (Gobat, 2010). Pour amener une molécule d'eau liée à l'état libre, il faut en effet fournir un travail appelé le potentiel hydrique totale (Davet, 1996). Le potentiel hydrique est lié directement au potentiel de pression (représente le surplus de la pression hydrostatique, par rapport à la pression atmosphérique) et le potentiel osmotique (potentiel de soluté, contribution de soluté de la solution). Cela explique la relation entre la disponibilité de l'eau, sa dynamique et la variation des valeurs de potentiel hydrique (Hopkins, 2003).

V.1.3. pH

Les valeurs de pH varient durant les stades végétatifs de la culture ; dès le premier stade jusqu'à la récolte. Les valeurs les plus élevées sont remarquées durant les stades montaison/ épiaison et le stade de remplissage comme le montre le **tableau 03**.

Tableau 03 : Valeurs de pH du sol durant les stades végétatifs.

pH /eau	Sol nu	Pluvial	Irrigué à 50 %	Irrigué à 100 %
Stade levée	7	7	7	7
Stade tallage	7	7,14	7,06	7,33
Stade montaison/épiaison	7,51	7,5	7,65	7,72
Stade remplissage	7,53	7,53	7,68	7,74

V.1.4. Calcaire total

L'étude statistique ne présente aucun effet du stress hydrique sur le calcaire total ; mais il y a une variation des valeurs durant les stades végétatifs de la culture dès le premier stade jusqu'à la fin de la culture (**tableau 04**).

Tableau 04 : Taux calcaire total du sol durant les stades végétatifs.

Calcaire total %	Sol nu	Pluvial	Irrigué à 50 %	Irrigué à 100 %
Stade levée	2,83	3,33	3,16	3,5
Stade tallage	3,33	4	4	4
Stade montaison/épiaison	4,33	4,66	4,1	5
Stade remplissage	5,33	5,33	4,06	3,5

V.1.5. Conductivité électrique

Il existe une variation des valeurs de la conductivité électrique du sol durant les stades végétatifs de la culture dès le premier stade jusqu'à la récolte. Les valeurs les plus élevées sont marquées pendant le stade de remplissage (**tableau 05**).

Tableau 05 : Valeurs de la conductivité électrique du sol.

Conductivité électrique mS/m	Sol nu	Pluvial	Irrigué à 50 %	Irrigué à 100 %
Stade levée	1,3	1,31	1,3	1,3
Stade tallage	1,3	1,2	1,53	1,42
Stade montaison/épiaison	1,31	1,32	1,47	1,35
Stade remplissage	1,94	1,32	1,73	1,77

V.1.6. Matière organique

Pour les valeurs de la matière organique du sol, il est remarqué qu'il existe une variation du taux de la matière organique avec la variation des stades végétatifs de la culture de blé dur étudiée. Le taux de matière organique diminue progressivement dès le début de la culture jusqu'à la fin de la culture les résultats sont présentés dans le **tableau 06**.

Tableau 06 : Taux de la matière organique du sol pour chaque stade végétatif.

Matière organique %	Sol nu	Pluvial	Irrigué à 50 %	Irrigué à 100 %
Stade levée	2,27	2,24	2,67	2,35
Stade tallage	2,27	2,06	1,25	2,29
Stade montaison/épiaison	1,82	1,03	0,96	0,516
Stade remplissage	1,27	0,88	0,68	0,38

Le taux de matière organique diminué progressivement avec la croissance de la culture et les stades végétatifs, dont il est remarqué qu'à la fin de la culture des taux très bas en matière organique. Ces taux sont plus faibles dans un sol cultivé par rapport à un sol nu et plus faible pour la culture irriguée que la culture non irriguée. L'étude statistique, par la matrice de corrélation présente une corrélation positive entre la matière organique et la densité bactérienne du sol (**ANNEXE 02**).

V.2. Analyses microbiologiques du sol

V.2.1. Evaluation des bactéries aérobies, azotobacters, actinomycètes et champignons: numération indirecte en milieu solide

Il est à noter que l'humidité du sol affecté par le stress hydrique a un effet très hautement significatif sur les bactéries aérobie ($p=0,008$) (**ANNEXE 04**), pour un sol nu leur nombre diminué progressivement de $30,06 \cdot 10^6$ germes/ g de sol 'à $9,93 \cdot 10^6$ germes/ g de sol, Quant au sol cultivé soumis aux conditions climatiques leur nombre diminué progressivement de $39,3 \cdot 10^6$ germes/ g 'à $10,3 \cdot 10^6$ germes/ g.

Concernant le sol cultivé irrigué à 50% à la capacité au champ le nombre diminué également et progressivement de $166,3 \cdot 10^6$ germes/ g 'à $9,03 \cdot 10^6$ germes/ g. le sol cultivé irrigué à 100% à la capacité au champ le nombre diminué aussi, progressivement de $33,3 \cdot 10^6$ germes/ g jusqu'à $8,4 \cdot 10^6$ germes/ g (**figure 12**).

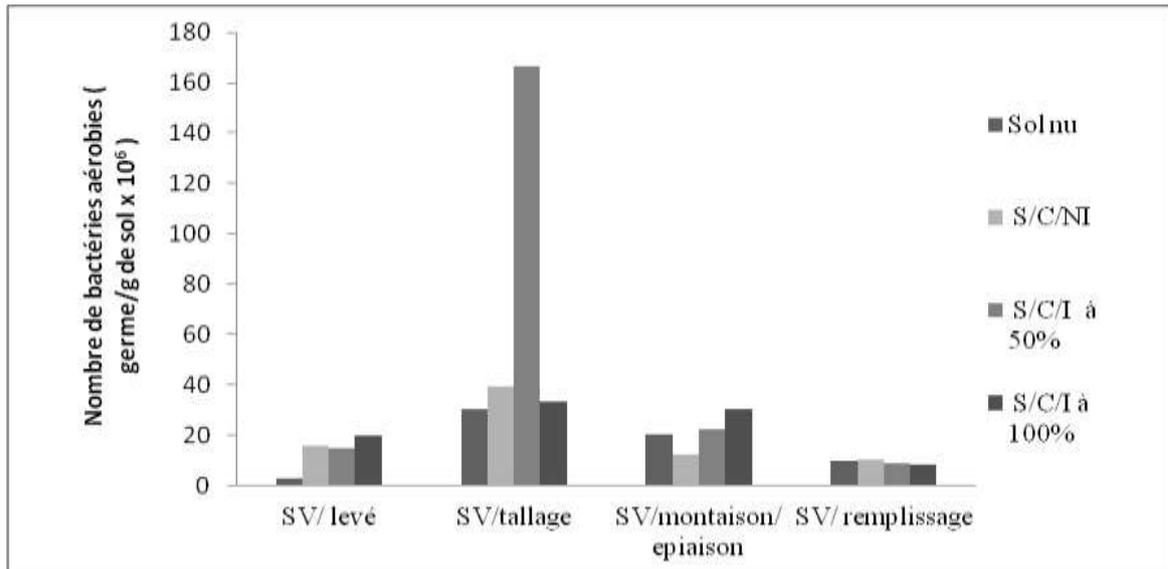


Figure 12 : Effet de stress hydrique sur la densité des bactéries aérobies (nombre de germes/g de sol ($\times 10^6$)).

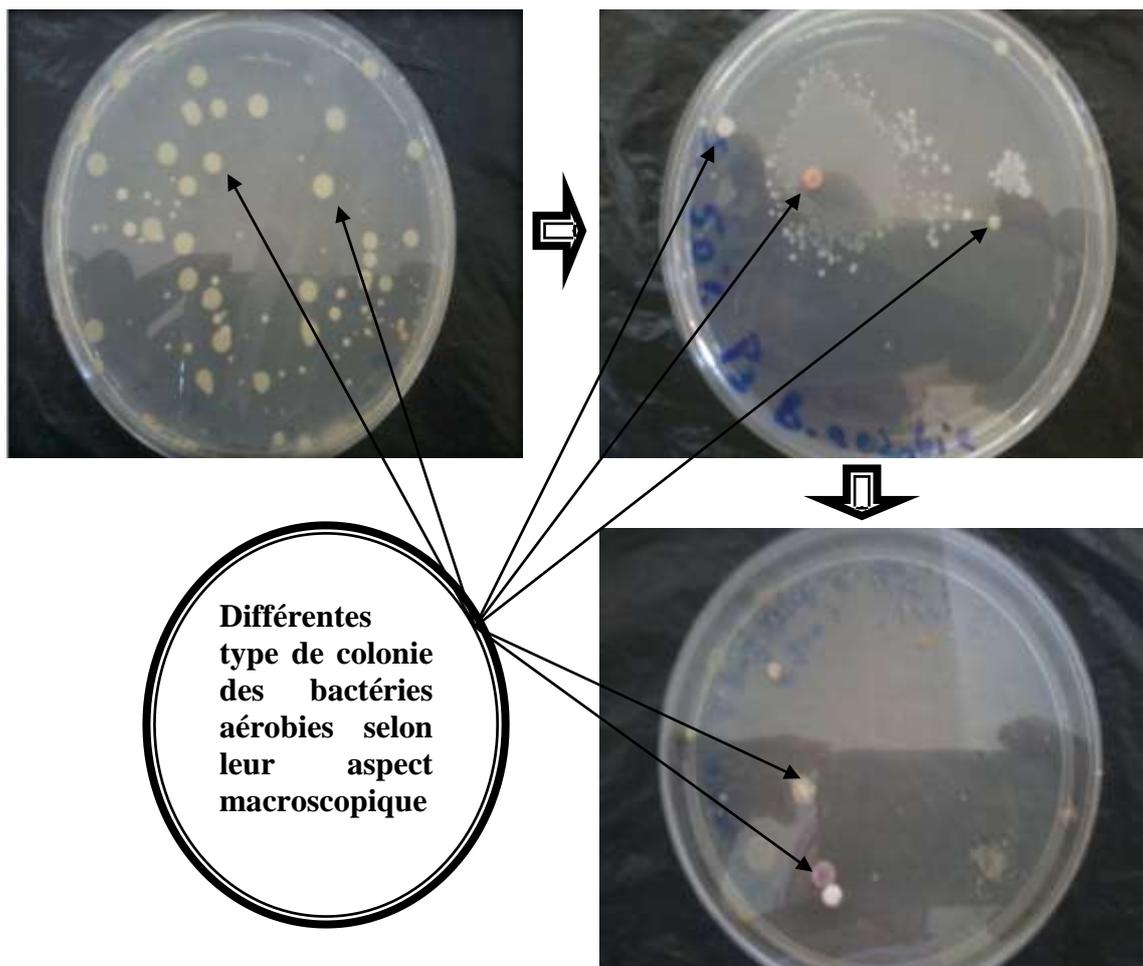


Figure 13: Résultat du dénombrement des bactéries aérobies par la méthode UFC

Il est remarqué que l'humidité du sol affectée par le stress hydrique a un effet très hautement significatif sur les azotobacters ($p=0,0007$) (ANNEXE 05), pour un sol nu leur nombre diminue progressivement de $18,6 \cdot 10^6$ germes/ g de sol à $2,2 \cdot 10^6$ germes/ g, pour un sol cultivé soumis à la pluviométrie leur nombre diminue progressivement de $36 \cdot 10^6$ germes/ g jusqu'à $10,7 \cdot 10^6$ germes/ g.

Concernant le sol cultivé irrigué à 50% à la capacité au champ le nombre diminue aussi, progressivement de $91 \cdot 10^6$ germes/ g à $5,03 \cdot 10^6$ germes/ g. Le sol cultivé irrigué à 100% à la capacité au champ leur nombre diminue, progressivement de $51,3 \cdot 10^6$ germes/ g jusqu'à $2 \cdot 10^6$ germes/ g.

Il s'avère que le taux des azotobacters dans un sol nu est inférieur à celui d'un sol cultivé, le nombre dans un sol irrigué est supérieur à celui d'un sol non irrigué. Le nombre des azotobacters le plus élevé est signalé durant le stade tallage les résultats sont présentés dans la figure 14.

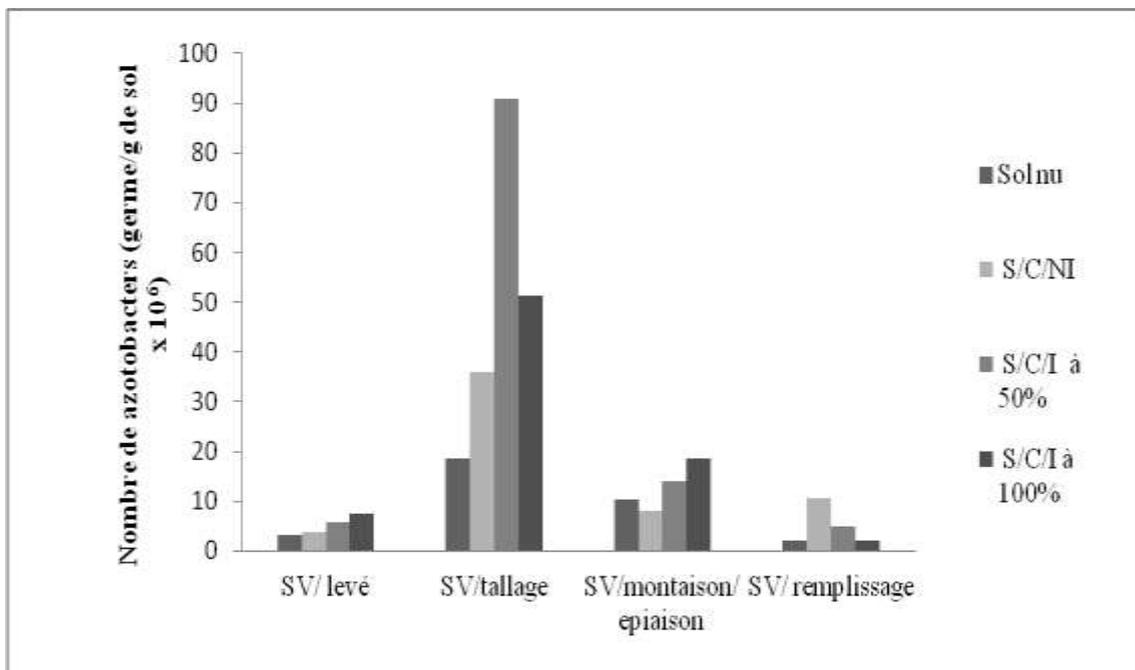


Figure 14: Effet de stress hydrique sur le nombre des azotobacters (nombre de germes/g de sol ($\times 10^6$)).

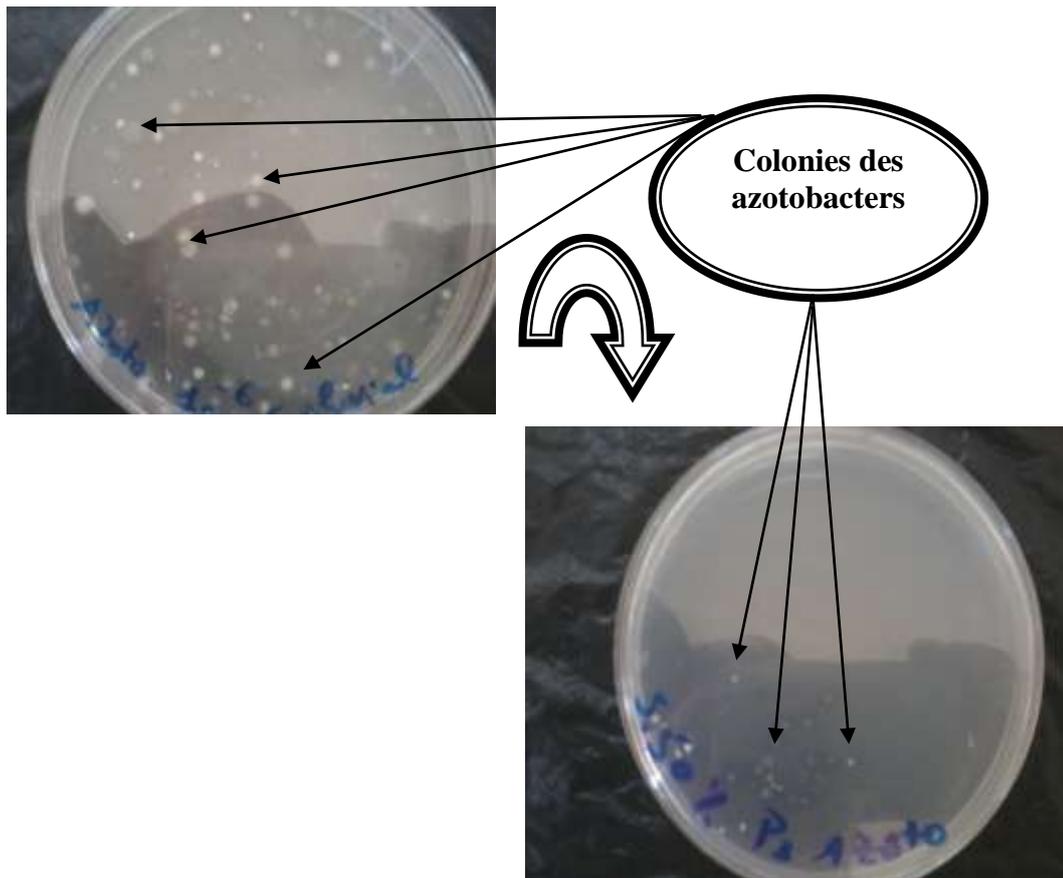


Figure 15 : Résultat de dénombrement des azotobacters par la méthode UFC

Il est remarqué que l'humidité du sol affectée par le stress hydrique a un effet hautement significatif sur les actinomycètes ($p=0,01$) (ANNEXE 06), pour un sol nu leur nombre diminue progressivement de $18 \cdot 10^6$ germes/ g de sol à $9,25 \cdot 10^6$ germes/ g, pour un sol cultivé soumis aux conditions climatiques leur nombre diminue progressivement $25,5 \cdot 10^6$ germes/ g jusqu'à $3,33 \cdot 10^6$ germes/ g. Concernant le sol cultivé irrigué à 50% à la capacité au champ le nombre diminué, progressivement de $43 \cdot 10^6$ germes/ g jusqu'à $3,9 \cdot 10^6$ germes/ g.

Le sol cultivé irrigué à 100% à la capacité au champ le nombre diminué, progressivement de $210 \cdot 10^6$ germes/ g à $5,76 \cdot 10^6$ germes/ g. Il est à signaler que le nombre d'actinomycètes dans un sol nu est inférieur à celui d'un sol cultivé, le taux sous un sol irrigué est supérieur à celui d'un sol non irrigué et augmente avec l'augmentation de taux d'humidité du sol (figure 16).

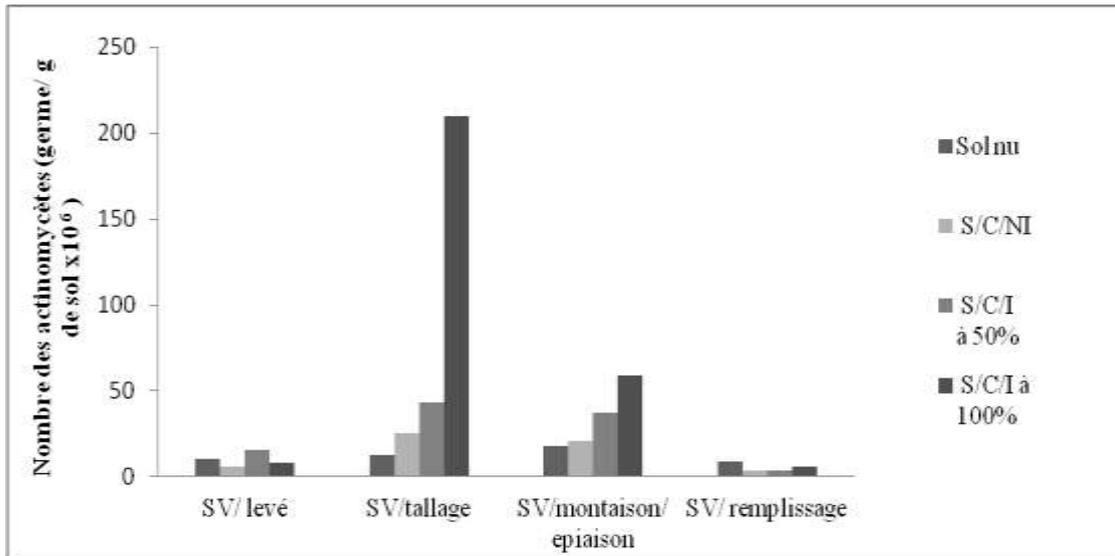


Figure 16 : Effet de stress hydrique sur le nombre des actinomycètes (nombre de germes/g de sol ($\times 10^6$))

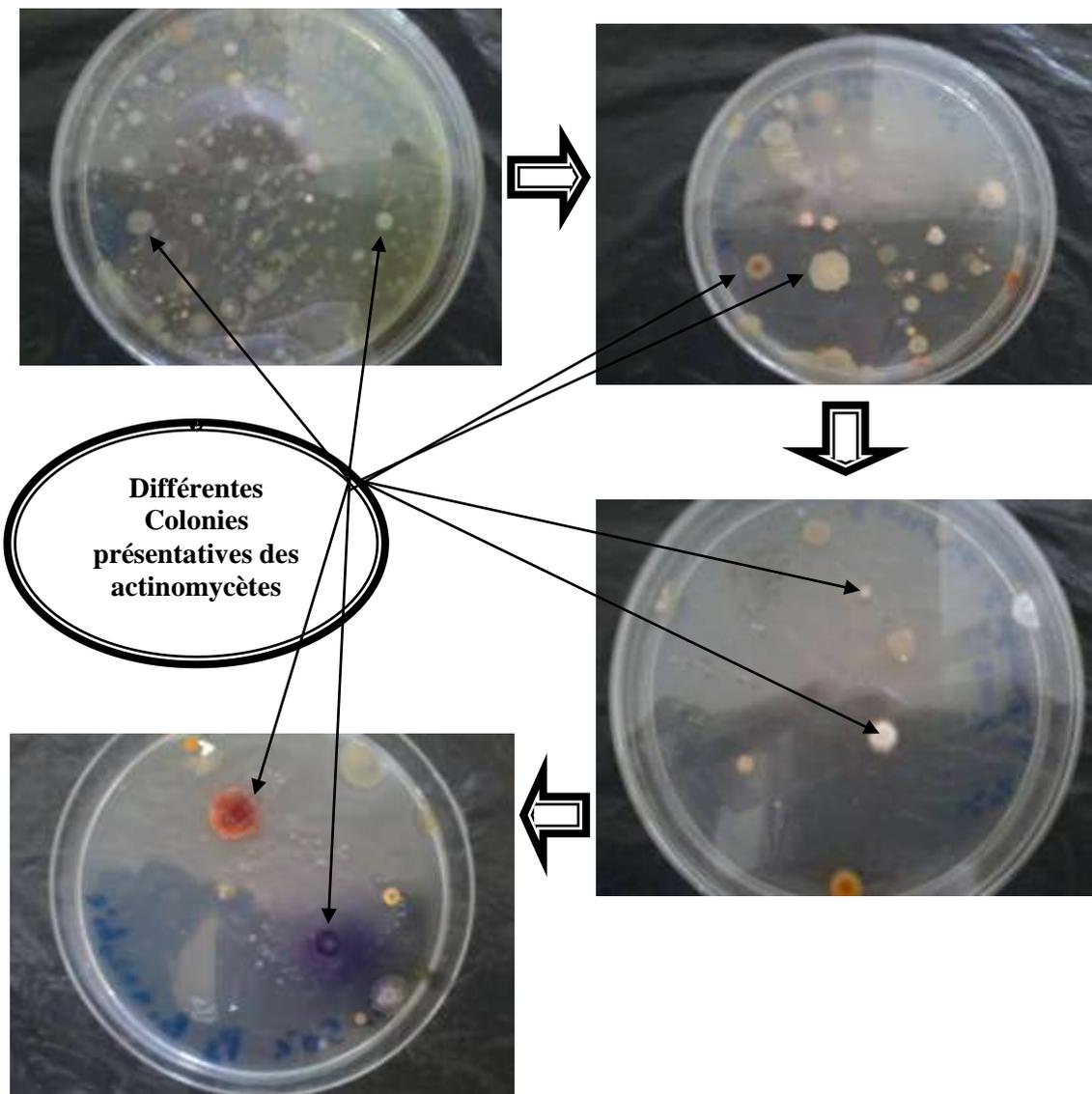


Figure 17 : Résultat de dénombrement des actinomycètes par la méthode UFC.

Les résultats de l'effet du stress hydrique sur les champignons sont présentés dans la **figure 18**. Il est remarqué que l'humidité affecté par la déficit hydrique n'a aucun effet sur le nombre des champignons.

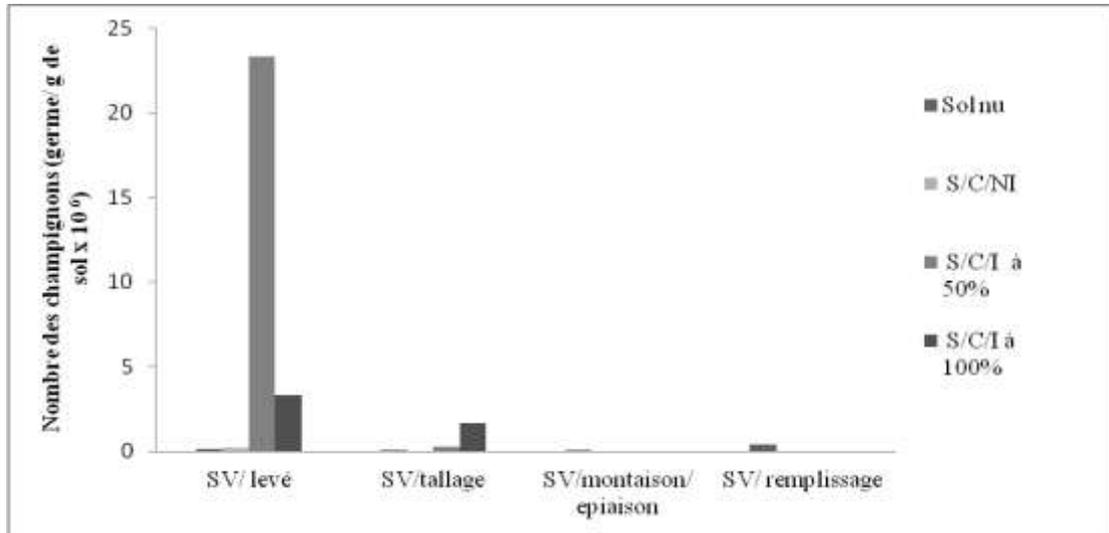


Figure 18 : Effet de stress hydrique sur la densité des champignons (nombre de germes/g de sol ($\times 10^6$)).

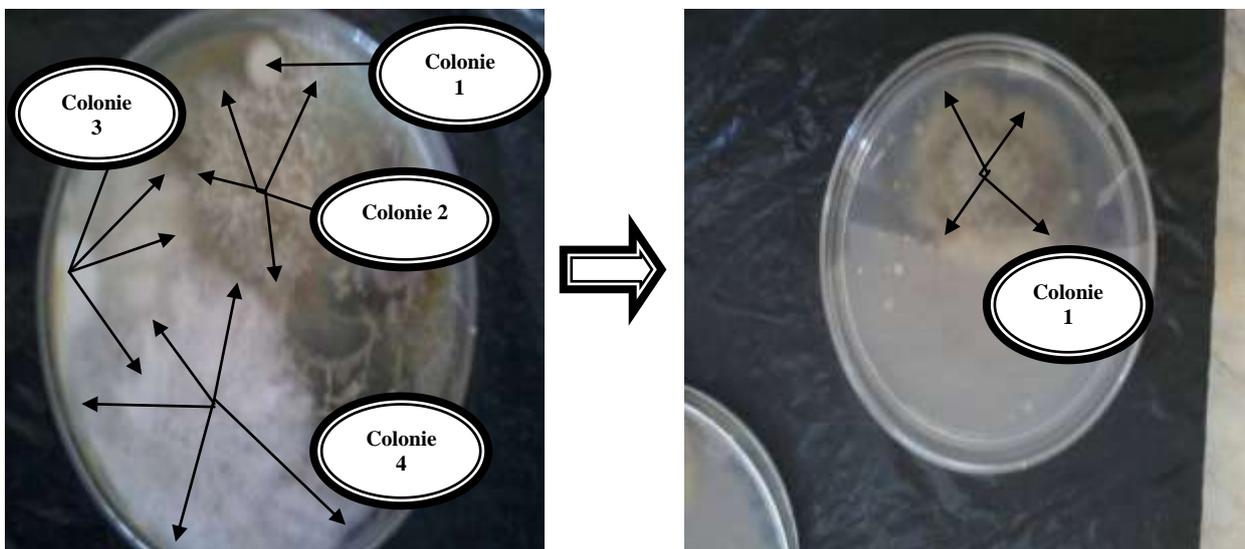


Figure 19 : Résultat de dénombrement des champignons par la méthode UFC.

V.2.2. Dénombrements de bactéries cultivables par le Nombre le Plus Probable (NPP) : Méthode d'évaluation des nitrifiants, dénitrifiants et ammonifiants

L'effet du stress est significatif sur les bactéries ammonifiantes ($p=0,0071$) (ANNEXE 08), pour un sol nu leur nombre diminue progressivement de $50 \cdot 10^6$ germes/ g de sol à $0,9 \cdot 10^6$ germes/ g, pour un sol cultivé soumis aux conditions climatiques leur nombre diminue progressivement de $50 \cdot 10^6$ germes/ g à $0,9 \cdot 10^6$ germes/ g. Concernant le sol cultivé irrigué à 50% à la capacité au champ nombre diminué, progressivement de $900 \cdot 10^6$ germes/ g à $90 \cdot 10^6$ germes/ g. le sol cultivé irrigué à 100% à la capacité au champ le nombre diminué, progressivement de $900 \cdot 10^6$ germes/ g à $90 \cdot 10^6$ germes/ g (figure 20).

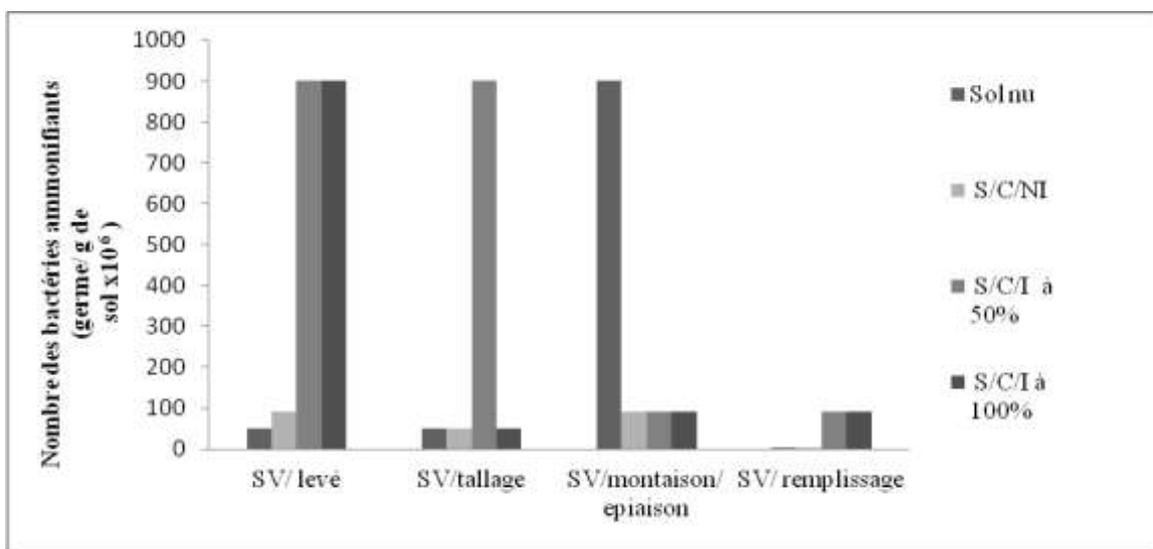


Figure 20 : Effet de stress hydrique sur la densité des bactéries ammonifiantes (nombre de germes/g de sol ($\times 10^6$)).

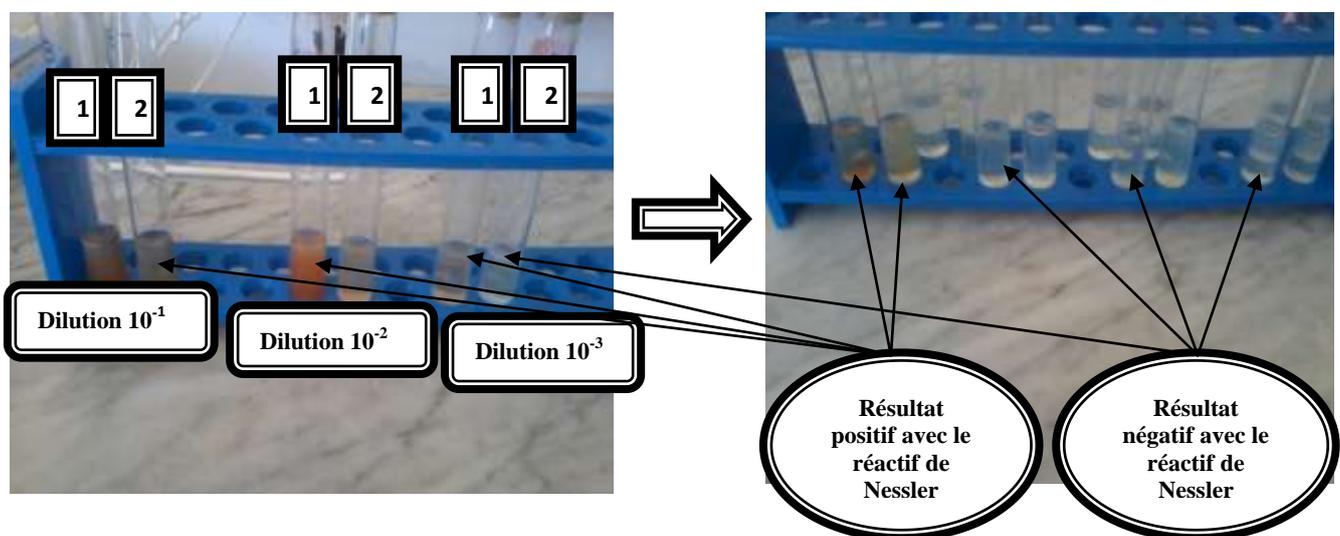


Figure 21 : Résultat de dénombrement des ammonifiants par la méthode NPP (deux tube par dilution).

Il est déduit qu'il existe un effet significatif ($p= 0,02$) (ANNEXE 09) de l'humidité sur les bactéries nitrifiantes leurs nombres sont très variables atteignent des valeurs élevées puis diminuent irrégulièrement. Leurs nombres varient en fonction des stades végétatifs, d'une part et selon la présence ou l'absence de la culture d'autre part (figure 22).

IL existe un effet hautement significatif ($p= 0,03$) (ANNEXE 10) de l'humidité sur les bactéries dénitrifiantes (figure 22).

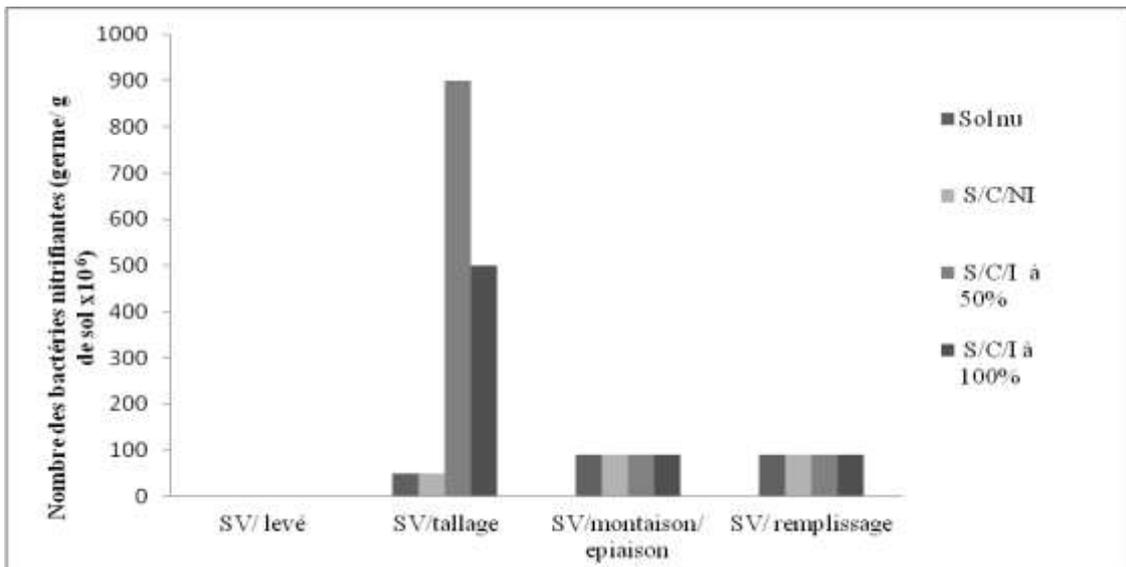


Figure 22 : Effet de stress hydrique sur La densité des bactéries nitrifiantes (nombre de germes/g de sol ($\times 10^6$)).

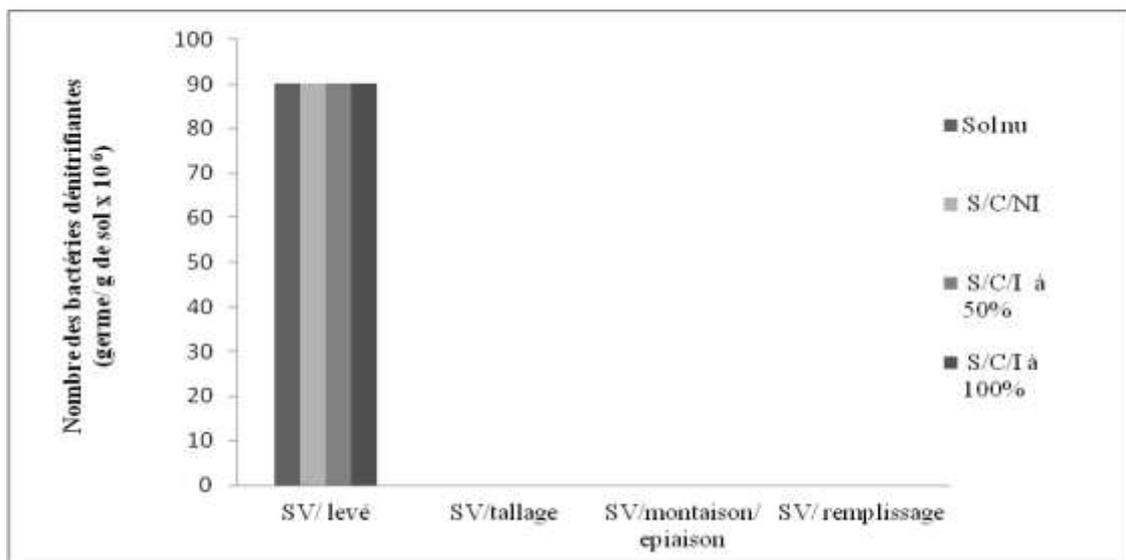


Figure 23 : Effet de stress hydrique sur la densité des dénitrifiantes (nombre de germes/g de sol ($\times 10^6$)).

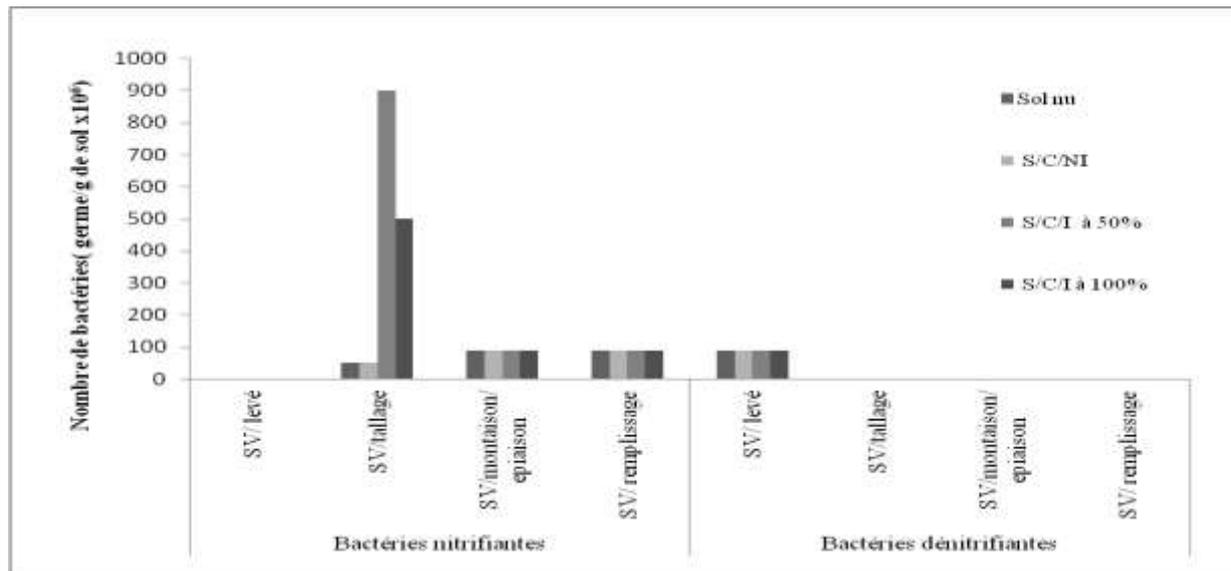


Figure 24: Différence entre le nombre des nitrifiants et les dénitrifiants.

Selon les résultats obtenus, Il s'avère que la biomasse microbienne présente une sensibilité au stress hydrique, d'une manière indirecte. Il a été remarqué que l'humidité du sol soumis au stress hydrique, a un impact hautement significatif sur les bactéries aérobies, les azotobacters, les actinomycètes et les bactéries ammonifiantes, nitrifiantes et dénitrifiantes ; leur nombre diminué progressivement avec la diminution de l'humidité du sol causée par le stress hydrique. Or, l'impact du stress sur les champignons est moins significatif.

Selon **Calvet (2003)**, La teneur en eau du sol a une influence sur l'activité de la microflore par ses relations à la fois avec la biodisponibilité de l'eau et l'aération du sol.

L'eau est un corps chimique indispensable au déroulement des processus métaboliques. Elle a aussi de multiples effets mécaniques ou physiques : abondante, elle augmente la disponibilité des éléments solubles et facilite les déplacements des microorganismes mobiles à la recherche de substrats ou de proies ; rare, elle permet de meilleurs échanges gazeux avec l'atmosphère extérieure et un plus rapide renouvellement de l'oxygène.

Une forte dessiccation entraîne toujours la mort d'un grand nombre d'individus. L'intensité du phénomène augmente avec la valeur du potentiel hydrique atteint et la durée de la période de la sécheresse. Le taux de survie des microorganismes dépend en grande partie de

leur état physiologique : la fraction la plus jeune et la plus active de la biomasse, celle qui se trouvait en pleine phase exponentielle de la croissance au moment de la déshydratation, est la plus vulnérable ; la fraction provenue à l'état stationnaire ou dormante est au contraire peu touchée (**Davet, 1996**).

Les résultats acquis montrent que les actinomycètes sont les microorganismes les moins sensibles au stress appliqué, alors que les azotobacters sont les plus sensibles à la diminution de l'humidité engendré par le stress. Ces résultats sont confirmés par, **Davet (1996)** qui a mentionné que les actinomycètes et les cyanobactéries sont plus résistants. Les azotobacters sont au contraire très sensibles. Les bactéries Gram-négative (le cas des azotobacters), aux parois minces, sont en général moins résistantes que les bactéries Gram-positives, à l'abri de parois épaisses (le cas des actinomycètes).

Le stress hydrique a un effet aussi sur les nitrifiants, les ammonifiantes et les dénitrifiants. Selon **Dommergues et Manegot (1970)**, la fixation de l'azote atmosphérique s'arrête dès que le potentiel hydrique descend au dessous de -1 MPa. La nitrification diminue au dessous de ce seuil et s'arrête vers -5 MPa. Les microorganismes responsables de l'ammonification, plus résistants, poursuivent leur activité jusqu' à -6 MPa et parfois bien au-delà.

Le seuil limite d'activité pour les champignons est de l'ordre de - 20 MPa, mais ici encore on observe une large variabilité selon les espèces (**Griffin, 1972**). Les *Aspergillus* et les pénicilliums, très communs dans les sols, sont très résistants à la sécheresse : leurs spores sont capables de germer à des potentiels hydriques de -30 MPa.

Selon **Davet (1996)** les bactéries sont en moyenne plus sensibles que les champignons. Leur activité est faible aux alentours du point de flétrissement (- 1,5 MPa), s'arrête vers - 6 à -8 MPa, mais il existe de fortes variations selon les groupements taxonomiques. Selon notre étude il est remarqué que les champignons sont les plus sensibles et affectés par la diminution de l'eau avec une croissance et variation hétérogène. Par ailleurs une corrélation négative du nombre d'actinomycète et celui des champignons est à signaler (**ANNEXE 02**).

Le nombre des champignons est corrélé avec la variation de pH du sol, qui varie du neutre à l'alcalin, et prospèrent dans les milieux les plus acide. L'alcalinité a un effet négatif sur les champignons. On peut néanmoins considérer que le pH a une influence sur la

composition microbienne du sol et sur certains aspects de l'activité biologique cet aspect se relève de l'écologie microbienne (Davet, 1997). Il joue aussi un rôle dans les phénomènes d'adhésion aux particules d'argile (effet sur la variation des charges électriques superficielles les parois microbiennes, absorption des minéraux et attraction direct entre bactéries ou conidies et particules argileuses). Les champignons sont généralement prépondérants dans les sols acides tandis que les bactéries prédominent dans les sols neutres ou légèrement alcalins.

La modification du pH entraîne certainement de multiples conséquences (synthèse de métabolite n'ayant lieu que dans des limites de pH très étroites, la sporulation, etc). Les actinomycètes, qui ont un rôle antagoniste important vis-à-vis des champignons, sont particulièrement sensibles à l'acidité (Davet, 1997).

Il est remarqué que la variation des valeurs de pH oscille du neutre de 7,01 à l'alcalin pH 7,8. En outre ; Par leur action sur les composés minéraux ou organiques, les microorganismes peuvent modifier le pH du sol de façon ponctuelle ou au contraire d'une manière telle que les conséquences peuvent en être importantes pour l'ensemble de l'écosystème. La nitrification, qui est définie par l'oxydation biologique des sels ammoniacaux aboutit à la formation de nitrates. La réduction consécutive du pH n'est que passagère car ces nitrates sont eux même très rapidement absorbés par les plantes, réduits par la microflore dénitrifiante entraînés par lessivage. La synthèse d'acide organique : La grande variété d'acides organiques apparaît au cours de la minéralisation de la matière organique. Certains champignons ont un pouvoir acidifiant très élevé (Davet, 1997). L'alcalinisation du milieu : l'hydrolyse des protéines et de composés organiques azotés en général (l'urée par exemple) conduit à la formation d'ammoniac, qui élève le pH ambiant.

En effet, La culture installée soumise aux conditions naturelles a connu une pluviométrie légère, engendrant une augmentation du nombre de quelques microorganismes. La réhumectation d'un sol sec entraîne une rapide reprise de l'activité microbienne .qui, devient supérieure à celle d'un échantillon, conservé, constamment humide (Gobat, 2010).

Il est observé qu'il existe une relation non définie entre le nombre des bactéries ammonifiantes, nitrifiantes et dénitrifiantes ; qui peut s'expliquer relativement par le travail des ces derniers dans la transformation de la matière organique. Le cas des nitrifiantes qui transforme l'ammoniac transformé par les ammonifiantes à partir des composés azotés

trouvés dans les organismes morts en nitrate ; le nitrate est utilisé par les dénitrifiantes pour le transformer en azote gazeux. La présence des nitrifiants est toujours inverse à celle des dénitrifiants (**Raven, 2009**). Les relations d'antagonisme, de compétitions ou d'entraide mutuelle qui s'établissent entre populations microbiennes et qui conditionnent leur équilibre dépendent étroitement de la température (**Davet, 1996**). Sans oublier l'apport d'engrais azoté perturbe ou favorise la croissance d'une bactérie ou une autre (**Gobat, 2010**).

D' autre part le stress hydrique a un effet significatif sur la productivité de la culture par une chute de rendement confirmée par la variation des paramètres de rendement entre une culture irriguée et non irriguée, il s'avère qu'il existe une relation étroite entre l'évolution des stades végétatifs de la culture de blé dur é. (levé, tallage, montaison, épiaison, floraison et remplissage) et la population microbienne.

Durant le stade tallage il est remarqué un nombre élevé de bactéries aérobies, azotobacters, actinomycètes, par rapport aux autres stades végétatifs : montaison/épiaison puis le stade remplissage ou il est observé le taux le moins dense sous le stade levée. Ces résultats sont conformes à ceux élaborés par **Davet (1996)** qui a présenté une étude similaire sur la variation de la densité des microorganismes du sol dans l'horizon rhizosphérique sous une culture céréalière. Le stade tallage est reconnu par l'activité photosynthétique intense.

Ce qui traduit la corrélation entre l'augmentation du taux de bactéries et le stade tallage. Durant les autres stades marqués par une diminution de l'activité physiologique on remarque une diminution du taux de germes par contre, Il est apparent qu'au stade tallage chacun des germes microbiens atteint son maximum. ; Ce qui confirme les résultats obtenus dans des travaux antérieurs (**Oulbachir, 2010**).

Les cellules bactériennes ont besoin de matériaux de base pour construire leurs molécules organiques : le carbone, l'azote, phosphore, soufre, et divers autres éléments minéraux ; éventuellement les facteurs de croissance. Certaines sont capables d'utiliser le carbone sous sa forme minérale : le dioxyde de carbone atmosphérique ou dissous dans l'eau est l'élément de départ de toutes leurs synthèses organiques. On les qualifie d'autotrophes. Le grand nombre a besoin de composés organiques déjà synthétisés par d'autres organismes. Ce sont des hétérotrophes (**Davet, 1996**).

Dans un sol, la rhizosphère surtout ; il existe un grand nombre d'interactions complexes entre les microorganismes-la plante, et les microorganismes entre eux. Ces êtres vivants sont en contact direct avec les propriétés pédoclimatiques. Certaines espèces de bactéries sont attirées par des composés sécrétés par un groupe particulier de végétaux. Ce comportement de chimiotaxie explique leur spécificité pour la rhizosphère de ces plantes (**Gobat, 2010**). La chimiotaxie : C'est une propriété des cellules mobiles d'orienter leurs déplacement en fonction d'un gradient de concentration chimique.

La présence de la culture de blé dans le sol à un effet stimulateur pour la biomasse microbienne du fait que l'exsudation où la production racinaire fournit des composés facilement utilisables qui sont à l'origine de la stimulation de la densité microbienne qui sont, selon **Lynch (1982)**, constitués par un matériel labile facilement biodégradable cette stimulation est particulièrement exprimée au stade tallage. Il est apparu que la présence de racines vivantes sous culture de blé apportant l'exsudation racinaire et la rhizodéposition sont à l'origine de la stimulation microbienne et son activité qui se manifeste surtout par une augmentation de la biodégradation et la minéralisation.

En 1970 ; **Dommergues et mangelot** suggèrent un effet de la plante cultivée sur la biomasse microbienne, l'hypothèse avancée est la suivante : Les pratiques culturales, telles que labour ou fumure, améliorent la croissance végétale, entraînant une rhizodéposition accrue, source de carbone facilement métabolisable par les microorganismes rhizosphériques. En plus Les pratiques culturales qui exercent un effet indirect sur la biomasse (**Oulbachir, 2010**).

Le stress hydrique appliqué n'a aucun effet significatif sur les paramètres physico-chimique du sol, mais, il existe aussi une corrélation entre l'ensemble de paramètre étudiés (**ANNEXE 02**) comme la corrélation entre l'humidité est le calcaire total, le calcaire et le pH, la matière organique et les microorganisme du sol , la matière organique et les stades végétatifs. Cela est illustré par l'ensemble des interactions responsables du maintien des écosystèmes (**Baize, 2018**). Ces corrélations expliquent l'ensemble de variation de la croissance des êtres vivants du sol, car il existe des interactions entre l'ensemble des composants d'un sol abiotiques et biotiques, par exemple : le taux de matière organique qui diminue progressivement avec la croissance de la culture et les stades végétatifs, dont il est remarqué à la fin de la culture des taux très bas en matière organique.

Ces taux sont plus faibles dans un sol cultivé par rapport à un sol nu, et plus faibles pour la culture irriguée que la culture non irriguée. Ces résultats sont acceptables vu que la matière organique représente la source nutritionnelle des plantes ; plus est le taux de croissance de ces plantes en condition favorable (présence d'eau) plus la consommation de cette matière est élevée. L'étude statistique, par la matrice de corrélation présente une corrélation positive entre la matière organique et la plus part des bactéries du sol. La matière organique est la source de nutrition pour les microorganismes du sol quelque soit son origine (matière organique du sol ou apports) (**Raven, 2009**).

La matière organique fraîche est rapidement colonisée, une partie est assimilée par les microorganismes, une autre partie est minéralisée tandis qu'une fraction, plus récalcitrante, participe à la formation des acides humiques. La proportion d'éléments minéraux libérés et immédiatement disponibles pour la végétation dépend de la nature du substrat. Si les teneurs en azote, en soufre, en phosphore, des résidus sont faibles par rapport à leur composition en carbone, tous ces éléments seront immobilisés dans la biomasse microbienne.

Un apport de sels minéraux pourra dans ce cas être nécessaire pour éviter une concurrence entre les plantes et les microorganismes. Cependant, cette immobilisation est seulement temporaire et, grâce à elle, les éléments minéraux lexiviables sont conservés dans les horizons fertiles du sol. Le renouvellement de la biomasse assure une minéralisation progressive de ces éléments qui redeviennent peu à peu disponible pour la végétation (**Gobat, 2010**).

V.3. Analyses technologiques des grains et des semoules

V.3.1. Taux d'impuretés

Le stress hydrique appliqué ne montre aucun effet significatif sur le taux des impuretés des deux variétés étudiées ($p = 0,07$) (**ANNEXE 11**) ; mais la culture irriguée pour les deux variétés présente des valeurs élevées en taux d'impuretés, par rapport à la culture soumise pluviométrie (non irriguée). Il est remarqué que la variété Vitron présente un taux d'impuretés important comparant aux taux d'impuretés de la deuxième variété Bousselem (**figure 25**).

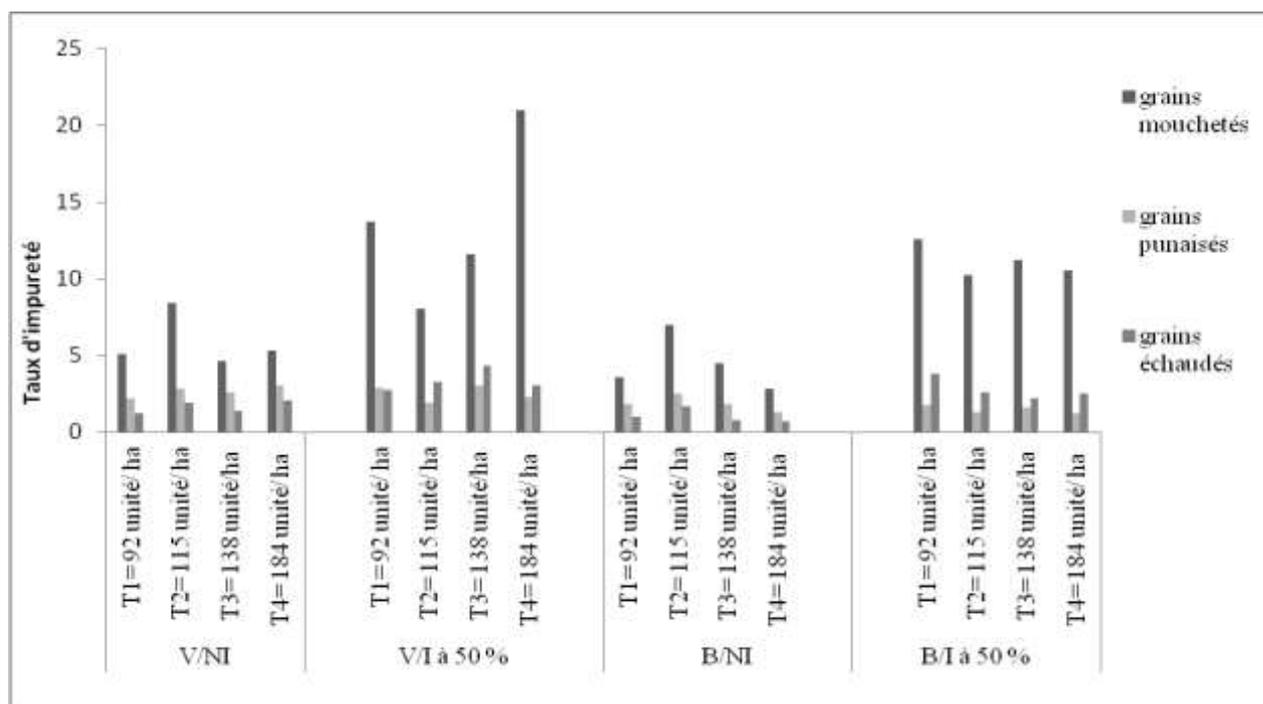


Figure 25: Taux d'impureté de blé dur des deux variétés Vitron et Bousselem (cultures irriguée et non irriguée).

En comparant la culture de blé dur des deux variétés étudiées irriguée et non irriguée on a remarqué que le taux des impuretés présenté par : le taux de moucheture, taux des grains échaudés et taux des grains est élevé avec la présence de l'irrigation, dont la culture non irriguée (sous stress hydrique appliqué) présente des taux faibles, ces taux varient d'une variété à une autre dont la variété Vitron présente des taux d'impureté (grains mouchetés, échaudés et punaisés) élevé que la deuxième variété Bousselem comme le montre la **figure 25**.

Selon **Moity maizi et al.(2001)**, la présence de moucheture (piqûres noires sur les pâtes) est liée à l'apparition de mycélium dans le sillon des grains de certains épis, qui une fois broyés se diffusent en particules sombres dans la semoule. L'origine précise de ce phénomène est mal connue mais la variabilité de ses manifestations a pu être rapprochée de choix variétal (certaines variétés « résistent » mieux) en interaction avec les conditions d'humidité et de température dans deux semaines précédant la récolte. Il est remarqué qu'un fin cycle chaud et sec s'accompagne d'un faible taux de moucheture. Selon **Macheix (1996)**, la moucheture de grain correspond à des tâches brunes sur le péricarpe, elle est causée par des champignons. Le nombre des champignons peut être augmenté par la présence de l'humidité et de température.

Le taux de moucheture se traduit par la présence des points noirs dans les semoules ; pénalisant ainsi leur qualité commerciale. La moucheture entraîne la diminution de la qualité commerciale de blé (**King et al., 1981**) et engendre la présence de piqûres brunes dans le produit fini.

D'après **Bourgeois et al. (2009)**, l'échaudage est un accident climatique de végétation auxquelles sont exposées les céréales et la vigne. Selon **Soltner (2005)**, l'augmentation de poids du grain de blé durant la période de remplissage « période critique » provient uniquement de l'augmentation de la matière sèche, car la teneur en eau à ce stade reste stable. Cette matière sèche vient surtout de la migration des réserves des feuilles et des tiges et cela nécessite une circulation d'eau dans la plante, si faible soit-elle. Du coup, des températures trop fortes au cours de ce stade physiologique dessèche la plante, rendant impossible cette migration vers le grain. Celui-ci sera échaudé et apparaîtra ridé et de faible poids spécifique.

Selon **Scotti et Mont (1997)** le grain échaudé est rabougri : le sillon est plus ou moins profond, à bords anguleux et les faces latérales plus ou moins creusées.. Le taux d'échaudage est lié à la variété étudiée (certaines variétés « résistent » mieux).

La variété Bousselem présente des taux faibles des impuretés, ces remarques peuvent être expliquées par sa résistance aux maladies de blé (**Moity maizi et al., 2001**). La variété Bousselem présente des taux faibles de moucheture et en grains punaisés par rapport à la variété Vitron ces taux augmentent pour la culture irriguée ces résultats sont logique car l'humidité et la température au stade de remplissage favorisent l'activité des insectes ravageurs et des champignons qui sont responsables de l'ensemble des maladies de blé dur (**Brink et Belay, 2006**).

Une forte densité d'épis combinée à des conditions de fin cycle parfois humide, peuvent favoriser le développement des maladies et de la moucheture. Il est marqué par des déficits hydriques climatiques forts dès la fin montaison, les rendements peuvent être très irréguliers malgré des semis précoces. En fin de cycle, les conditions propices à la moucheture, sont rarement réunies, sauf en cas de mauvaise maîtrise de l'irrigation (**Moity maizi et al., 2001**).

Le stress hydrique réduit les dégâts provoqués par les champignons et les insectes ravageurs de blé dur. Les impuretés n'ont pas seulement une influence négative sur le stockage des produits ; elles concourent à définir la qualité même de ces produits.

L'étude statistique par une matrice de corrélation entre les paramètres de la qualité technologique (**ANNEXE 01**) étudiés montre qu'il existe une corrélation négative entre les grains punaisés et le taux de gluten humide qui est en corrélation positif avec le gluten sec. Ces résultats sont confirmés par **Feillet (2000)** qui définit les grains punaisés sont des blés dans lesquels les punaises ont injecté des protéases et dont le gluten est, de ce fait, très altéré. Cela est dû à la punaise des céréales (*Eurygaster intergriceps Puton*) ; la punaise des céréales et la punaise du blé sont très répandues dans les régions où l'on cultive les céréales pluviales au nord d'Afrique et au sud-ouest et au centre de l'Asie).

V.3.2. Taux d'humidité

L'analyse statistique montre une différence hautement significative entre la culture irriguée et la culture soumise aux conditions de stress hydrique sur l'humidité du produit de mouture de blé dur (semoule) de la variété Vitron ($p=0,002$) (**ANNEXE 12**), l'humidité pour la culture de blé dur non irriguée est de (T1=11,550 % ; T2=11,423 % ; T3=11,689% ; T4=11,414%). Le taux de l'humidité de la culture irriguée est de (T1=11,214 % ; T2=11,078 % ; T3=11,124% ; T4=11,204%).

Concernant la deuxième variété Bousselem il est remarqué que le stress hydrique n'a aucun effet sur l'humidité du produit de mouture de blé dur mais, il y a des variations de taux d'humidité entre la culture irriguée et la culture non irriguée dont l'humidité de culture non irriguée est de (T1=11,876 % ; T2=11,958 % ; T3=12,384% ; T4=12,582%) pour la culture irriguée l'humidité est de (T1=11,984% ; T2=11,931 % ; T3=11,959% ; T4=11,610%) (**Figure 26**).

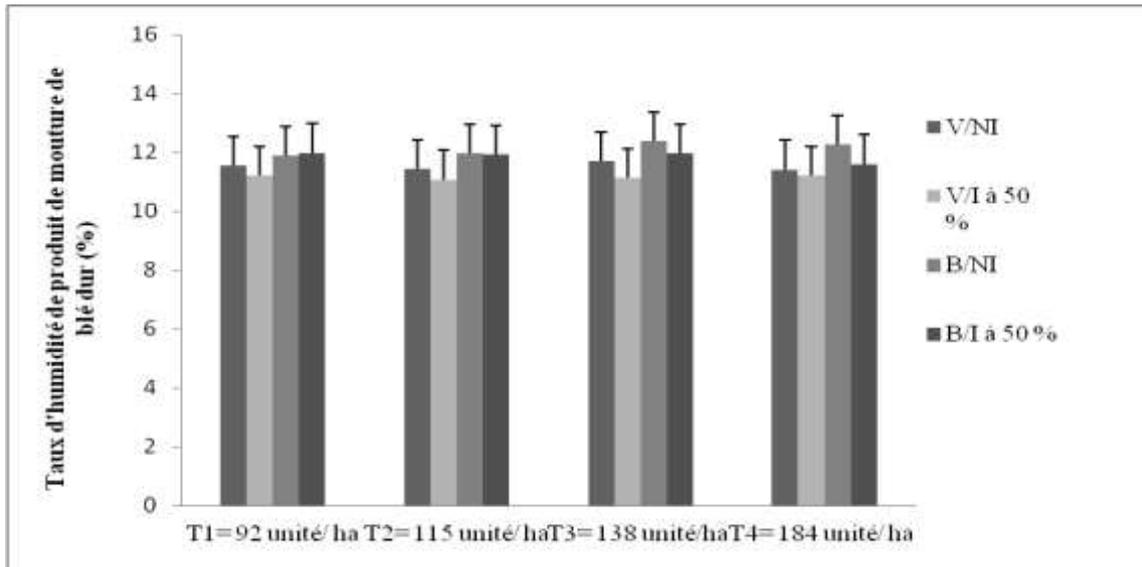


Figure 26 : Effet du stress hydrique et de l'apport azoté sur le taux d'humidité de produit de mouture de blé dur des deux variétés Vitron et Bousselem V2.

Il est remarqué que le taux d'humidité de produit final est élevé pour la culture non irriguée plus que la culture irriguée ; ce taux aussi varie d'une variété à l'autre.

D'après **Casals (1996)**, la sécheresse peut être définie correctement en considérant la disponibilité et les besoins en eau de la plante. Les plantes sont souvent soumises à de graves déficits hydriques dus à une chute brutale de l'humidité ou à une augmentation de la température. La rareté des pluies ou des pluviosités trop espacées peuvent également induire un stress hydrique du fait de la diminution de la quantité d'eau dans le sol. Le maintien de la turgescence cellulaire est un moyen efficace pour résister au stress hydrique. Ce mécanisme se traduit par une augmentation du potentiel osmotique grâce à une accumulation d'osmolytes dans le cytoplasme (**Smirnoff, 1998 ; Cushman et Bohnert, 2000**).

Les modalités d'ajustement osmotiques varient en fonction de la variété et de l'intensité du stress appliqué (**Morgan, 1984 ; Blum, 1988**). La proline est la molécule organique la plus accumulée chez les organismes lors d'un stress (**Nakashima, 1998**). Son accumulation dans l'organisme, liée à l'osmorégulation cytoplasmique, est l'une des stratégies adaptatives fréquemment observées chez les plantes pour limiter les effets du stress hydrique (**Acevedo et al., 1989** cité in **Toumi et al., 2014**). Donc le maintien de la turgescence aide la culture non irriguée (stressée) à réserver l'eau dans les vacuoles cela peut expliquer l'augmentation des taux d'humidité dans les grains soumis au stress hydrique (**Hopkins, 2003**).

La détermination de la teneur en eau des grains est une opération d'une importance particulière dans toutes les phases de systèmes après-récolte. Avant la récolte, par exemple, elle permet d'apprécier l'état de maturité des grains. Après le battage, elle sert à décider des modes et des temps de séchage. Avant la transformation des produits, elle indique si les grains sont en état d'être traité. Lors de la commercialisation, elle permet de connaître la quantité de matière sèche que l'on achète, et d'établir ainsi le juste prix de vente (l'eau n'a pas la même valeur commerciale que les grains). Avant et pendant le stockage, elle aide à décider des conditions d'entreposage et apprécier l'état de conservation des grains (De lucia, 1992).

Dans cette étude le taux d'humidité varie entre 11,07% et 11,55 % pour la variété Vitron et entre 11,61% et 12,58 % pour la variété Bousselem ces valeurs sont acceptables par les organismes stockeurs car l'altération des stocks augmente avec l'augmentation de ce taux dans les grains stockés (figure 26).

V.3.3. Effet de stress sur les paramètres de rendement

L'effet du stress hydrique sur la culture de blé dur des deux variétés étudiées Vitron et Bousselem est montré par la chute de rendement présenté par le nombre d'épis/m², le nombre de grains par épis, le rendement en qx/ha et le poids de mille grains dont les résultats sont enregistrés durant l'année de l'étude 2016/2017 Selon L'ITGC (figure 27,28 et 29).

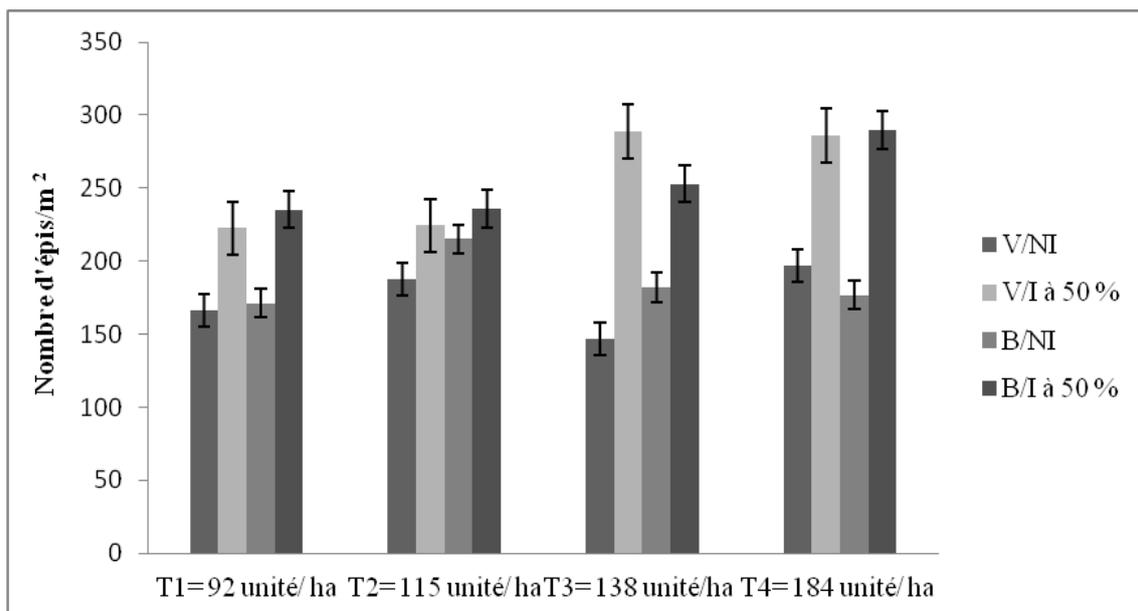


Figure 27 : Effet du stress hydrique sur le nombre d'épis/m² sur les deux variétés de blé dur étudiées Vitron et Bousselem.

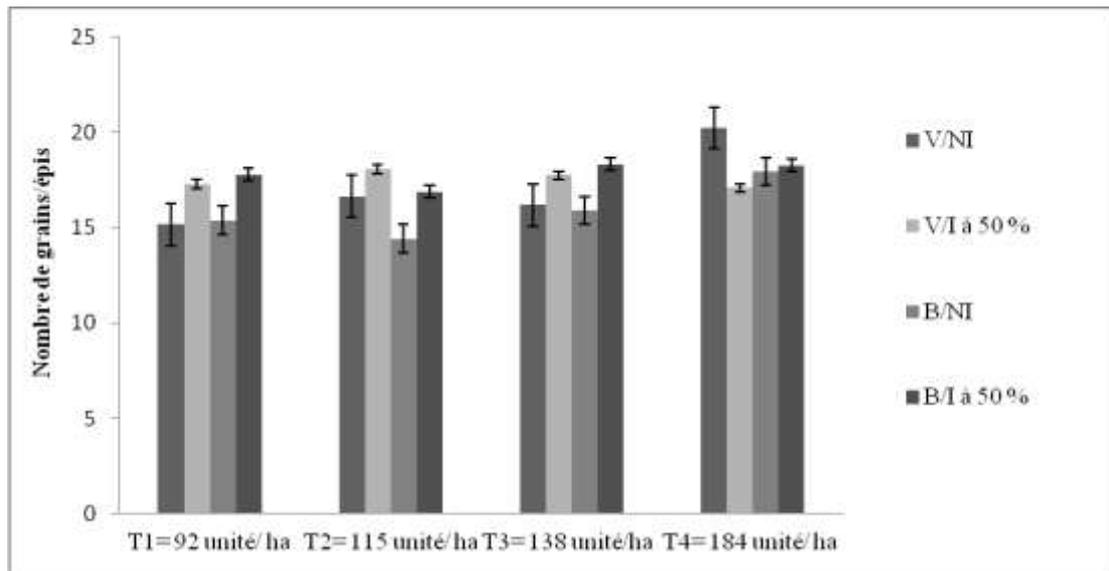


Figure 28 : Effet du stress hydrique sur le nombre de grains /épis sur les deux variétés de blé dur étudiées Vitron et Bousselem.

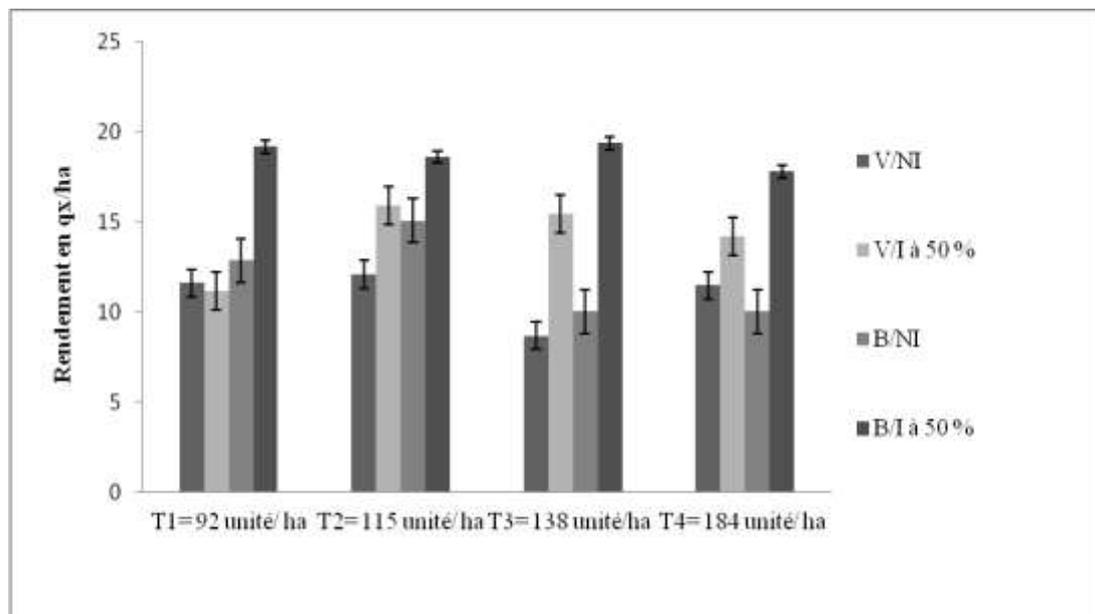


Figure 29 : Effet du stress hydrique sur le rendement (qx/ha) sur les deux variétés de blé dur étudiées Vitron et Bousselem.

V.3.4. Poids de mille grains

L'analyse statistique montre une différence hautement significative du stress hydrique sur le poids de mille grains (PMG) de la variété Vitron ($p=0,0265$) (ANNEXE 14), il est marqué que ce poids (PMG) pour la culture irriguée est de (T1=49,848 g ; T2=51,043 g ; T3=51,682 g ; T4=54,514 g), la culture non irriguée (pluviale) le PMG est de (T1=41,553 g ; T2=44,833 g ; T3=46,650 g ; T4=50,133 g).

La différence sur la variété Bousselem est très hautement significative ($p=0,0002$) (ANNEXE 15), les valeurs de PMG pour la culture irriguée sont (T1=48,071 g ; T2=50,020 g ; T3=50,458 g ; T4=51,311 g). La culture pluviale présente des valeurs de PMG de (T1=42,667 g ; T2=43,594 g ; T3=43,990 g ; T4=44,475 g) (figure 30).

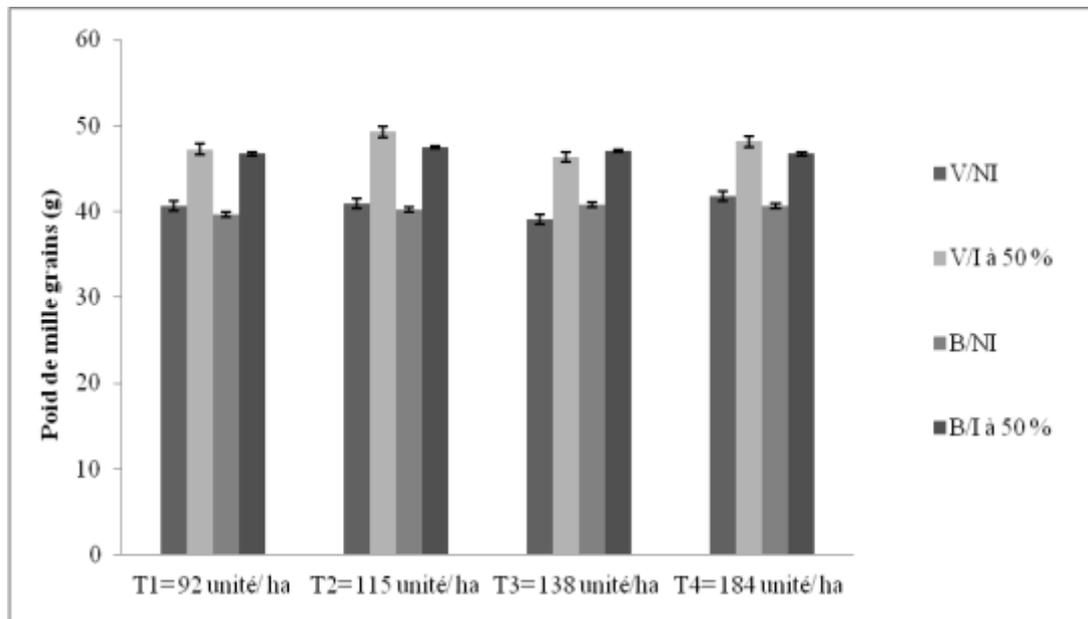


Figure 30 : Effet du stress hydrique et l'apport azoté sur le poids de mille grains des deux variétés Vitron et Bousselem.

V.3.5. Poids spécifique

Le stress hydrique présente une différence très hautement significative sur le poids spécifique (PS) de blé dur de la variété Vitron ($p=0,001$) (ANNEXE 16), le poids pour la culture de blé dur non irriguée est de (T1=79,066 kg /hl ; T2=79,133 kg /hl ; T3=79,866 kg /hl ; T4=80,366 kg /hl). La culture irriguée le poids spécifique est de (T1=81,333 kg /hl ; T2=81,3333 kg /hl ; T3= 81,7 kg /hl ; T4=81,7333 kg /hl).

Concernant la deuxième variété Bousselem ;il est remarqué qu'il n'y a aucun effet de stress hydrique sur le poids spécifique ($p =0,164$) (ANNEXE 17) par rapport à la variété V1, les valeurs pour la culture non irriguée est de (T1=79,303 kg /hl ; T2=79,32 kg /hl ; T3=79,413 kg /hl ; T4=80,366 kg /hl) pour la culture irriguée le poids spécifique est de (T1=79,606 kg /hl ; T2=79,623 kg /hl ; T3=80,293 kg /hl ; T4=80,823 kg /hl) (figure 31).

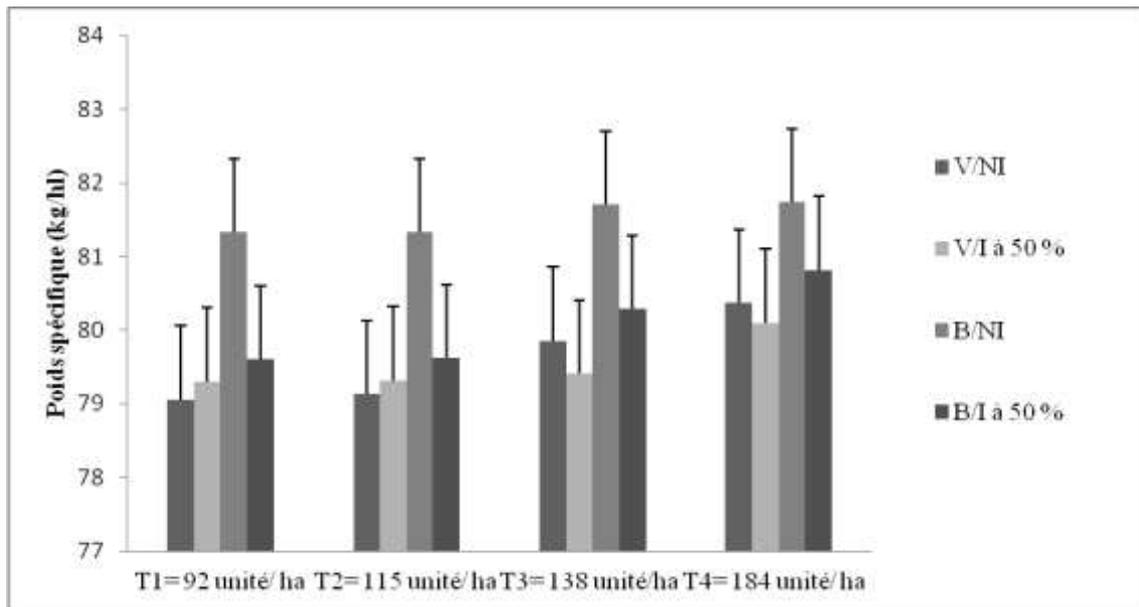


Figure 31 : Effet du stress hydrique et l'apport azoté sur le poids spécifique des deux variétés Vitron et Bousselem.

Du point de vue de la sensibilité au stress hydrique deux types d'espèces cultivées doivent être distingués : celle qui sont cultivées pour le grain (les céréales, par exemple), et celle dont on récolte la biomasse aérienne (les plantes fourragères, par exemple). Les premières sont fortement sensibles au moment de la fécondation et de la mise en place des grains, les éventuels effets de la sécheresse survenus pendant cette période sont irréversibles.

Le rendement en grains est déterminé par trois composantes principales :

1. Le nombre d'épis au mètre carré (NE/m²)
2. La fertilité d'un épi (NG/E)
3. Le poids de mille grains (PMG)

Les deux premières aboutissent à un nombre de grains au m² (NG/m²) qui définit la fertilité globale du peuplement. Durant la phase levée-floraison, sont mise en place les capteurs d'énergie lumineuse et les organes de stockage (NG/m²). La période floraison-maturité correspond à l'accumulation des hydrates de carbone et d'azote dans le grain (**Carnavalet, 2015**).

Le stress hydrique appliqué montre un effet significatif sur le poids spécifique (PS) et le poids de mille grains (PMG), la diminution des taux est remarquable entre la culture irriguée et stressée ; les valeurs varient d'une variété à une autre. Les conséquences du stress hydrique sont essentiellement une diminution de la croissance ainsi qu'une réduction de

l'activité photosynthétique, affectant ainsi le rendement et provoquant la mort de la plante si le stress perdure (**May et Milthorpe, 1962**). Le déficit hydrique induit également un stress oxydatif avec la formation de radicaux libres. Par leur nature instable, ces formes actives d'oxygène sont très nocives pour les constituants cellulaires en particulier pour les lipides membranaires (**Thompson et al., 1987 ; Weckx et Clijsters 1996** cité in **Toumi et al., 2014**).

Le poids de mille grains c'est une des composantes du rendement agronomique et rendement semoulier. Cette mesure est surtout effectuée lors de la sélection du blé dur, c'est un critère essentiellement variétal qui dépend beaucoup des conditions de cultures qui l'influencent de façon très significative (**M.S.D.A., 2004**).

Le poids spécifique (PS), est la masse d'un hectolitre de grains exprimée en kilogrammes. Elle est considérée comme un indicateur de la valeur semoulière en relation avec le rapport enveloppe sur amande. Plus le poids à l'hectolitre est élevé, plus le rapport enveloppes sur amande est faible et le rendement semoulier important. La valeur minimale pour la mise à l'intervention est de 78 kg/hl. Le poids spécifique présente un intérêt commercial; la masse volumique est toujours prise en compte dans les contrats commerciaux et dans les transactions.

L'installation d'une sécheresse chez la plante peut se traduire par une baisse du contenu en eau au niveau des tissus, une réduction de la vitesse de croissance, une perturbation au niveau hormonal et une modification du métabolisme glucidique, protéique et lipidique. Le manque d'eau affecte principalement la régulation stomatique par la fermeture des stomates, qui ralentit le phénomène de la photosynthèse et de la transpiration. Ce stress limite par conséquent la taille de la plante, le nombre de feuilles et la surface foliaire (**Hopkins, 2003**). De même, il réduit le développement des organes reproducteurs et la croissance des racines (**Neffar, 2013**). Il affecte donc non seulement la croissance mais aussi la reproduction de la plante (**Bouakaz et Hamadouche, 2015**).

Dans cette étude il est remarqué que la variation des doses de l'apport azoté à un effet sur les paramètres de rendement comme le poids de mille grains et même le poids spécifique. L'azote présente dans la solution du sol est absorbé au niveau de la surface active du système racinaire des plantes sous forme d'ions nitriques NO_3^- ou ammoniacale NH_4^+ , c'est un

élément constitue des protéines, nécessaire dans la multiplication cellulaire et le développement des organes végétatifs.

Selon **Masle (1982)**, lorsque l'azote est insuffisant, il se produit une interruption du processus de tallage. Le nombre définitif de talle par pied est fixée, les jeunes talles sont alors affectés, leur croissance est s'arrête et commence le début de régression. Ce qui traduit par chute dans les paramètres de rendement tel que le nombre d'épis/m², le nombre de grains par épis le rendement en qx/ha et le poids de mille grains. L'azote a un effet majeur sur la monté des épis jusqu'à la montaison. L'élongation des entre nœuds et la croissance des feuilles exigent des fortes quantités en azote (**Meynard, 1987**). **Belaid (1987)**, confirme que dans le cas d'une carence en azote, le tallage est moins important, la fructification se fait de mauvaise conditions et beaucoup de fleurs ne seront fécondées qu'imparfaitement ; par conséquence il y a réduction de nombre de grains par épi.

Ce qui résulte la diminution du poids de mille grains et le rendement en qx/ha.

V.3.6. Taux de cendres

Le stress hydrique appliqué montre un impact significatif sur le taux de cendres sur la variété Bousselem ($p = 0,03$) (**ANNEXE 18**), l'impact est non significatif sur la variété Vitron. Les valeurs variées entre 0,7 % et 0,85 % (**figure 32**).

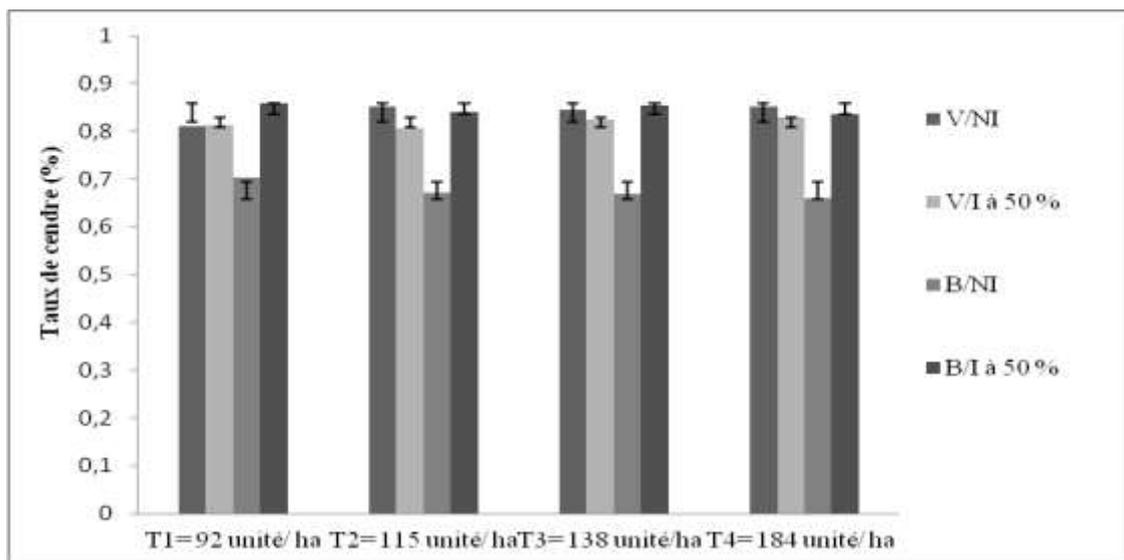


Figure 32 : Effet du stress hydrique et l'apport azoté sur le taux de cendre des deux variétés Vitron et Bousselem.

Selon **Boudreau (1992)**, le taux de sels minéraux de la farine et de la semoule de blé est en fonction du degré de minéralisation du grain, ce qui explique sa diminution en absence d'irrigation mais surtout il est en fonction des paramètres du conditionnement et de diagramme de mouture (taux d'extraction), mis en œuvre par le meunier ou le semoulier. Taux de cendres de la farine panifiable, il situe entre 0,4 % et 0,6 %. Ce taux est supérieur dans la semoule de blé dur, il est de l'ordre de 0,7 % et 0,8 % et représente 50 %, des substances minérales du grain.

V.3.7. Taux de mitadinage

Le stress hydrique présente une différence très hautement significative sur le taux de mitadin de blé dur de la variété Vitron ($p=0,001$) (**ANNEXE 19**), le taux de mitadin pour la culture pluviale est de (T1=20,5% ; T2=19,333 % ; T3=18,833% ; T4=14,833). La culture irriguée présente des valeurs moins en mitadin de (T1=11 % ; T2=9 % ; T3=5,166 % ; T4=4,666%). La différence est significative sur le taux de mitadin de blé dur de la variété Bousselem ($p=0,026$) (**ANNEXE 20**) dont le taux pour la culture pluviale est de (T1= 50,5 % ; T2=41,666 % ; T3=34,833 % ; T4=30,8 %), pour la culture irriguée le taux est de (T1= 30,666 % ; T2=27,333 % ; T3=14,5 % ; T4=13,5 %) les résultats sont montrés dans la **figure 33**.

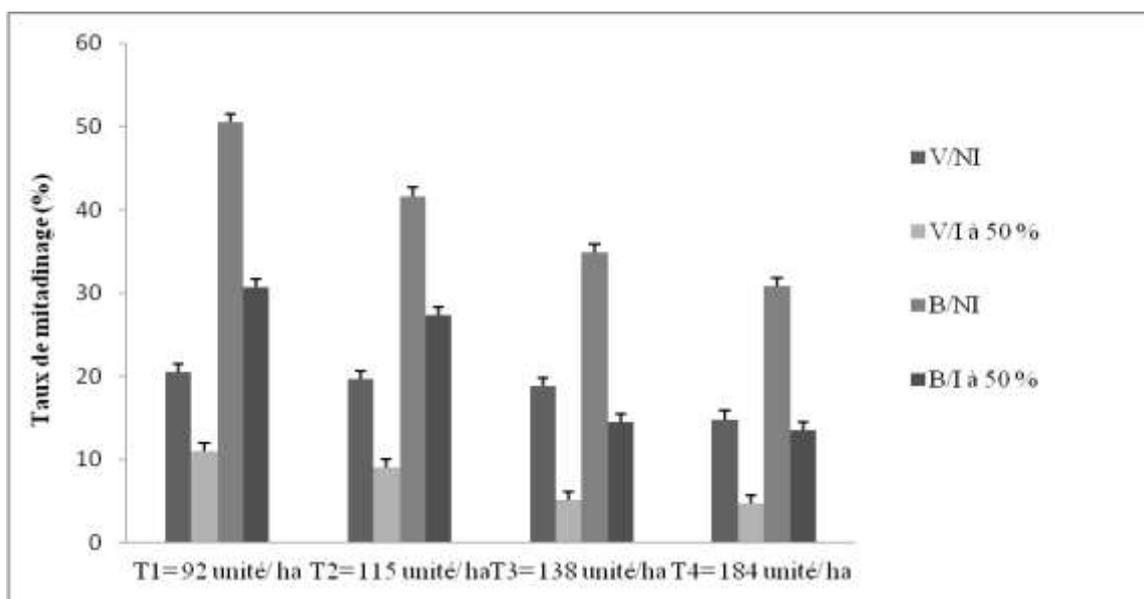


Figure 33 : Effet du stress hydrique et l'apport azoté sur le taux de mitadin des deux variétés Vitron et Bousselem.

Le mitadinage des grains est classiquement relié à la quantité et à la nature des protéines accumulées dans le grain. Or l'équilibre entre les différentes protéines est plutôt sous dépendance de facteurs génétiques (**Abecassis et al., 1990**), la quantité de protéines est plus liée aux conditions de l'alimentation azotée et hydrique de la plante (**Sombero et Monneveux, 1989 ; Moity maizi et al., 2001**). Cela explique le taux de mitadin élevé pour la culture non irriguée par rapport à la culture irriguée, car l'alimentation hydrique facilite l'alimentation azotée et la migration des éléments minérales vers les grains pendant le stage de remplissage.

Le mitadinage est directement lié à la quantité des protéines contenue dans le grain, et dépend des conditions de culture, il déprécie la qualité des semoules et des produits dérivés. Classement des blés en fonction de leur degré de mitadinage (**Moity maizi et al., 2001**). Cela est lié aux conditions de culture plus particulièrement le manque de fumure azotée. Le blé mitadiné a tendance à se désagréger en farine au lieu d'éclater en petits morceaux pour donner de la semoule (**Scotti et Mont, 1997**).

Par conséquence la seule solution qui s'offre au meunier pour obtenir de meilleurs rendements semouliers ainsi que de bonnes pâtes alimentaire, est de couper le blé local fortement mitadiné avec un blé qui l'est faiblement. La déficience en azote ainsi qu'en soufre empêcherait un déroulement normale de la synthèse protéique chez la plante, c'est à dire au cours de remplissage du grain, si la matière protéique se trouve en quantité suffisante, l'albumen prendra un aspect vitreux ; en revanche la carence protéique conduit à la formation de nombreuse poches d'airs au sein de l'albumen avec une apparence opaque, qui donnera un blé d'une masse faible et un poids spécifique restreint ce qui exerce une influence défavorable sur le rendement semoulier.

V.3.8. Taux de gluten

L'analyse statistique montre une différence hautement significative du stress hydrique sur le taux de gluten humide des deux variétés, la variété Vitron ($p=0,0005$) (**ANNEXE 21**) dont les taux pour la culture pluviale est de (T1= 21,705 % ; T2=24,461 % ; T3=24,461 % ; T4=26,740 %). La culture irriguée présente des taux de gluten humide de (T1= 35,230 % ; T2= 38,936 % ; T3=43,757 % ; T4=44,612 %). Pour la variété Bousselem ($p=0,001$) (**ANNEXE 22**) dont les valeurs de gluten humide pour la culture pluviale est de

(T1= 35,091 % ; T2=37,109 % ; T3=45,704 % ; T4=45,935 %) ; les valeurs pour la culture irriguée sont de (T1= 62,845 % ; T2=64,071 % ; T3=64,341 % ; T4=64,936 %).

La différence est très hautement significative sur le taux de gluten sec des deux variétés, la variété Vitron (p=0,0001) (ANNEXE 23) dont les valeurs de gluten sec pour la culture pluviale est de (T1= 6,707 % ; T2=7,7913 % ; T3=8,010% ; T4=8,423%). La culture irriguée présente des valeurs gluten sec de (T1= 10,875 % ; T2=12,132 % ; T3=13,988 % ; T4=14,504%). Pour la variété Bousselem (p=0,0007) (ANNEXE 24) dont les valeurs de gluten sec pour la culture pluviale est de (T1= 10,769 % ; T2=11,123 % ; T3=14,599 % ; T4=15,473 %) ; les valeurs pour la culture irriguée sont de (T1= 20,459 % ; T2=20,449 % ; T3=20,578 % ; T4=20,916 %) (Figure 34).

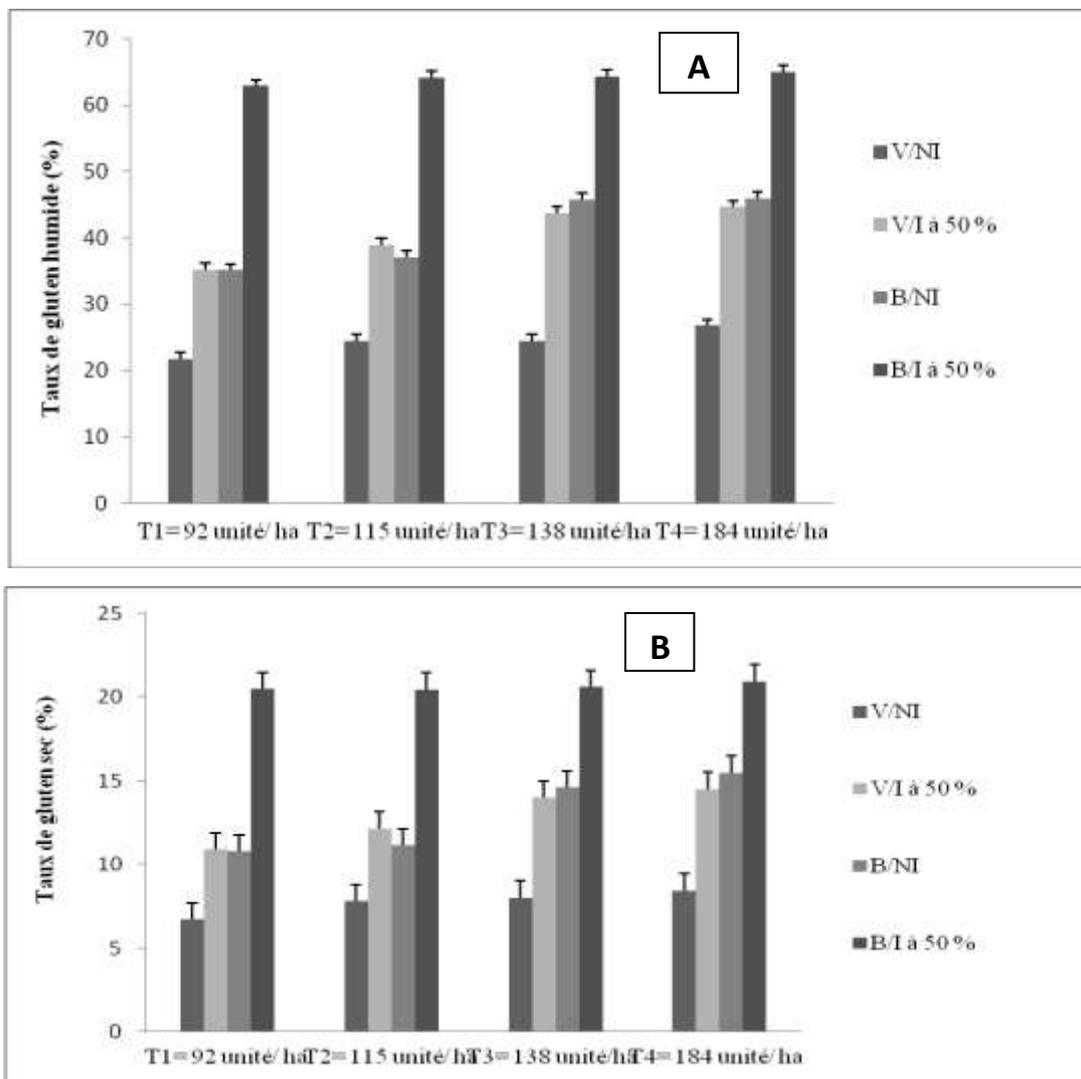


Figure 34 : Effet du stress hydrique et l'apport azoté sur le taux de gluten humide (A) le taux de gluten sec (B) des deux variétés de blé dur Vitron et Bousselem.

V.3.9. Taux de protéines

Le stress hydrique n'a aucun effet ($p= 0,225$) (ANNEXE 25) sur le taux de protéine la variété Vitron, dont ce taux pour la culture non irriguée est de (T1=18,2618 % ; T2=20,3809 % ; T3= 21,3094 % ; T4=30,0475 %), ces taux diminués pour la culture irriguée, les valeurs sont de (T1=15,5714 % ; T2=17,4761 % ; T3= 19,4052 % ; T4=21,7856 %).

L'analyse statistique montre une différence très hautement significative sur le taux de protéines de la variété Bousselem ($p=0,001$) (ANNEXE 26), le taux de protéines pour la culture non irriguée est de (T1=14,8095 % ; T2=15,4769 % ; T3= 15,738 % ; T4=17,261 %), ces taux diminués pour la culture irriguée est les valeurs sont (T1=10,3333 % ; T2=10,499 % ; T3= 11,9047 % ; T4=13,0713 %) (Figure 35).

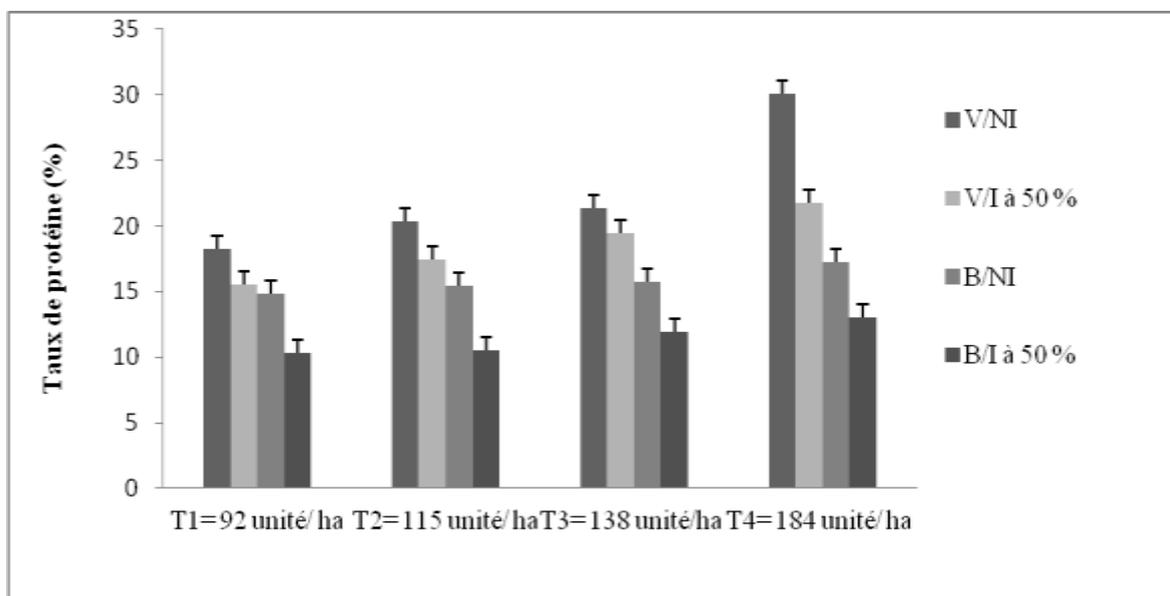


Figure 35 : Effet du stress hydrique et l'apport azoté sur le taux de protéines des deux variétés Vitron et Bousselem.

V.3.10. Taux d'amidon

Le stress hydrique appliqué a un effet hautement significatif sur le taux d'amidon de la variété Bousselem ($p=0,001$) (ANNEXE 27), le taux d'amidon pour la culture non irriguée est de (T1=36,08 % ; T2=43,05 % ; T3= 30,47 % ; T4=37,17%), ces taux diminués pour la culture irriguée est les valeurs sont (T1=21,33 % ; T2=22,26% ; T3= 27,25 % ; T4=26,01%).

Le stress appliqué a un effet hautement significatif sur le taux d'amidon de la variété Vitron ($p=0,006$) (ANNEXE 28), dont le taux d'amidon pour la culture non irriguée est de

(T1=51,74 % ; T2=44,5 % ; T3= 45,01 % ; T4=37,8%), ces taux diminués par l'irrigation, les valeurs sont de (T1=27,25 % ; T2=21,51 % ; T3= 29,92 % ; T4=26,26%) (**Figure 36**).

La variété Vitron V1 présente des taux d'amidon plus élevés que la variété Bousselem.

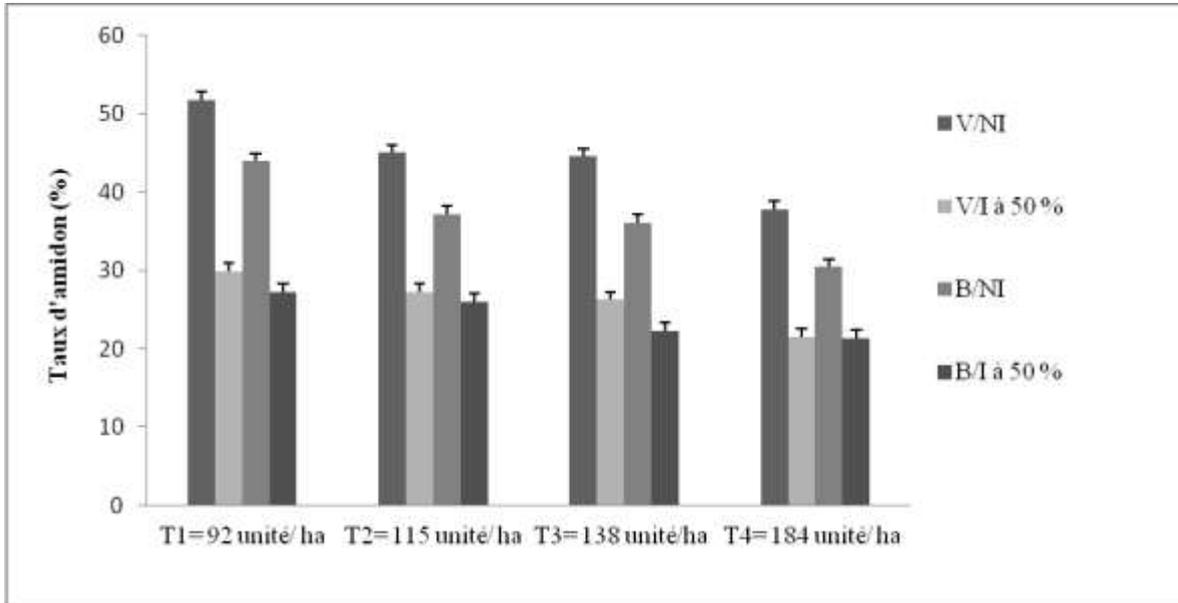


Figure 36 : Effet du stress hydrique et l'apport azoté sur le taux d'amidon des deux variétés Vitron et Bousselem.

Selon **Barnetts et Naylor (1966)**, **Morris et al. (1969)**, pour garder le potentiel de turgescence aussi élevé que possible, après la chute très remarquable de la teneur en eau surtout au niveau des racines, la plus part des variétés de blé dur ont accumulés certains osmotocums à l'intérieur de leurs cellules.

Cette augmentation de la concentration, peut être due aussi bien à l'inhibition de l'oxydation des protéines qu'à la dégradation des protéines en leurs précurseurs. L'explication de l'accumulation de la proline est confuse; certains auteurs dont **Hanson et al. (1977)**, affirment que c'est une conséquence pathologique, d'autres comme **Stewart et Lee (1974)** suggèrent que la proline à de fortes concentrations agisse comme soluté pour l'ajustement osmotique, et sert aussi de réservoir de composés azotés et de carbone pour une utilisation ultérieure dans la croissance.

Une augmentation de la concentration des composants de la cellule en réponse au déficit hydrique. En effet les sucres, même s'ils représentent des osmotocums beaucoup moins

puissants, participent également au maintien de la balance de la force osmotique pour garder la turgescence et le volume cytosolique aussi élevés que possible (**Bouzoubaa et al., 2001**).

Ils permettent également une préservation de l'intégrité membranaire dans les organes desséchés ainsi qu'une protection des protéines (**Darbyshire, 1974**).

En plus du phénomène d'osmorégulation, les variétés de blé dur ont répondu aux conditions de stress hydrique par une hausse dans le niveau de protéines totales. Cette augmentation est due à une activation d'un ensemble de gènes permettant la synthèse des protéines spécifiques associées aux stress telles que les protéines «LEA» (Late embryogenesis abundant proteins) qui assurent une protection de l'ensemble vital des protéines cellulaires (**David et Grongnet, 2001**), et les protéines de choc thermique qui permettent un maintien des structures protéiques et membranaires de la cellule végétale (**Baker et al., 1988**). La quantité de gluten est très liée à la teneur en protéines.

D'une autre part l'installation d'une sécheresse chez la plante peut se traduire par une baisse du contenu en eau au niveau des tissus, une réduction de la vitesse de croissance, une perturbation au niveau hormonal et une modification du métabolisme glucidique, protéique et lipidique. (**Hopkins, 2003**). Cela peut expliquer que les taux d'amidon, de protéine et de gluten humide et sec de la culture soumise aux conditions de stress présente des taux élevés plus que la culture irriguée, les taux aussi dépend de deux facteurs : variété et durée du stress.

En règle générale, plus la teneur en protéines est élevée, meilleure est la qualité du blé dur. Un seuil de 14% est le plus souvent nécessaire à l'obtention d'un taux de vitrosité satisfaisant. L'analyse de taux d'amidon présente deux intérêts principaux : un intérêt nutritionnel vu que l'amidon est une source en glucide importante dans l'alimentation humaine et un intérêt réglementaire pour contrôler la pureté des amidons industriels. Le blé est la seule céréale dont les protéines ont la propriété de constituer dans la pâte un réseau protéique ; le gluten, fraction insoluble des protéines (gliadines et gluténines) dans une solution saline, est le responsable majeur de la qualité rhéologique des pâtes c'est-à-dire l'extensibilité, l'élasticité et la ténacité, qui ont une influence sur le comportement des pâtes au cours de la fabrication et sur la qualité du produit finis (Pain, biscuit, pâte,...). La quantité de gluten est très liée à la teneur en protéines (**Ait slimane ait kaki, 2008**).

La ténacité des pâtes après cuisson est associée à un taux élevé de protéines et à une répartition particulière de différentes natures de protéines (**Auten et Galterio, 1989 ; Moity maizi et al., 2001**).

Le taux de protéine varie aussi dans cette étude par l'apport azoté. Parmi les conditions de culture des blés, la nutrition azotée est largement considérée comme le facteur majeur qui affecte les protéines de réserves. Les paramètres de la qualité sont fortement déterminés par la structure et la quantité des protéines de blé. Plusieurs auteurs, **Timms et al. (1981), Martin et al. (1992)**, ont montré que la source d'azote et les techniques d'application affectent considérablement l'accumulation des protéines de réserve de blé.

Dans cette étude il est remarqué que l'irrigation est le facteur le plus puissant sur le taux de protéine quoi qu'il soit la dose d'apport azoté ou la culture non irriguée présente des valeurs élevées en protéine.

Durant cette étude il est bien remarqué que les taux d'amidon sont faibles par rapport aux valeurs mentionnées dans les références bibliographiques, cela peut être expliqué par **Feillet (2000)** que le taux d'amidon peut être endommagé durant la mouture, le taux d'amidon endommagé est un paramètre de différenciation des farines. Au cours de la mouture et au fur et à mesure que les cylindres se resserrent, les granules d'amidon sont soumis à des écrasements et à des cisaillements qui peuvent, sous certaines conditions, les ébrécher ; cet endommagement est d'autant plus sévère que la mouture est courte, que le conditionnement des blés avant mouture est limité et que les blés écrasés appartiennent à des variétés peu friables.

La matrice de corrélation (**ANNEXE 01**) montre qu'il existe une relation entre l'ensemble des paramètres étudiés, car en réalité ces paramètres sont liés l'un à l'autre. Une corrélation positive existe entre le taux d'humidité de produit de mouture et ses produits avec le taux de mitadinage, le gluten humide et sec, d'une autre part ce taux a une corrélation négative avec le poids spécifique, le poids de mille grains, les taux de cendres (il existe entre ces trois paramètres une corrélation positive) et le taux d'impuretés (**De Lucia, 1992**), confirme que la présence d'impuretés fausse les mesures de l'humidité et de poids spécifique.

La corrélation est positive entre le poids spécifique, le poids de mille grains et le taux de cendres, et négative avec le taux de mitadinage et le taux d'amidon (**ANNEXE 01**). Le mitadinage est directement lié à la quantité des protéines contenue dans le grain, et dépend

des conditions de culture, il déprécie la qualité des semoules et des produits dérivés (**Moity maizi et al., 2001**). Donc l'augmentation de taux de mitadin assure une diminution de poids spécifique et poids de mille grains qui provoque logiquement la diminution du taux de cendres.

Il existe une corrélation positive entre le poids de mille grains et le taux de gluten humide et sec, mais il est remarqué qu'il a une corrélation négative entre ce poids et le taux d'amidon. Le taux d'amidon a une corrélation positive avec le taux de protéines. Il y a une corrélation négative entre le taux de protéines et le taux de mitadinage ; mais ce résultat est à l'inverse des résultats présentés par **Abecassis et al. (1990)**, qui montre que le mitadinage des grains est classiquement relié à la quantité et à la nature des protéines accumulées dans le grain. Or l'équilibre entre les différentes protéines est plutôt sous dépendance de facteurs génétiques, la quantité de protéines est plus liée aux conditions de l'alimentation azotée et hydrique de la plante (**Sombero et Monneveux, 1989 ; Moity maizi et al., 2001**).

CONCLUSION GENERALE

A l'issue de cette étude nous avons noté que : le stress hydrique a un effet sur la biomasse microbienne de la rhizosphère associée à une culture céréalière, cet effet résulte d'une perturbation de l'ensemble des composants biotiques et abiotiques du sol, on a remarqué que des bactéries aérobies, des azotobacters, des actinomycètes, des bactéries ammonifiantes, nitrifiantes et dénitrifiantes sont sensibles au stress hydrique. Mais les actinomycètes sont les microorganismes les plus résistants au stress au contraire aux azotobacters qui sont les plus sensibles. Le stress hydrique n'a aucun effet sur le nombre des champignons du sol mais leur nombre est corrélé négativement avec les valeurs de pH du sol.

Il existe un ensemble d'interactions dans le système sol- plante- microorganismes où le comportement des microorganismes se manifeste différemment selon l'espèce concernée, dont chaque groupe de germe présente un degré de sensibilité relatif à ses critères morphologiques et génétiques.

- L'étude de la sensibilité des microorganismes associés à la plante en conditions de stress hydrique aide au choix des microorganismes auxiliaires PGPR (Les bactéries promotrices de la croissance des plantes) ; les plus tolérants au manque d'eau, pouvant agir contre les microorganismes pathogènes du sol, et pouvant dégrader la matière organique tel que les actinomycètes. Ce fait favorise les conditions de la production végétale à savoir disponibilité de la matière organique et son résultat ainsi que la protection végétale contre les germes pathogènes (phytoprotection biologique durable), afin de minimiser les produits phytosanitaires.
- Il est à noter que l'impact des variations des valeurs de pH sur les champignons est lié à l'activité biologique de l'ensemble des bactéries de sol qui affecte directement la ses modifications. Ce fait améliore la production végétale d'une manière biologiquement durable par les biais des microorganismes bénéfiques dans le domaine de la phytoprotection (par exemple les actinomycètes contre les champignons) ainsi que la bonne écologie pour les azotobacters, les ammonifiants, les nitrifiants et les dénitrifiants intervenant pour la fixation et la transformation des formes de l'azote indispensable à la nutrition végétale.

L'étude de l'effet du stress hydrique sur les composantes technologiques d'une culture céréalière, montre que ces composantes sont sensibles au stress. Cette sensibilité se diffère en fonction de la variété et aux paramètres étudiés. L'étude comparative entre culture irriguée et

non irriguée soumise aux conditions climatiques en pleins champ montre que pour la variété Vitron le stress hydrique a provoqué : l'augmentation du taux d'impuretés, diminution du poids de mille grains et le taux de gluten humide et sec. Ce stress a un effet moins sur le taux de mitadinage, le taux de protéines et d'amidon par rapport à la deuxième variété. Concernant la deuxième variété Bousselem les paramètres affectés par le stress atteint sont : l'augmentation du taux d'humidité du produit de mouture, le taux de mitadinage et la diminution des taux de protéines et d'amidon.

- A la lumière de ces résultats, il est facile d'utiliser ces paramètres pour un choix variétale des variétés de blé dur plus résistantes au stress hydrique car ces paramètres varie en fonction de variété , de durée et la période ou le stade végétatif affecté par le stress, et même en fonction de traitement azoté appliqué et accouplé avec l'irrigation.
- Dans cette étude il est remarqué que ces paramètres répondent à la variation des doses d'azote appliquées et aux taux d'irrigation appliqué à la capacité au champ cela peut conduire au choix des bonnes conditions en alimentation hydrique (maintient d'irrigation) et azoté qui donne le plus bon rendement de point de vue quantité et qualité.
- Il est remarqué que l'irrigation provoque l'activité des champignons en altérant la qualité de blé après récolte et pendant le stockage et que les conditions de stress aident à la minimisation de ces altérations. Ces remarques peuvent être utilisés pour le maintien de l'irrigation à des capacités au champ précises et à des périodes bien déterminés afin de minimiser les altérations des ravageurs. Comme il est possible de choisir des variétés de blé résistantes aux maladies durant un stress hydrique dont le but est d'améliorer la production végétale de point du vue quantité et qualité.
- L'irrigation en optimisant la production de biomasse n'est pas dans tous les cas synonyme de « qualité supérieure ». La prise en compte de ces changements au niveau de la composition nécessite chez certaines espèces, comme les fruits, un changement de la technologie de production, par l'utilisation des « sécheresses contrôlées » à certains stades de développement.

Cette étude reste à confirmer et compléter par d'autres travaux plus approfondis et avec un nombre suffisant de variétés de blé dur et des paramètres abiotiques tels que le stress salin, thermique.... Etc.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Abecassis et al. (1990) cité in **Moity maizi P., Christine D.S.M., Geslin P., Muchnik J., Sautier D. (2001)**. *Systèmes agroalimentaires localisés*. FRANCE : INRA. 2-7380-1015-6.

Adda A., Soualemi S., Iabdelli A., Sahnoun M., Merah O. (2013). Effet de déficit hydrique sur la structure de la zone pilifère des racines séminales de blé dur. *Ecologie-Environnement*. 1112-5888.

Adda A., Sahnoun M., Kaid-Harche M., Merah O. (2005). Impact of water deficit intensity on durum wheat seminal roots. *C.R. Biologies III. Plant biol. Path.* 328 : 918-927.

Acevedo R., Morelock J. & Olivieri R.A. (1989). Modification of coral reef zonation by terrigenous sediment stress. *Palaios*, 4, 92-100.

Afnor (Association Française de Normalisation). (1991). Contrôle de la qualité des produits alimentaire : céréales et produits céréaliers. Ed. AFNOR.

Ahmad I. Z. (2019). Role of Sugars in Abiotic Stress Signaling in Plants. In *Plant Signaling Molecules*. Wood head publishing. pp.207-217.

Agrimer F. (2011). Le marché du blé dur : Monde, Europe, France, 46 p. France Agrimer, 2014a. Données et bilan, Campagne 2014-2015, Perspectives 2015-2016. 6p.

Agrimer F. (2014b). Nouvelle crise sur le marché du blé dur. 4p.

Ait kaki Y.(1993). Contribution à l'étude des mécanismes morpho physiologiques de tolérance au stress hydrique sur 05 variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mémoire. Magistère. Univ. Annaba.

Ait slimane ait kaki S. (2008). Contribution à l'étude de l'interaction génotype x milieu, pour la qualité technologiques chez le blé dur en Algérie. Thèse Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat es Sciences option: Biologie végétale et Amélioration des Plantes. 13-130p.

Altenbach et al. (2003) cité in **Tibou E., Triboi-Blondel A.M. (2008)**. Qualité des récoltes et sécheresse. *INRA Agronomie, APAC Clermont-Ferrand*, (2) . pp. 131-158.

Aswani V., Rajsheel, P., Bapatla, R. B., Sunil, B., & Raghavendra, A. S. (2019). Oxidative stress induced in chloroplasts or mitochondria promotes proline accumulation in leaves of pea (*Pisum sativum*): another example of chloroplast-mitochondria interactions. *Protoplasma*, 256(2), 449-457.

Auten et Galterio. (1989) in **Moity maizi P., Christine D.S.M., Geslin P., Muchnik J., Sautier D. (2001)**. *Systèmes agroalimentaires localisés*. FRANCE : INRA. 2-7380-1015-6.

Arvalis institut du végétal. (2017). Blé dur : Guide de culture. France : Editions ARVALIS. ISBN 978-2-8179-0353-8.

Baize D. (2000). Guide des analyses en pédologie. [Ed.] Institut National de la Recherche Agronomique. 2^{eme}. Paris : INRA, 2000. pp 31-33-51-52-58. 2-7380-0892-5.

Baize D. (2018). Guide des analyses en pédologie. 3^{eme}. Paris : Quae, 2018. pp. 22-23-43-61-75-77-99-109-119. ISSN:1952-1251. 978-2-7592-2838-6.

Baker J., Steel C.H. and Dure I.L. (1988). Sequence and characterization of 6 LEA proteins and their genes from cotton. *Plant Mol. Biol.*, 11: 277-291.

Baldy C. (1993a). Progrès récents concernant l'étude du système racinaire du blé (*Triticum* sp). *Ann. Agron. (Paris)*. pp 241-276.

Bao Y .QI. (2002). Évaluation de la rétention et de la perte d'amidon modifiés. [éd.] mémoire présenté comme exigence partielle de la maîtrise en science des pâtes et papiers. pp.31-35.

Barnetts N.M. and Naylor A.W. (1966). Amino acids and protein metabolism in bermuda during water stress. *Plant Physiol.*, 41: 1222-1230.

Bradford M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.* 72, 248-254.

Belkhodja M., Bidai Y. (2004). Réponse de la germination des graines d'*Atriplex halimus* L. sous stress salin. *Revue Sécheresse*. 4, 15, 331-335.

Belkherchouche H., Benbelkacem A., Bouzerzour H., Benmahammed A. (2015). Flag leaf and awns ablation and spike shading effects on spike yield and kernel weight of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) under rainfed conditions. *Advances in EnvironmentalBiology*, 9:184-191.

Belaid D. (1987). Etude de la fertilisation azotée et phosphatée d'une variété de blé du (Hedba3) en condition de déficit hydrique. Mémoire de magister. I.N.A.108p

Bencharif A ., Chaulet C., Chela F., Kaci M., Sahli Z. (1996). La filière blé en Algérie. Paris: *KARTHALA-CIHEAM*. pp.1- 191-192. 2-86537-659-1.

Benbelkacem A., Sadli F., Brinis L. (1995). La recherche pour la qualité des blés durs en Algérie in Di Fonzone.(Ed.), Kaan, F, (Ed.) Nachit M (Ed.). Durum wheat quality in the Mediterranean region. [éd.] Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens et n. 22. s.l: Zaragoza: CIHEAM. pp.61-65.

- Benkaddour. (2014).** Modifications physiologiques chez des plantes de blé (*Triticum durum* Desf) exposées à un stress salin. Thèse de Doctorat. Université Badji Mokhtar Annaba. 30p.
- Belfakih M., Ibri M et Zouahri A. (2013).** Effet de la salinité sur les paramètres morpho physiologiques de deux variétés de bananier (*Musa acuminata* L.). *Journal of Applied Biosciences*, 70(1), 5652-5662.
- Benkhellef. (2016)** cité in **Ait slimane ait kaki S. (2008).** Contribution à l'étude de l'interaction génotype x milieu, pour la qualité technologiques chez le blé dur en Algérie. Thèse Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat es Sciences option: Biologie végétale et Amélioration des Plantes. pp. 13-130.
- Benouadah S., Oulbachir K., Benaichata L., Miara M.D., Snorek J. (2020).** Evolution of the microbial population of cultivated soil with organic matter input under semi- arid conditions (Tiaret, Algeria). *Ukrainian Journal of Ecology* 10(3), 28-35.
- Bensalem N., Benbitour Z. (2005).** Analyse d'une stratégie de communication commerciale d'une entreprise industrielle. Cas de la Semoulerie Industrielle de la Mitidja. Mémoire de licence en sciences commerciales: *Institut national de commerce* Alger. 95p.
- Blum A. (1988).** Plant breeding for stress environments. *CRC Press: Boca Raton, Florida* cité in **Toumi M., Barris S., Aid F. (2014).** Effet de stress hydrique et osmotique sur l'accumulation de proline et de malondialdehyde (MDA) chez deux variétés de colza (*Brassica napus* L.). *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de la Vie*, n° 36. pp.17-24.
- Bonnot T. (2016).** Réponse du grain de blé à la nutrition azotée et soufrée : étude intégrative des mécanismes moléculaires mis en jeu au cours du développement du grain par des analyses - [en ligne].thèse de doctorat. Clermont-Ferrand : Université Blaise Pascal. [Consulté le 13 mai 2019]. Disponible a l'adresse : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01544587>.
- Bouniols et al. (1982)** cité in **Ait slimane ait kaki S. (2008).** Contribution à l'étude de l'interaction génotype x milieu, pour la qualité technologiques chez le blé dur en Algérie. Thèse Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat es Sciences option: Biologie végétale et Amélioration des Plantes. pp.13-130.
- Boudreau A., Menard G., Tipples H.K. (1992).** Le blé : éléments fondamentaux et transformation. Canada : Les Presses De l'Université Laval. pp. 35. 2-7637-7296-X.
- Bouakez D., Hamadouche I. (2015).** Effet du stress hydrique au stade de germination sur la croissance de quelque génotype du blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mémoire de Master en Biologie et Génomique Végétale. Université des Frères Mentouri Constantine. 5p.
- Bousba R. (2012).** Caractérisation de la tolérance a la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Thèse de Doctorat. Université des Frères Mentouri Constantine.117p.

Bousquet N., (2014). Le Maghreb, une opportunité pour le BD français. Arvalis. [En ligne]. Disponible sur : <http://www.arvalis-infos.fr/le-maghreb-une-opportunite-pour-le-ble-dur-francais-@/view17093-arvarticle.html>, (consulté le 08/06/15).

Bouzoubaa Z., El Mourid M., Karrou M. et El Gharous M. (2001). Manuel d'analyse chimique et biochimique des plantes. Eds INRA Maroc.

Boyer J.S. (1982). Plant productivity and environment. *Science*, 218(4571), 443-448.

Bray. (1997) cité in **Froux F. (2002).** Caractéristiques hydrauliques, régulation stomatique et efficacité d'utilisation de l'eau de quatre espèces de conifères méditerranéens (*Cedrus atlantica*, *Cupressus sempervirens*, *Pinus halepensis* et *Pinus nigra*). Thèse de Docteur de l'Université Henri Poincaré, Nancy 1. Université Henri Poincaré - Nancy 1. Français. : D.F.R. Sciences et Techniques Biologiques. pp. 19 -21.

Brink M., Belay G. (2006). Ressources végétales de l'Afrique tropicale 1: Céréales et légumes secs. Wageningen : Fondation PROTA. pp 206-211. 90-5782-172-9.

Bresson J. (2013). Interaction plante- microorganismes : Implication de la rhizobactéries *Phyllobacterium brassicacerearum* dans les réponses d'*Arabidopsis thaliana*. *UNIVERSITE MONTPELLIER II. Montpellier, France.* pp. 1-2-3.

Calvet R. (2003). Le sol: propriétés et fonctions Tome 2 Phénomène physiques et chimiques Applications agronomiques et environnementales. [éd.] Institut National Agronomique (INRA). Paris- Grignon : France Agricole. p. 481.2-85557-084-0.

Campalans A., Messeguer, R., Goday, A., Pagès, M. (1999). Plant responses to drought, from ABA signal transduction events to the action of the induced proteins. *Plant Physiology and Biochemistry*, 37(5), 327-340.

Casals M.L. (1996). Introduction des mécanismes de résistance à la sécheresse dans un modèle dynamique de croissance et de développement du blé dur. Thèse de doctorat de l'INRA Paris Grignon. 93 p.

Cauchy. (1821) cite in **Kranner I., Minibayeva F.V., Beckett R.P., Seal C.E. (2010).** What is stress? Concepts, definitions and applications in seed science. *New Phytologist*. 188(3): 655-673.

Carnaulet C. D.C. (2015). Biologie du sol et agriculture durable et agro écologie. Paris : *France Agricole.* pp. 10-44-88-186-211. 978-2-85557-378-6.

Chahrour. (2004) cité in **Ait slimane ait kaki S. (2008)**. Contribution à l'étude de l'interaction génotype x milieu, pour la qualité technologiques chez le blé dur en Algérie. Thèse Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat es Sciences option: Biologie végétale et Amélioration des Plantes. pp. 13-130.

Champolivier et Merrien. (1996) cité in **Tibou E., Triboi-Blondel A.M. (2008)**. Qualité des récoltes et sécheresse. *INRA Agronomie, APAC Clermont-Ferrand*, (2). pp. 131-158.

Champs M. (2017). Devrons- nous manger plus de céréales complètes ? *ELSEVIER. Société Française de nutrition*, (53).

Chau S. (2019). Moucheture du blé dur : identification des facteurs et. [Ed.] Sciences du Vivant [q-bio]. 2019. ffdumas-02363161f. 2019.

Chaumeil P. (2006). Plasticité moléculaire de deux écotypes de pin maritime soumis à un stress osmotique. Thèse de Doctorat de l'Université Henri Poincaré, France.

Chaussaud. (1996) in **Calvet R. (2003)**. Le sol: propriétés et fonctions Tome 2 Phénomène physiques et chimiques Applications agronomiques et environnementales. [Ed.] Institut National Agronomique (INRA). Paris- Grignon : France Agricole. p. 481. 2-85557-084-0.

Chaib G., Benlaribi M et Hazmoune T. (2015). Accumulation d'osmotocums chez le blé dur (*Triticum durum Desf.*) sous stress hydrique. *European Scientific Journal*, 11(24), 378-395.

Chaves et Oliveira. (2004) cité in **Ait slimane ait kaki S. (2008)**. Contribution à l'étude de l'interaction génotype x milieu, pour la qualité technologiques chez le blé dur en Algérie. Thèse Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat es Sciences option: Biologie végétale et Amélioration des Plantes. pp. 13-130.

Clark. (1967) in **Davet P. (1996)**. vie microbienne du sol et production végétale. [éd.] Institut national de la recherche agronomique INRA. Paris. pp. 13-49. Vol. 1. 2-7380-0648-5.

Clement G. et Prats J. (1970). Les céréales. Collection d'enseignement agricole. 2ème Ed. 351 p.

Clement Grancourt et Prats. (1971). Les céréales. Ed.J.B. Bailliers et Fils. 360p.

Clément M. (1998). Analyse physique des sols. Paris : Technique & Documentation, 1998. pp. 5-7-11-22-29. 2-7430-0283-2.

Cruz J.F., Diop A. (1989). Genie agricole et développement: techniques d'entreposage (bulten des services agricoles de la FAO. Rome : FAO. pp. 7-23. 92-5-202767-X.

Cruz J.F., Joseph D., Hounhouigan ., Michel H., Thierry F. (2019). La transformation des grains. Paris : Quae, CTA, Presses agronomique de Gembloux. pp. 10 -11. 978-2-87016-167-8.

CREDO. (2000). A nouveaux consommateurs, nouvelles stratégies industrielles. Etude prospective des grandes tendances de la consommation. *CREDOC, Département « Dynamique des marchés »*.35 p.

Cuin T. A., Shabala, S. (2007). Compatible solutes reduce ROS-induced potassium efflux in Arabidopsis roots. *Plant, cell & environment*, 30(7), 875-885.

Cushman J.C., Bohnert H.J. (2000). Genomic approaches to plant stress tolerance. *Current Opinion in Plant Biology*, 3, 117- 124.

Darcheville. (2008). Rôle des composantes géochimiques et microbiologiques d'un sol sur le comportement du Sélénium en condition oxygène et anoxique. Thèse de docteur en science. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire. France. 63-64 p.

Davet P. (1996). vie microbienne du sol et production végétale. [Ed.] Institut national de la recherche agronomique INRA. Paris. pp. 13-49. Vol. 1. 2-7380-0648-5.

Davet P., Francis R. (1997). Détection et isolement des champignons du sol. Paris: INRA, Paris. p. 35. 2-7380-0731-7.

David J.C. et Grongnet J.F. (2001). Les protéines de stress. *INRA Prod. Anim.*, 14(1): 29-40. El Mourid, M. 1988. Performance of wheat and barley cultivars under different soil moisture regimes in semi arid region. Ph.D. dissertation, Iowa State University Ames USA, 229p.

Darbyshire B. (1974). The function of the carbohydrate units of tree fungal enzymes in their resistance to dehydration. *Plant Physiol.* 54: 717-721.

De Lucia M., Assennato D. (1992). L'après- récolte des grains : organisation et technique (bulletin des services de la FAO). Rome : FAO. pp. 21-25-87. 92-5-203180-1.

De La Panouse G. (2011). La moucheture du blé dur : déterminisme et méthodes d'analyse. Rapport de stage. Toulouse : Ecole d'ingénieurs Purpan.

Dexter J.E., Matsuo R.R. (1977). Changes in semolina proteins during spaghetti processing. *Cereal Chem.* N° .54. pp 882 - 894.

Deumier. (1987) cité in **Ait slimane ait kaki S. (2008)**. Contribution à l'étude de l'interaction génotype x milieu, pour la qualité technologiques chez le blé dur en Algérie. Thèse Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat es Sciences option: Biologie végétale et Amélioration des Plantes. pp .13-130.

Dexter J.E., Edwards N.M. (1998). The implication of frequently encountered grading factors on the processing quality of durum wheat. Canadian Grain Commission, *02nd Association of Operative Millers, trade Show, Phoenix, Arizona*.30p.

Dommergues Y. 1968. La biologie des sols. France : PRESSES UNIVERSITAIRE DE FRANCE, 1968. p. 5-11.

Dommergues et Manegot. (1970) cité in **Davet P. (1996)**. vie microbienne du sol et production végétale. [Ed.] Institut national de la recherche agronomique INRA. Paris. pp. 13-49. Vol. 1. 2-7380-0648-5.

Ducrey. (1988) cité in **Froux F. (2002)**. Caractéristiques hydrauliques, régulation stomatique et efficience d'utilisation de l'eau de quatre espèces de conifères méditerranéens (*Cedrus atlantica*, *Cupressus sempervirens*, *Pinus halepensis* et *Pinus nigra*). Thèse de Docteur de l'Université Henri Poincaré, Nancy 1. Université Henri Poincaré - Nancy 1. Français. : D.F,R. Sciences et Techniques Biologiques. pp.19 -21.

El Jaafari S. (1993). Contribution à l'étude des mécanismes biophysiques et biochimiques de résistance à la sécheresse chez le blé. Thèse de Doctorat. Université Gembloux Belgique. 3-34-214p.

El hadef el okki L. (2015). Valeurs d'appréciation de la qualité technologique et biochimique des nouvelles obtentions variétales de blé dur en Algérie. Thèse de magistère. Université de Sétif. pp. 28-33.

Escoffier. (2005) cité in **Tibou E, Triboui-Blondel A.M. (2008)**. Qualité des récoltes et sécheresse. *INRA Agronomie, APAC Clermont-Ferrand*, (2). pp. 131-158.

FAO. (2011). <http://www.fao.org>. <http://www.fao.org>. [En ligne] 2011. [Citation : 18 octobre 2019.] <http://www.fao.org/3/a-i1235f.pdf>.

FAO. (2015) cité in **Feillet P. (2000)**. Le grain de blé : composition et utilisation. Paris : INRA, Paris. pp. 1-2- 27. 2-7380-0896-8.

Farooq M., Wahid A., Kobayashi N., Fujita D., Basra S. M. A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. In *Sustainable agriculture*. Springer, Dordrecht. pp. 153-188.

Feillet P. (1984). The biochemical basis of pasta cooking quality. Its consequences for durum wheat breeders. *Science Alimentaire* N° 4. pp. 551 - 566.

Feillet P. (2000). Le grain de blé : composition et utilisation. Paris : INRA, Paris. pp. 1-2- 27. 2-7380-0896-8.

Jean F.B ., Job D. (2017). les sold rt la vie souterraine. FRANCE : Quae. pp. P 9-12. 978-2-7592-2651-1.

Jouanin A., Plumecocq G., Triboulet P. (2020). La qualité du blé dur dans la filière française: Modalités de construction, éléments de compétitivité et liens avec la durabilité environnementale. hal-02789005. s.l. : UMR AGIR, CS52627, 31326 Castanet Tolosan cedex. pp. 1-13-16.

Hanson A.D., Nelson C.E. and Everson, E.H. (1977). Evaluation of free proline accumulation as an index of drought resistance using two contrasting barley cultivars. *Crop. Sci.*, 17: 720-726.

Hannachi A., Fellahi Z., Bouzerzour H., Boutekrabi A. (2013). Diallel-cross analysis of grain yield and stress tolerance-related traits under semi-arid conditions in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Electronic Journal of Plant Breeding*. 4: 1027-1033.

Hassani A., Dellal A., Belkhodja M., Kaid-Harche M. (2008). Effet de la salinité sur l'eau et certains osmolytes chez l'orge (*Hordeum vulgare*). *Eur. J. Sci. Res*, 23(1), 61-69.

Hénin S. (1976). Physique du Sol. Editions ORSTOM, 2 tomes, Paris. Editions ORSTOM, 2 tomes, Paris. Paris : s.n., 1976. pp. 2-7099-416-0.

Hénin F., (2015). La planète manque de blé dur. [En ligne]. Disponible sur : <http://www.terre-net.fr/marche-agricole/actualite-marche-agricole/article/la-planete-manque-de-ble-dur-1395-111066.htm>

Hopkins G., Wiliam. (2003). Physiologie végétale. [Ed.] De boeck et larcier. 1. Bruxelles : De Boeck Université, 2003. pp. 23-455. 2-7445-0089-5.

ITCF ET ONIC (1995) cite in El hadef el okki L. (2015). Valeurs d'appréciation de la qualité technologique et biochimique des nouvelles obtentions variétales de blé dur en Algérie. Thèse de magistère. Université de Sétif. pp. 28-33.

Gallais A. (2015). Comprendre l'amélioration des plantes, enjeux, méthode, objectifs et critères de sélection. Paris. Quae. pp. 147-148. 978-2-7592-2347-3.

Gallais A ., Bannerot H. (1992). Amélioration des espèces végétales cultivées, objectifs et critères de sélection. Paris : INRA, Paris. 27p .2-73880-0383-4.

Gaspar T., Franck T., Bisbis B., Kevers C., Jouve L., Hausman J.F., Dommes J. (2002). Concepts in plant stress physiology. Application to plant tissue cultures. pp. 263-285. 37(3) 0167-6903.

Gate P. (1995). Ecophysiologie du blé : de la plante à la culture. Ed Lavoisier. 429p.

Gibson T.S., Solah V.A., Mc Clearlyt B. V. (1997). A procedure to measure amylose in cereal starches and flours with concanavalin A. Journal of Cereal Science N° 25. pp. 111 - 119.

Gobat J.M., Aragno M., Matthey W. (2010). Le sol vivant : bases pédologie -biologie des sols. Suisse : 3 éditions Revue et augmentée. pp. 52-53-61-62-64. 978-2-88074-718-3.

Grando S., Ceccarelli S. (1995). Hordeum pontaneum improves performance of barley under drought. XIV EUCARPIA congress, July 31–August 4, (*Book of Abstracts*): Adaptation in plant breeding. Jyväskylä, Finland, 97.

Grando S., Ceccarelli S. (1995). Seminal root morphology and coleoptile length in wild (*Hordeum vulgare* ssp. Spontaneum) and cultivated (*Hordeum vulgare* ssp. vulgare) barley. *Euphytica*. 1995. pp. 73-86.

Griffin. (1972) cité in **Davet P. (1996).** vie microbienne du sol et production végétale. [Ed.] Institut national de la recherche agronomique INRA. Paris. pp. 13-49. Vol. 1. 2-7380-0648-5.

Kramer P.J. (1983). Water relations of plants. Academic Press Inc. New York. 489p.

Kranner I., Minibayeva F.V., Beckett R.P., Seal C.E. (2010). What is stress? Concepts, definitions and applications in seed science. New Phytologist. 188(3): 655-673.

Lamaze T., Tousch, D., Sarda X., Grignon, C., Depigny, D., Monneveux, P. et Belhassen, E. (1994). Résistance de plantes à la sécheresse : mécanismes physiologiques. *Le sélectionneur Français*, 45: 75-85.

Lauri P.E., Marceron A., Normand F., Dambreville A., Regnard J.L. (2014). Soil water deficit decreases xylem conductance efficiency relative to leaf area and mass in the apple. *Journal of Plant Hydraulics*. 12p.

Le bourgeois F., Lévy G., Aussenac G., Clerc B., Willm F. (1998). Influence of soil drying cycle on leaf water potential, photosynthesis, stomatal conductance and growth in two black pine varieties. *Annals of Forest Science*. 55, 287-299.

Lepoivre P. (2003). Phytopathologie. [éd.] De Boeck et Larcier. Bruxelles : De Boeck Université. pp. 23-27. 2-8041-4115-2.

Levitt J. (1980). Responses of Plant to Environmental Stress: Water, Radiation, Salt and Other Stresses. Academic Press, New York. 365p.

Lopez C.G., Banowetz G.M., Peterson C.J., Kronstad, W.E. (2003). Dehydrin expression and drought tolerance in seven wheat cultivars. *Crop Sci* ; 43: 577–582.

Loss S.P., Siddique K.M.H. (1994). Morphological and physiological traits associated with wheat yield increase in Mediterranean environments. *Adv. Agron* ; 52: 229–276.

Ludlow M.M. (1989). Strategies of response to water stress. In Structural and functional responses to environmental stresses. eds K. H. Kreeb, H. Richter and T. M. Hinckley. Academic Publishing. The Hague. pp. 269-281.

Lynch J. (1982). Interaction between bacteria and plants in the root environment. Ed. Bacteria and plants. Academic press. London. pp.63-68.

Makowski D., Pirou F., Brun F. (2018). Savoir faire De l'analyse des réseaux expérimentaux à la méta-analyse, méthode et applications avec logiciel R pour les sciences agronomiques et environnementales. 2 e.d, Paris : *Quae*.33p. 978-2-7592-2815-7.

Mekhlouf A., Dehbi F., Bouzerzour H., Hannachi A., Benmahammed A., Adjabi A. (2006). Relationships between cold tolerance, grain yield performance and stability of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes grown at high elevation area of eastern Algeria. *Asian Journal of Plant Science* 5: 700-708.

Masci S., Lew E. J.-L., Lafiandra D., Porceddu E., Kasarda D. (1995). Characterization of Low Molecular Weight Glutenin Subunits in Durum Wheat by Reversed Phase High-Performance Liquid Chromatography and N-Terminal Sequencing. *Cereal Chemistry*. Vol. 72, No. 1. pp. 100-110

Matsuo R. R., Dexter J.E., Kosmolak F.G., Leisle D. (1982). Statistical evaluation of tests for assessing spaghetti-making quality of durum wheat. *Cereal Chem.* N°59.

Marguerit E. (2010). Déterminisme génétique des réponses au déficit hydrique de la transpiration et de la croissance, induites par le porte-greffe, chez la vigne. Thèse de doctorat. Université de Bordeaux France. 229p.

Martin R.J., Sutton K.H., Moyle T.H., Hay R.L., Gillespie R.N. (1992). Effect of nitrogen fertilizer on the yield and quality of six cultivars of autumn- sown wheat. *Crop Hortic. Sci*, N° 20, PP 273-282.

Masle J. (1982). Comment se fait le rendement. Service de l'agriculture n° 142, extrait de press SCPQ 4P.

Maury P., Langlade N., Grieu P., Rengel D., Sarrafi, A., Debaeke P., et Vincourt P. (2011). Ecophysiologie et génétique de la tolérance à la sécheresse chez le tournesol. *Innovations Agronomiques*, 14, 123-138.

May et Milthorpe. (1962) cité in Toumi M., Barris S., Aid F. (2014). Effet de stress hydrique et osmotique sur l'accumulation de proline et de malondialdéhyde (MDA) chez deux variétés de colza (*Brassica napus* L.). *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de la Vie*, n° 36. pp.17-24.

Meynard J.M. (1987). L'analyse de l'élaboration de rendement sur les essais de fertilisation azotée. *Perspectives agricoles*, N° 115, pp 5-51.

Mok C. (1997). Mixing properties of durum wheat semolina as influenced by protein quality and quantity. *Food and Technology*. Vol N°6. NO. 1. pp. 1-4.

Moity maizi P., Christine D.S.M., Geslin P., Muchnik J., Sautier D. (2001). Systèmes agroalimentaires localisés. FRANCE : INRA. 2-7380-1015-6.

Monneveux P., Nemmar, M. (1986). Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.): étude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. *Agronomie*, 6(6), 583-590.

Morgan J.M. (1984). Osmoregulation and water stress in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 35, 299-319.

Morris C.J., Thompson J.F. and Jonson, C.M. (1969). Metabolism of glutamic and Nacetoglutamic acid in leaf discs and cell free extracts of higher plants. *Plant Physiol.*, 44: 1023-1026.

Moulineau C. (1993). Variation sous contraintes hydrique de la teneur en acides aminées libres foliaires du mil. *Centre d'étude de Cadarache 13108 Saint Paul les Durance Cedex* : 234-244 p.

M.S.D.A (Manuel Suisse des Denrées Alimentaires). (2004). Céréales, produits de l'industrie meunière, pré-mélanges de farine, farines instantanées : 14 Céréales, produits de l'industrie meunière .pp. 1-10.

Nakashima M. (1998). End-users' Governance of Natural Resources: Irrigation Management Transfer in Mexico. *Hiroshima Journal of International Studies*, 4, 1-16.

Neffar F. (2013). Analyse de l'expression des gènes impliqués dans la réponse au stress abiotiques dans différents géotypes de blé dur (*Triticum durum*) et d'orge (*Hordeum vulgare*) soumis à la sécheresse. Thèse doctorat. Université Ferhat Abbas Sétif. 86p.

Nemmar M. (1983). Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez les variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) et de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) ; Evolution des teneurs en proline au cours du cycle de développement. Thèse Docteur Ingénieur Sciences Agronomiques. ENSAM. 142 p.

Olufalio. (1994) cité in **Ait slimane ait kaki S. (2008).** Contribution à l'étude de l'interaction génotype x milieu, pour la qualité technologiques chez le blé dur en Algérie. Thèse Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat es Sciences option: Biologie végétale et Amélioration des Plantes. pp. 13-130.

Oukara F.Z., Chaouia C., Benrebiha F.Z. (2017). Contribution à l'étude de l'effet du stress hydrique sur le comportement morphologique et physiologique des plantes de Pistachier de l'ATLAS Pasacia Atlantica DEFS. *Revue Agrobiologia*. Algérie. 227 : 2170-1652.

Oulbachir Karima. (2010). Ecologie microbienne des sols sous différents compartiments granulométriques et différents étages bioclimatiques. Thèse de doctorat. Université d'Oran. Algérie. pp. 51-55.

Passioura J. (2007). The drought environment: physical, biological and agricultural perspectives. . [Ed.] *Journal Experimental of Botany*. pp. 113-117. 58(2).

Pereira J.S. Chaves M.M., Caldeira M.C., Correia A.V. (2007). Water availability and productivity. In: James I.L. Morison MDM ed. *Plant Growth and Climate Change*. pp .118-145.

Philippe B., Jean-Philippe., Leygue., Marie-Francoise., Samson. (2020). La filière blé dur : 50 ans d'amélioration et d'intégration. Innovations pour une Filière blé dur durable. France : s.n. p. 25. <http://www6.inra.fr/umt-novadur>, Journée Qualité des fruits et légumes frais.

Pochon J., Tardieux P. (1962). Technique d'analyse en microbiologie du sol, Coll. Tech. de base, Paris ed. De la tourelle. p.111.

Prescott D.L., Willey J., Sherwood L., Woolverton C. (2018). Microbiologie de Prescott. [trad.] Joseleau Jean-Paul, Perraud Robert Coyett Jacque. 5 ème. Paris : Deboeck superieur. pp. 637-642. 978-2-8073-0802-2.

Raven P.H., Berg L.R., Hassenzal D.M. (2009). Environnement. Bruxelles : De Boeck. pp. 56- 57- 94 - 357. 978-2-8041-5891-1.

Rousselot P., (2005). Le blé, les spaghettis, la protéine, mesures ingénieuses de la consommation des pâtes alimentaires (enquêtes). *Terrains et travaux*, (9). pp. 109-124.

Sami F., Yusuf M., Faizan M., Farda A., Hayat S. (2016). Role of sugars under abiotic stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 109, 54-61.

Schwartz C., Muller J.C., Decroux J. (2005). Guide de la fertilisation raisonnée (grandes cultures et prairies). Paris : France Agricole. p. 92. 2-85557-120-

Scott G., Mont J.M. (1997). Analyse physique de grains des blés tendres et blé dur : guide pratique d'analyse dans les industries des céréales. Paris : Tec & Doc, Lavoisier. pp. 79-110.

Simon H., Codaccioni P., Lequeur X. (1989). Produire des céréales à paille. Coll. Agriculture d'aujourd'hui. Science, Techniques, Applications. pp. 63 - 67; pp. 292 - 296.

Smirnoff N. (1998). Plant resistance to environmental stress. *Current Opinion in Biotechnology*, 9, 214-219.

Soltner D. (1990). Les grandes productions végétales céréalières, plantes sarclées- prairies. 16^{ème} Ed, collection sciences techniques agricoles. 464p.

Soltner D. (2005). Les bases de la production végétale. 2^{ème} ed. s.l. : Sciences et techniques agricole. pp. 23-31- 37.

Sombreau A., Monneaux P. (1989). Le mitadinage chez le blé dur (*Triticum durum* Desf): influence de l'élimination azotée et hydrique et de la variété. *Agro*. pp. 349-360.

Sparling G. (1986) .Microbial biomass in Organic soils; estimation of biomass and effect of glucose or cellulose amendment on the amount of N et P released by fumigation. *Soil sciences* 472 p.

Stewart G.R. and Lee J. (1974). The role of proline accumulation in halophytes. *Planta.*, 12: 279-289.

Tahani A. (2009). Look at experiences in Algeria and Egypt. Perspectives of agricultural policies in North Africa. *Mediterranean options*, 144-172.

Timms M., Albertini., Bottomly R.C., Ellis J.R.S., Schofield J.D. (1981). The baking quality and protein characteristics of winter wheat grown at different levels of nitrogen fertilisation. *J.Sci. Food Agric ; N°32*. pp. 684-698.

Thompson J.E., Paliyath G., Brown J.H. et al. (1987). The involvement of active oxygen in membrane deterioration during senescence. In Thompson, Nothnagel & Huffaker (eds). *Plant Senescence: its Biochemistry and Physiology. American society of Plant Physiologists*, (Rockville, USA), 146-155.

Toumi M., Barris S., Aid F. (2014). Effet de stress hydrique et osmotique sur l'accumulation de proline et de malondialdéhyde(MDA) chez deux variétés de colza (*Brassica napus* L.). *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de la Vie*, n° 36. pp.17-24.

Trentesaux E. (1995). Evaluation de la qualité du blé dur. 8p. [En ligne]. Disponible sur : <http://om.ciheam.org/om/pdf/a22/95605353.pdf>, (consulté le 15/06/15).

Vilain M. (2012). Méthode expérimentales en agronomie, pratique et analyse. 2 e. Paris : Lavoisier. pp. 182-189-190. 978-2-7430-1418-6.

Vile D, Perven M.T., Belluau M., Vasseur F., Bresson J. (2011). Arabidopsis growth under prolonged high temperature and water deficit: independent or interactive effects? *Plant, Cell and Environment*. pp.195- 209. 1365-3040

Watt et al. (2006) cité in Gobat J.M., Aragno M., Matthey W. (2010). Le sol vivant : bases pédologie -biologie des sols. Suisse : 3 éditions Revue et augmentée. pp. 52-53-61-62-64. 978-2-88074-718-3.

Wang W., Vinocur B., & Altman A. (2003). Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta*, 218(1), 1-14.

Weckx J.E.J. & Clijsters H.M.M. (1996). Oxidative damage and defense mechanisms in primary leaves of *Phaseolus vulgaris* as a result of root assimilation of toxic amounts of copper. *Physiologia Plantarum*, 96, 506-512.

Wood, (2005) cité par Lauri P.E., Marceron A., Normand F., Dambreville A., Regnard J.L. (2014). Soil water deficit decreases xylem conductance efficiency relative to leaf area and mass in the apple. *Journal of Plant Hydraulics*, 1 (e003). 12p.

Yeo A. R. (1983). Salinity resistance: physiologies and prices. *Physiologia plantarum*, 58(2), 214-222.

Yokota A., Takahara K., Akashi, K. (2006). Water stress. In *Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants*. Springer, Dordrecht. pp. 15-39.

Zerrad B.S., Maataoui S., Hilali S., El Antri A., Hmyene. (2008). Etude comparative des mécanismes biochimiques de résistance au stress hydrique de deux variétés de blé dur. *Lebanese Science Journal*,. 2008, Vol. 9, 2. pp. 34 - 35.

ANNEXES

ANNEXE 01 : Matrice de corrélation entre les paramètres de la qualité technologiques.

	Poids de mille grains	poids spécifique	Taux de mitadin	Taux de gluten humide	Taux de gluten sec	Taux de protéine1	Humidité de produit de mouture	taux de cendre	Taux d'amidon %
Poids de mille grains	1								
poids spécifique	0,848437313	1							
Taux de mitadin	-0,766532786	-0,775512452	1						
Taux de gluten humide	0,44640126	0,186601285	0,000966601	1					
Taux de gluten sec	0,448748379	0,190925474	-0,013644011	0,997693281	1				
Taux de protéine1	0,089342466	0,210992385	-0,363782913	-0,719458111	-0,699548963	1			
Humidité de produit de mouture	-0,553948594	-0,669521495	0,760102927	0,359210392	0,367997185	-0,468287214	1		
taux de cendre	0,60479509	0,306570628	-0,688260612	0,108374675	0,114853049	0,12990681	-0,568575237	1	
Taux d'amidon %	-0,811000088	-0,686841159	0,423830838	-0,816468461	-0,817110504	0,361892515	0,100067052	-0,216805322	1

ANNEXE 02 : Matrice de corrélation entre l'humidité du sol, les paramètres physico-chimiques du sol et les microorganismes du sol étudié.

	calcaire		conductivité		matière		bactéries					
	humidité %	total	pH	électrique	organique	aérobies	azotobacters	actinomycètes	champignon	nitrifiantes	dénitrifiantes	ammonifiantes
humidité %	1											
calcaire total	-0,1534	1										
PH	-0,278	0,653855	1									
conductivité électrique	0,032	0,288334	0,528549	1								
matière organique	0,3153	-0,60298	-0,86789	-0,54871	1							
bactéries aérobies	0,4367	0,01303	-0,0968	0,19314	-0,1892	1						
azotobacters	0,4833	0,070414	0,168183	-0,00577	7,2E-06	0,313	1					
actinomycètes	0,7381	0,044652	0,183478	0,04251	0,027649	0,059	0,645795	1				
champignons	0,0042	-0,33236	-0,352544	-0,17986	0,451265	-0,127	-0,14983	-0,1213	1			
nitrifiantes	0,7364	0,108356	-0,075662	0,18228	-0,11037	0,799	0,213897	0,419	-0,145	1		
dénitrifiantes	-0,0245	-0,64977	-0,67478	-0,35933	0,644778	-0,287	-0,39146	-0,3087	0,5043	-0,353	1	
ammonifiantes	0,0884	-0,25005	-0,373605	-0,20424	0,345135	0,334	-0,27058	-0,2471	0,5033	0,2721	0,34	1

ANNEXE 03 : Résultat de l'étude statistique par le test ANOVA (analyse de variance) de l'effet de stress hydrique sur l'humidité du sol.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	96,50340833	1	96,50340833	7,61055785	0,020173927	4,964602701
A l'intérieur des groupes	126,8020167	10	12,68020167			
Total	223,305425	1				

ANNEXE 04 : Résultats de l'étude statistique par le test ANOVA (analyse de variance) de l'effet de stress hydrique sur la densité des bactéries aérobies.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	5,98918E+15	1	5,98918E+15	8,021480586	0,008180717	4,170876757
A l'intérieur des groupes	2,23993E+16	30	7,46643E+14			
Total	2,83885E+16	31				

ANNEXE 05 : Résultats de l'étude statistique par le test ANOVA (analyse de variance) de l'effet de stress hydrique sur la densité des azotobacters.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	4,14118E+15	1	4,14118E+15	13,99817209	0,000773085	4,170876757
A l'intérieur des groupes	8,87511E+15	30	2,95837E+14			
Total	1,30163E+16	31				

ANNEXE 06: Résultats de l'étude statistique par le test ANOVA (analyse de variance) de l'effet de stress hydrique sur la densité des actinomycètes.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	9,8645E+15	1	9,8645E+15	7,438960895	0,01056143	4,170876757
A l'intérieur des groupes	3,97818E+16	30	1,32606E+15			
Total	4,96463E+16	31				

ANNEXE 07 : Résultats de l'étude statistique par le test ANOVA (analyse de variance) de l'effet de stress hydrique sur la densité des bactéries champignons.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	2,72375E+13	1	2,72375E+13	1,625835934	0,212066727	4,170876757
A l'intérieur des groupes	5,02587E+14	30	1,67529E+13			
Total	5,29824E+14	31				

ANNEXE 08 : Résultats de l'étude statistique par le test ANOVA (analyse de variance) de l'effet de stress hydrique sur la densité des bactéries ammonifiantes

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	5,89101E+17	1	5,89101E+17	8,334759938	0,007146598	4,170876757
A l'intérieur des groupes	2,1204E+18	30	7,068E+16			
Total	2,7095E+18	31				

ANNEXE 09 : Résultats de l'étude statistique par le test ANOVA (analyse de variance) de l'effet de stress hydrique sur la densité des bactéries nitrifiantes.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	1,54012E+17	1	1,54012E+17	5,622432369	0,024351643	4,170876757
A l'intérieur des groupes	8,21775E+17	30	2,73925E+16			
Total	9,75787E+17	31				

ANNEXE 10 : Résultats de l'étude statistique par le test ANOVA (analyse de variance) de l'effet de stress hydrique sur la densité des bactéries dénitrifiantes.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	4,05E+15	1	4,05E+15	4,999995729	0,032936375	4,170876757
A l'intérieur des groupes	2,43E+16	30	8,1E+14			
Total	2,835E+16	31				

ANNEXE 11 : Résultats de l'étude statistique par le test ANOVA (analyse de variance) de l'effet de stress hydrique sur la le taux d'impureté.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	42,6933375	1	42,6933375	3,58634036	0,071481284	4,300949462
A l'intérieur des groupes	261,8974583	22	11,90442992			
Total	304,5907958	23				

ANNEXE 12 : Résultats de l'étude statistique par le test ANOVA (analyse de variance) de l'effet de stress hydrique sur la le taux de l'humidité de produit de mouture de la variété Vitron.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	0,26542898	1	0,26542898	25,38469587	0,002360762	5,987377584
A l'intérieur des groupes	0,06273756	6	0,01045626			
Total	0,32816654	7				

ANNEXE 13 : Résultats de l'étude statistique par le test ANOVA (analyse de variance) de l'effet de stress hydrique sur la le taux de l'humidité de produit de mouture des deux variétés Vitron et Bousselem.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	0,12182048	1	0,12182048	2,749545844	0,148355527	5,987377584
A l'intérieur des groupes	0,26583404	6	0,044305673			
Total	0,38765452	7				

ANNEXE 14 : Résultats de l'étude statistique par le test ANOVA (analyse de variance) de l'effet de stress hydrique sur le poids de mille grains de la variété Vitron.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	71,50046945	1	71,50046945	8,541326	0,026542904	5,987377584
A l'intérieur des groupes	50,22672319	6	8,371120532			
Total	121,7271926	7				

ANNEXE 15 : Résultats de l'étude statistique par le test ANOVA (analyse de variance) de l'effet de stress hydrique sur le poids de mille grains de la variété Bousselem.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	78,95594785	1	78,95594785	63,98418056	0,000203604	5,987377584
A l'intérieur des groupes	7,40395021	6	1,233991702			
Total	86,35989806	7				

ANNEXE 16: Résultats de l'étude statistique par le test ANOVA (analyse de variance) de l'effet de stress hydrique sur le poids spécifique de la variété Vitron.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	7,34747778	1	7,34747778	33,69595456	0,001146477	5,987377584
A l'intérieur des groupes	1,308313335	6	0,218052223			
Total	8,655791115	7				

ANNEXE 17 : Résultats de l'étude statistique par le test ANOVA (analyse de variance) de l'effet de stress hydrique sur le poids spécifique de la variété Bousselem.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	0,610457251	1	0,610457251	2,501119617	0,16485027	5,987377584
A l'intérieur des groupes	1,464441558	6	0,244073593			
Total	2,074898809	7				

ANNEXE 18: Résultats de l'étude statistique par le test ANOVA (analyse de variance) de l'effet de stress hydrique sur la le taux de cendre de la variété Vitron.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	0,022422068	1	0,022422068	5,403188226	0,035654326	4,600109908
A l'intérieur des groupes	0,058096985	14	0,004149785			
Total	0,080519053	15				

ANNEXE 19: Résultats de l'étude statistique par le test ANOVA (analyse de variance) de l'effet de stress hydrique sur le taux de mitadin de la variété Vitron.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	242	1	242	30,9755154	0,001425423	5,987377584
A l'intérieur des groupes	46,87573334	6	7,812622223			
Total	288,8757333	7				

ANNEXE 20: Résultats de l'étude statistique par le test ANOVA (analyse de variance) de l'effet de stress hydrique sur le taux de mitadin de la variété Bousselem.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	644,41577	1	644,41577	8,512848214	0,026711912	5,987377584
A l'intérieur des groupes	454,1951792	6	75,69919654			
Total	1098,610949	7				

ANNEXE 21 : Résultats de l'étude statistique par le test ANOVA (analyse de variance) de l'effet de stress hydrique sur le taux de gluten humide de la variété Vitron.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	530,8487528	1	530,8487528	45,2463602	0,000525256	5,987377584
A l'intérieur des groupes	70,39444727	6	11,73240788			
Total	601,2432001	7				

ANNEXE 22 : Résultats de l'étude statistique par le test ANOVA (analyse de variance) de l'effet de stress hydrique sur le taux de gluten humide de la variété Bousselem.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	52,88547013	1	52,88547013	31,56734424	0,001357608	5,987377584
A l'intérieur des groupes	10,05193273	6	1,675322122			
Total	62,93740286	7				

ANNEXE 23 : Résultats de l'étude statistique par le test ANOVA (analyse de variance) de l'effet de stress hydrique sur le taux de gluten sec de la variété Vitron.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	1066,171518	1	1066,171518	64,71501769	0,000197286	5,987377584
A l'intérieur des groupes	98,84922132	6	16,47487022			
Total	1165,020739	7				

ANNEXE 24: Résultats de l'étude statistique par le test ANOVA (analyse de variance) de l'effet de stress hydrique sur le taux de gluten sec de la variété Bousselem.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	115,8066977	1	115,8066977	40,12744484	0,000724169	5,987377584
A l'intérieur des groupes	17,31583431	6	2,885972385			
Total	133,122532	7				

ANNEXE 25: Résultats de l'étude statistique par le test ANOVA (analyse de variance) de l'effet de stress hydrique sur le taux de protéine de la variété Vitron.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	31,05232221	1	31,05232221	1,825521979	0,225378302	5,987377584
A l'intérieur des groupes	102,0606355	6	17,01010591			
Total	133,1129577	7				

ANNEXE 26 : Résultats de l'étude statistique par le test ANOVA (analyse de variance) de l'effet de stress hydrique sur le taux de protéine de la variété Bousselem.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	38,17763271	1	38,17763271	27,90305183	0,001861052	5,987377584
A l'intérieur des groupes	8,209345618	6	1,36822427			
Total	46,38697833	7				

ANNEXE 27 : Résultats de l'étude statistique par le test ANOVA (analyse de variance) de l'effet de stress hydrique sur le taux d'amidon de la variété Bousselem.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	686,573568	1	686,573568	30,68916857	0,001459861	5,987377584
A l'intérieur des groupes	134,231118	6	22,371853			
Total	820,804686	7				

ANNEXE 28 : les résultats de l'étude statistique par le test ANOVA (analyse de variance) de l'effet de stress hydrique sur le taux d'amidon de la variété Vitron.

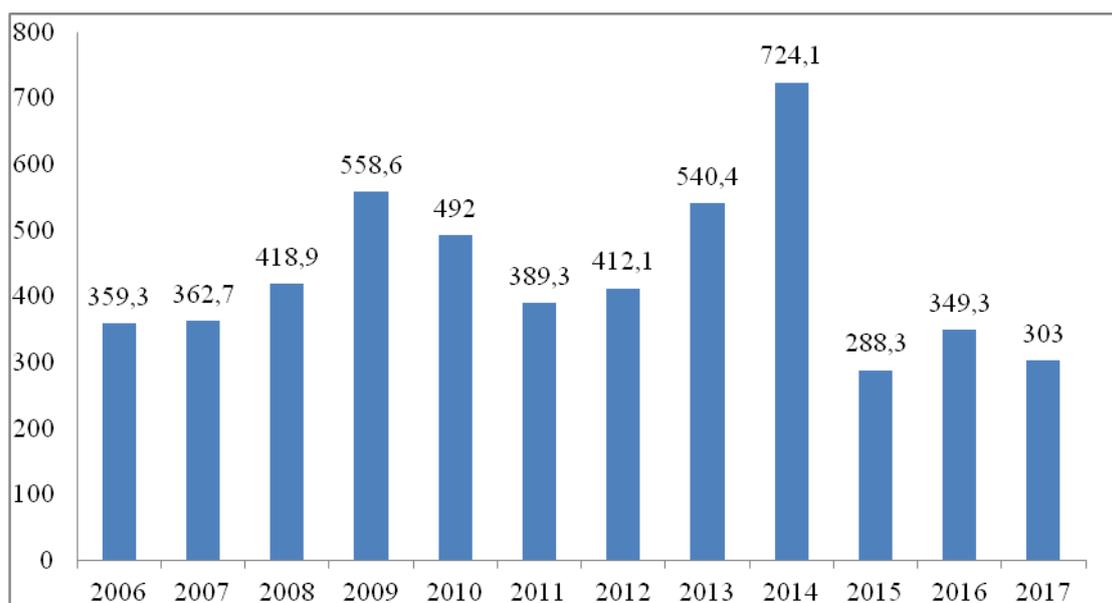
Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	322,8975781	1	322,8975781	16,64508897	0,006503263	5,987377584
A l'intérieur des groupes	116,3938188	6	19,39896979			
Total	439,2913969	7				

ANNEXE 29 : Données climatiques de la région de Tiaret (2006 – 2017)

ANNEXE 29 a : Données climatiques de la région de Tiaret (2006 – 2017), températures mensuelles et annuelles en °C de la région de Tiaret.

Année	JANV	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUILL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC	Total	MOY
2006	4	5.3	9.9	15	19.4	24	26.5	25	20.4	18.6	12.3	6.9	187.3	15.6
2007	6.6	8.7	7.8	11.2	16	21.7	27.2	26.1	22.1	15	8.9	5.7	177	14.8
2008	6.4	8.3	9.2	13.2	15.9	22	27.4	27.1	21.3	15.2	7.7	4.9	178.6	14.9
2009	5.5	9.8	5.4	9.4	17.9	23.5	27.9	26	19.5	16.5	12.4	9.4	183.2	15.3
2010	7.1	8.7	10.1	13	14.9	20.7	28	26.5	21.4	15.5	10	8.2	184.1	15.3
2011	7.3	6.1	9.4	14.6	17.3	21.5	25.9	27.4	22.6	16	11	6.8	185.9	15.5
2012	4.9	2.3	9.4	10.4	17.6	25.3	27.5	28.2	21.6	16.9	11.3	7.3	182.7	15.2
2013	6.1	5.1	9.5	11.7	13.6	19.9	25.6	25.2	20.9	20	8.6	6	172.2	14.4
2014	7.6	8.3	8.5	14.2	17.3	21	25.1	26	23.4	18.3	12.5	6.4	188.6	15.7
2015	6	5,0	9.3	15.6	19.5	21.3	27.7	27.4	21.7	17.3	10.9	8.4	161.5	13.5
2016	9	8,9	8.3	13.3	17.2	22.2	27.3	26	21.6	18.9	10.7	7.6	191	15.9
2017	4.2	8.4	10.7	13.9	20	25.5	28.3	27.5	21.2	16	9.8	5.6	177	16.1
Total	74.7	62.7	107.5	141.6	206.6	268.6	324.4	318.4	257.7	324.4	126.1	83.2	2169.3	182.2
MOY	6.2	7.0	9.0	12.9	17.2	22.4	27.0	26.5	21.5	17.0	10.5	6.9	180.8	15.2

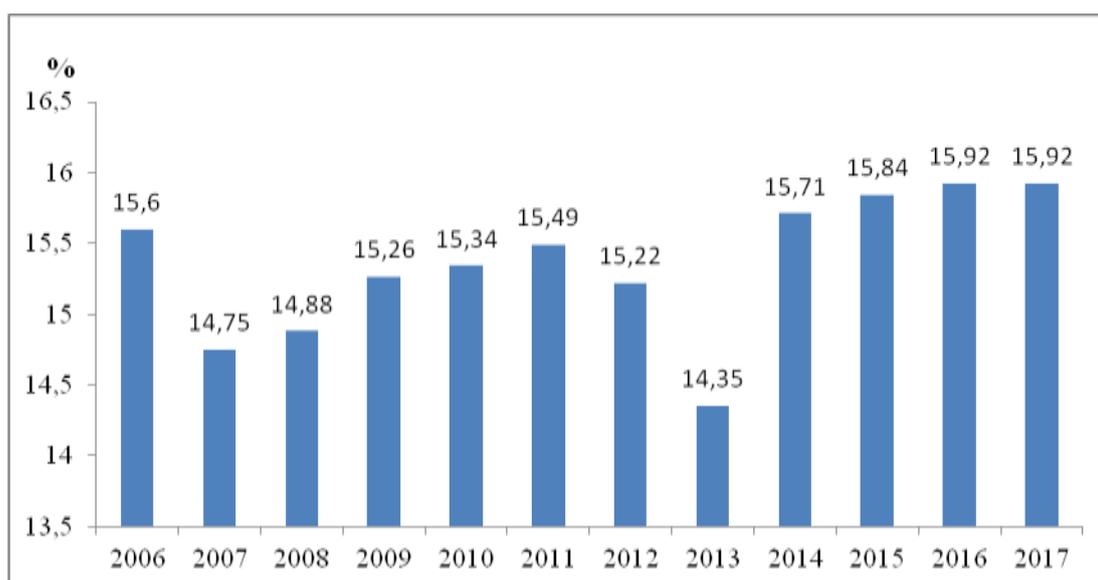
ANNEXE 29 b : Données climatiques de la région de Tiaret (2006 – 2017), quantités des précipitations annuelles sur la région de Tiaret en mm/an.



ANNEXE 29 c : Données climatiques de la région de Tiaret (2006 – 2017), vitesse de vent (km/h)

Année	JANV	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUILL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC	Total	moy
2006	3.5	4.1	4.5	3	3	3.5	2.3	2.5	3.1	2.2	3.4	2.9	38	5.8
2007	1.4	3.1	3.7	3	2.8	3.3	3	3.5	3.1	2.9	3.9	2.7	36.4	5.6
2008	2.7	2.9	4.7	3.7	4.5	3.1	4.1	3.6	3.9	4.6	5.3	5.4	48.5	7.5
2009	6.1	4	4.7	5	4.2	3.6	3.5	3.2	2.8	2.9	4.8	6.4	51.2	7.9
2010	6.7	6.6	4.4	3.2	3.8	3.6	2.2	2.3	2.7	3.6	4.8	5.1	49	7.5
2011	3.3	4.3	3.7	3.1	3	2.6	3.6	3.4	2.9	2.8	4.3	3.5	40.5	6.2
2012	3.1	3.9	3.6	5.6	2.6	3.3	3.6	3	3.4	4.7	4.4	3.9	45.1	6.9
2013	6.5	6.2	7.3	4.1	3.9	3.4	3.5	3.1	3.2	3.2	4	3.5	51.9	8
2014	5.4	6.1	5.4	4.1	3	3.5	3.3	3.3	3.4	3.3	5.5	4.5	50.8	7.8
2015	4.5	5.9	3.7	3.5	3.4	3.2	3.2	3.5	3.1	3.3	2.6	2.4	42.3	6.5
2016	4.3	5.8	4.7	3.6	3.7	3.4	3.4	2.4	2.5	3	4.3	2.6	43.7	6.7
2017	5	5	3.8	3.6	3.2	3.5	3.4	3.4	3.4	2.9	3.7	4.7	45.6	3.8
TOTAL	52.5	57.9	54.2	45.5	41.1	40	39.1	37.2	37.5	39.4	51	47.6	543	80.2
MOY	4.4	4.8	4.5	3.8	3.4	3.3	3.3	3.1	3.1	3.3	4.3	4.0	45.25	6.7

ANNEXE 29 d : Données climatiques de la région de Tiaret (2006 – 2017), humidité moyenne annuelle en (%) de la station de Tiaret (ONM, 2019)



ANNEXE 30: Humidité du sol étudié durant les stades végétatifs de la culture.

Humidité du sol %	Sol nu	Sol associé à une culture de blé dur non irriguée	Sol associé à une culture de blé dur irriguée à 50%	Sol associé à une culture de blé dur irriguée à 100%
Stade levé	10,33	9,33	8,33	8,66
Stade tallage	10,33	10	20,33	30,33
Stade montaison	6	5,87	14,94	14,35
Stade épisaison	6	4,96	13,51	16,12
Stade remplissage	6,8	5,44	10,89	15,01
La fin de la culture	8	6,8	8,43	6,2

ANNEXE 31: Humidité du produit de mouture de blé dur des deux variétés Vitron et Bousselem (cultures irriguée et non irriguée).

Taux d'humidité du produit de mouture %		T1= 92 unité/ ha	T2= 115 unité/ ha	T3= 138 unité/ha	T4= 184 unité/ ha
Humidité de produit de mouture de blé dur Vitron	culture non irriguée	11,5506	11,4233	11,6893	11,4146
	culture irriguée	11,214	11,0786	11,124	11,204
Humidité de produit de mouture de blé dur Bousselem	culture non irriguée	11,876	11,958	12,384	12,255
	culture irriguée	11,9846	11,9313	11,9593	11,6106

ANNEXE 32 : Poids de mille grains des deux variétés Vitron et Bousselem (cultures irriguée et non irriguée).

Poids de mille grains (g)		T1= 92 unité/ ha	T2= 115 unité/ ha	T3= 138 unité/ha	T4= 184 unité/ ha
Poids de mille grains / variété Vitron	culture non irriguée	41,5537	44,8338	46,6503	50,1336
	culture irriguée	49,8483	51,0434	51,6821	54,5142
Poids de mille grains / variété Bousselem	culture non irriguée	42,6679	43,5948	43,9905	44,4754
	culture irriguée	48,0717	50,0201	50,4581	51,3113

ANNEXE 33 : Poids spécifique des deux variétés Vitron et Bousselem (cultures irriguée et non irriguée).

Poids spécifique kg /hl		T1= 92 unité/ ha	T2= 115 unité/ ha	T3= 138 unité/ha	T4= 184 unité/ ha
Poids spécifique / variété Vitron	culture non irriguée	79,0666	79,1333	79,8666	80,3666
	culture irriguée	81,3333	81,3333	81,7	81,7333
Poids spécifique/ variété Bousselem	culture non irriguée	79,3033	79,32	79,4133	80,1

	culture irriguée	79,6066	79,6233	80,2933	80,8233
--	-------------------------	---------	---------	---------	---------

ANNEXE 34 : Taux de cendre de blé dur des deux variétés Vitron et Bousselem (cultures irriguée et non irriguée).

Taux de cendre %		T1= 92 unité/ ha	T2= 115 unité/ ha	T3= 138 unité/ha	T4= 184 unité/ ha
Taux de cendre/ variété Vitron V1	culture non irriguée V1	0,81026	0,852	0,84481	0,85166
	culture irriguée V1	0,81232	0,80629	0,82447	0,82931
Taux de cendre/ variété Bousselem V2	culture non irriguée V2	0,70233	0,67245	0,66948	0,66013
	culture irriguée V2	0,85863	0,84126	0,85368	0,83612

ANNEXE 35 : Taux de mitadin de blé dur des deux variétés Vitron et Bousselem (cultures irriguée et non irriguée).

Taux de mitadinage %		T1= 92 unité/ ha	T2= 115 unité/ ha	T3= 138 unité/ha	T4= 184 unité/ ha
Taux de mitadinage / Variété Vitron	culture non irriguée	20,5	19,6666	18,8333	14,8333
	culture irriguée	11	9	5,1666	4,6666
Taux de mitadinage /variété Bousselem	culture non irriguée	50,5	41,6666	34,8333	30,8
	culture irriguée	30,666	27,3333	14,5	13,5

ANNEXE 36 : Taux de gluten sec/humide de blé des deux variétés Vitron et Bousselem (cultures irriguée et non irriguée).

Taux de gluten humide/sec %		T1= 92 unité/ ha	T2= 115 unité/ ha	T3= 138 unité/ha	T4= 184 unité/ ha
Taux de gluten sec de blé dur V1	culture non irriguée V1	6,707	7,7913	8,0102	8,4233
	culture irriguée V1	10,8756	12,1326	13,9886	14,504
Taux de gluten humide de blé dur V1	culture non irriguée V1	21,7053	24,4616	24,4616	26,7403
	culture irriguée V1	35,2306	38,936	43,7573	44,6123
Taux de gluten sec de blé dur V2	culture non irriguée V2	10,7696	11,123	14,599	15,4736

	culture irriguée V2	20,459	20,4496	20,5783	20,916
Taux de gluten humide de blé dur V2	culture non irriguée V2	35,0913	37,109	45,704	45,935
	culture irriguée V2	62,8456	64,071	64,341	64,9363

ANNEXE 37 : Taux de protéine de blé dur des deux variétés Vitron et Bousselem (cultures irriguée et non irriguée).

Taux de protéine %		T1= 92 unité/ ha	T2= 115 unité/ ha	T3= 138 unité/ha	T4= 184 unité/ ha
Taux de protéine/ variété Vitron V1	culture non irriguée V1	18,2618	20,3809	21,3094	30,0475
	culture irriguée V1	15,5714	17,4761	19,4052	21,7856
Taux de protéine/ variété Bousselem V2	culture non irriguée V2	14,8095	15,4761	15,738	17,261
	culture irriguée V2	10,3333	10,499	11,9047	13,0713

ANNEXE 38: Taux d'amidon de blé dur des deux variétés Vitron et Bousselem (cultures irriguée et non irriguée).

Taux d'amidon %		T1= 92 unité/ ha	T2= 115 unité/ ha	T3= 138 unité/ha	T4= 184 unité/ ha
Taux d'amidon % / Variété Vitron V1	culture pluvial / V1	51,74	45,01	44,51	37,8
	culture irrigué / V1	29,925	27,25	26,26	21,513
Taux d'amidon % / Variété Bousselem V2	culture pluvial / V2	43,955	37,17	36,08	30,475
	culture irrigué / V2	27,25	26,015	22,26	21,33

ANNEXE 39 : Composition des milieux de cultures des différents germes microbiens.

Actinomycètes :

Saccharose.....	10 g
Glutamate de Na.....	10 g
K ₂ H ₂ PO ₄ ou Na ₂ HPO ₄	01 g
Gélose ou l'Agar.....	15 g
Eau distillée.....	1000 ml.

Champignons (milieu CZA pek) :

NaNO ₃	03 g
K ₂ HPO ₄	01 g
MgSO ₄	0,5 g
KCl.....	0,5 g
Saccharose.....	30 g
Gélose ou l'Agar.....	15 g
Eau distillée.....	1000 ml.

Azotobacters (milieu Ashby) :

Glucose.....	10g
K ₂ HPO ₄	0,2g
MgSO ₄	0,2g
K ₂ SO ₄	0,1g
CaCO ₃	0,05g
Gélose ou l'Agar.....	15g
Eau distillée.....	1000ml

Bactéries aérobies :

Glucose ou saccharose.....	10g
K ₂ HPO ₄ ou Na ₂ HPO ₄	0,5g
MgSO ₄	0,2g
Glutamate de Na.....	1,5g
CaCO ₃	0,2g
Gélose ou l'Agar.....	15g
Eau distillée.....	1000ml

Ammonifiants:

Solution saline standard

H ₂ O.....	1000 ml
Na ₂ HPO ₄	5g
MgSO ₄	2,5g
NaCl.....	2,5g
Fe ₂ (SO ₄) ₃	0,05g
MnSO ₄	0,05g

50 ml de la solution saline standard

Asparagine 0,2g

Eau distillée 950ml

Nitrifiants :

Solution saline standard50ml
(NH₄)₂SO₄0, 5 ml
CaCO₃01g
H₂O distillée950ml

Dénitrifiants :

Solution saline standard50ml
NaNO₃..... 01g
CaCO₃..... 01g
Eau distillée..... 950ml

ANNEXE 40 : Matériel utilisé pour faire les analyses des paramètres de la qualité technologique
Brouilleur (1) ; balance de précision(2), étuve (3), dessiccateur (4), plaque chauffante (5), Niléma-litre (6).



ANNEXE 41 : Cultures de blé dur étudiées en plein champ (culture irriguée à 100 % à la capacité au champ, culture irriguée à 50 % à la capacité au champ et culture soumise au stress hydrique).



**Culture irriguée
à 100% à la
capacité au
champ.**

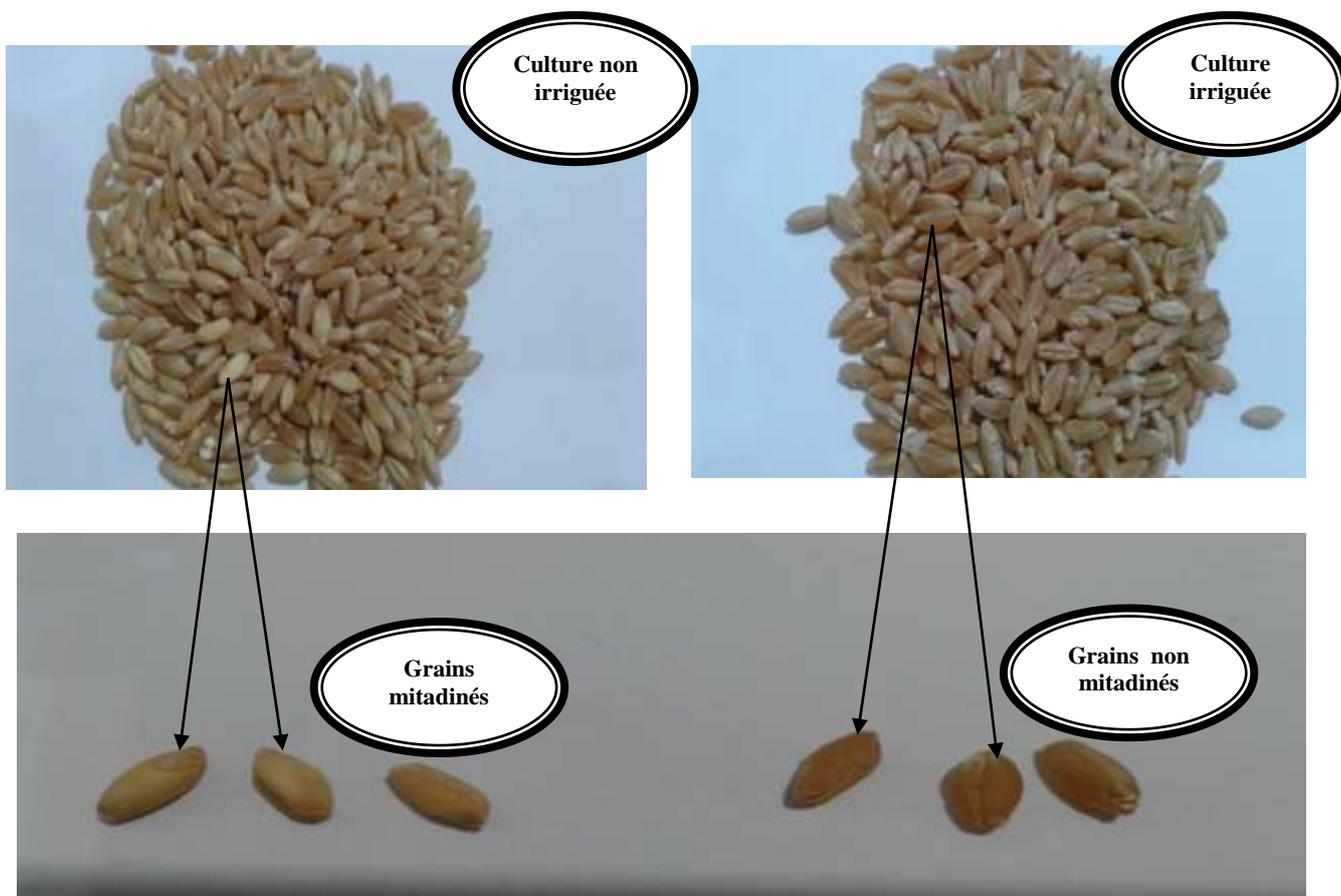


**Culture irriguée
à 50 % à la
capacité au
champ.**

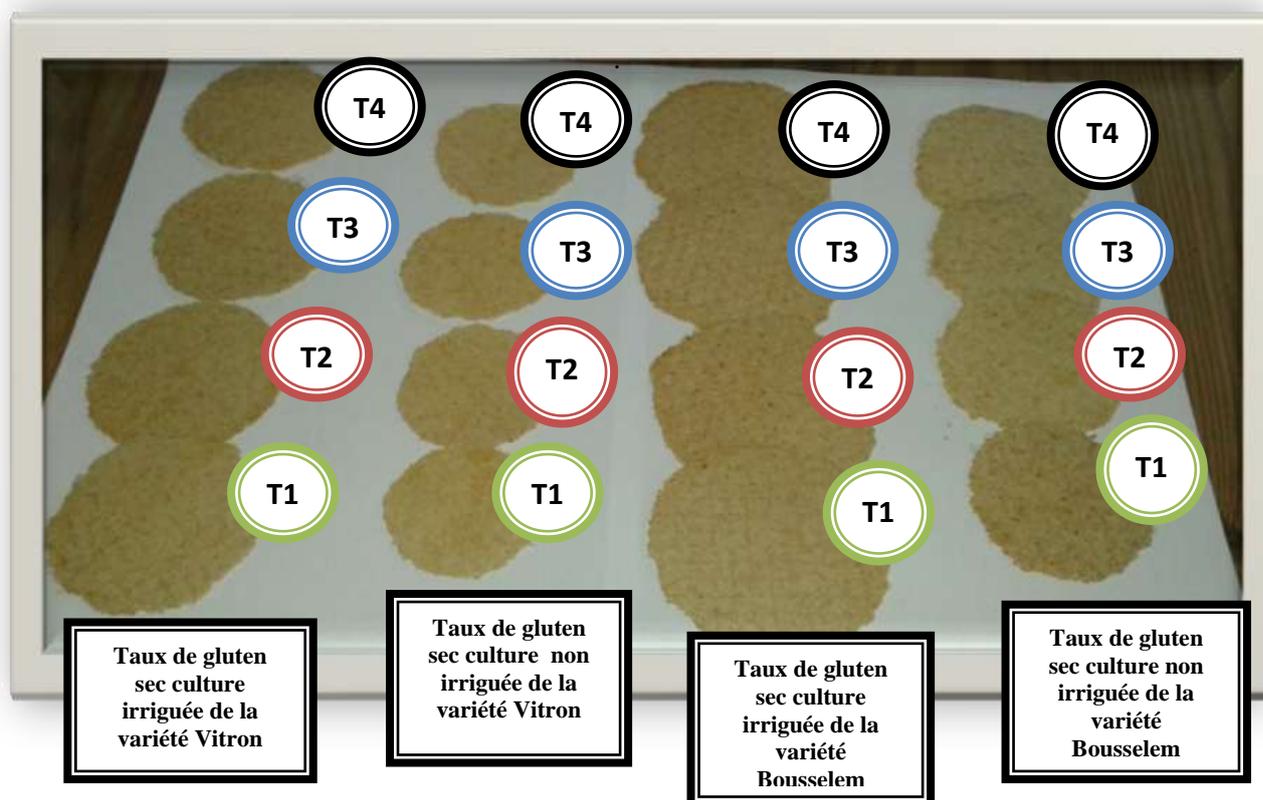


**Culture soumise
au stress
hydrique.**

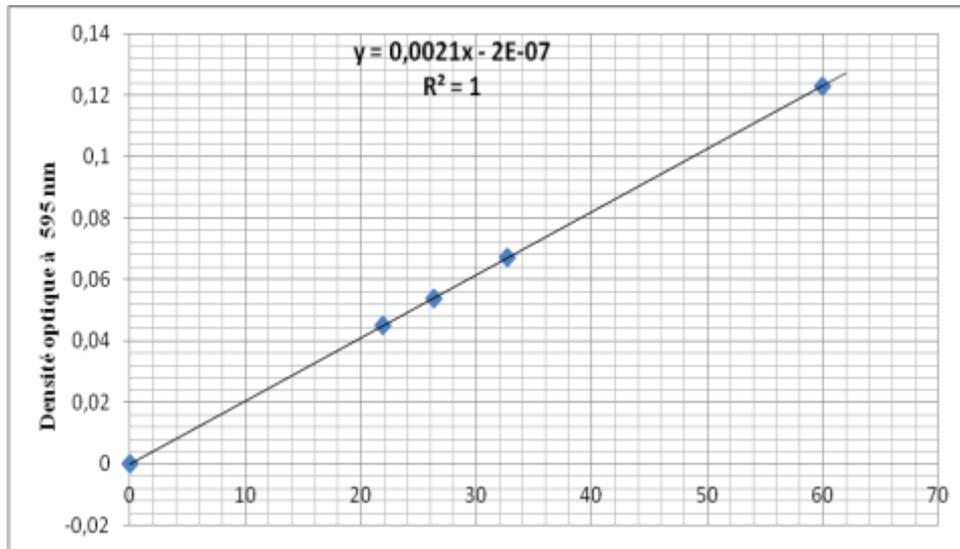
ANNEXE 42 : Aspect macroscopique des grains issus de deux cultures : irriguée et non irriguée et amendées en azote.



ANNEXE 43: Taux de gluten sec des deux variétés Vitron et Bousselem (cultures irriguée et non irriguée).



ANNEXE 44 : courbe d'étalonnage pour le dosage spectrophotométrique des protéines (100g/l)



ANNEXE 45: Mode opératoire et courbe d'étalonnage pour le dosage spectrophotométrique d'amidon (g/l)

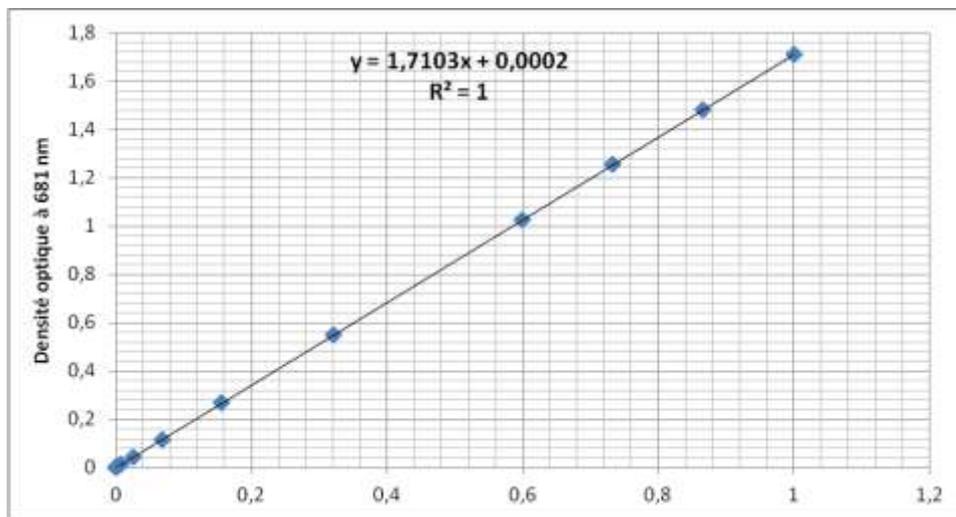
Établir la courbe standard d'amidon

Les courbes de calibration sont faites à partir de différentes solutions d'amidon de concentrations connues dont on mesure l'absorbance à 681 nm après avoir ajouté la solution d'iode. Afin d'établir la courbe standard de la solution d'amidon, on prend la solution d'amidon qu'il est fait selon les procédures mentionnées avant et on fait une série de différentes concentration dans un ballon de 50 ml, puis on ajoute 5 ml de HCl 6 N et 2 ml de la solution iodée (1 g/l h et 7 g/l KI) et compléter au trait de jauge avec l'eau distillée. Par la suite on mesure l'absorbance avec le spectrophotomètre UV-Visible à 681 nm avec la cuve classique en verre de 10 mm.

Déduire la concentration d'amidon inconnue

- Prendre 1.3 g de pâte sèche;
- Ajouter une certaine quantité d'eau pour que le système ait 43.3 ml au total, parce qu'il faut préparer la consistance de la pâte à 3%, donc si on prend 1.3 g de pâte sèche, ça prends 43.3 g d'eau, soit 43.3 ml d'eau ;
- Agiter;
- Ajouter l'amidon aux concentrations suivantes: 0%, 0.5 %, 1 % et 1.5 %;
- Attendre 30 secondes (temps de rétention);

- Ajouter 25 ml de la solution tampon (1 g/l I2 et 7g/l KI, 18 mUl acide acétique);
- Filtrer dans un filtre Büchner en Pyrex; 35
- À l'aide d'un erlenmeyer à vide ; connecter au filtre Büchner en Pyrex, évacuer l'eau du système de façon à obtenir une garniture sur le tamis du réservoir;
- Placer la feuille sur une plaque métallique et laisser sécher pour quelques jours;
- Récupérer l'eau blanche et transférer dans un ballon volumétrique de 50 ml, compléter au trait de jauge et mesurer l'absorbance à 681 nm.
- Déduire la concentration d'amidon dans le filtrat correspondante à l'aide de la courbe de calibration.



ANNEXE 46 : Table de Mac Grady

Tableau 3. Table de Mac Grady

Deux tubes par dilution		Trois tubes par dilution					
Nombre caractéristique	NPP	Nombre caractéristique	NPP	Nombre caractéristique	NPP	Nombre caractéristique	NPP
000	0,0	000	0,0	201	1,4	302	6,5
001	0,5	001	0,3	202	2,0	310	4,5
010	0,5	010	0,3	210	1,5	311	7,5
011	0,9	011	0,6	211	2,0	312	11,5
020	0,9	020	0,6	212	3,0	313	16,0
100	0,6	100	0,4	220	2,0	320	9,5
101	1,2	101	0,7	221	3,0	321	15,0
110	1,3	102	1,1	222	3,5	322	20,0
111	2,0	110	0,7	223	4,0	323	30,0
120	2,0	111	1,1	230	3,0	330	25,0
121	3,0	120	1,1	231	3,5	331	45,0
200	2,5	121	1,5	232	4,0	332	110,0
201	5,0	130	1,6	300	2,5	333	140,0
210	6,0	200	0,9	301	4,0		
211	13,0						
212	20,0						
220	25,0						
221	70,0						
222	110,0						

PUBLICATIONS

Effect of water stress on the density of rhizospheric fungi, Actinomycetes and Azotobacters associated with cereal cultivation

H. Marouane¹, K. Oulbachir², K. Acem³

^{1,2}Laboratory of Agro-Biotechnology and Nutrition in Semi-Arid zones, Faculty of Nature Sciences and Life, University of Tiaret, BP 78, 14000, Tiaret, Algeria.

³Laboratory of Plant Physiology Applied to Soilless Crops, Faculty of Nature Sciences and Life, University of Tiaret, BP 78, 14000, Tiaret, Algeria.

*Corresponding author E-mail: hanane.marouane@hotmail.com, oulbachir.k2019@gmail.com, kamel_acem@yahoo.fr

Received: 04.04.2021. Accepted: 04.05.2021.

The study evaluates the effect of water stress on the microorganisms biomass of the rhizosphere associated with cereal cultivation. The latter selects the most resistant germs to introduce them into the improvement of the system: soil-plant under water stress condition. The study of the effect of water deficit on the rhizospheric microbial biomass under a cereal crop (durum wheat) in situ reveals a reduction in the density of Actinomycetes, Azotobacters, and fungi. First, concerning the cultivated soil subjected to rainfall, the number of Actinomycetes gradually decreases from $25.5 \cdot 10^6$ germs/g to $3.33 \cdot 10^6$ germs/g. Whereas the cultivated soil irrigated at 50% to the field capacity, their number also decreases from $43 \cdot 10^6$ germs/g to $3.9 \cdot 10^6$ germs/g. The cultivated soil is irrigated at 100% to its field capacity; the density gradually decreases from $210 \cdot 10^6$ germs/g to $5.76 \cdot 10^6$ germs/g. Similarly, in the cultivated soil subjected to rainfall, the Azotobacters rate gradually decreases from $36 \cdot 10^6$ germs/g to $10.7 \cdot 10^6$ germs/g. Regarding the cultivated soil irrigated at 50% to field capacity, the density gradually decreases from $91 \cdot 10^6$ germs/g to $5.03 \cdot 10^6$ germs/g. In the cultivated soil that was 100% irrigated to the field capacity, the density gradually decreases from $1.3 \cdot 10^6$ germs/g to $2 \cdot 10^6$ germs/g. This reduction is achieved under humidity values close to the wilting point of loamy, sandy soil. The highest values were recorded at the vegetative stage: tillering. The study revealed that the effect of water stress on the evolution of fungi is less significant. There is a correlation between their density and some pedoclimatic parameters, which vary under water stress, such as the pH of the studied soil. It has been recorded that Actinomycetes were the least sensitive to water stress, unlike Azotobacters. Hence, they can be the most valuable microorganisms as auxiliaries for improving plant production, namely PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria).

Keywords: Water stress, microbial biomass, rhizosphere, durum wheat, Actinomycetes, fungi, Azotobacters, irrigation

Introduction

The biomass is the living matter quantity present in the soil; its stability results from a dynamic equilibrium. At any time, organisms are born, multiply and die. The microorganisms degrade the substrate, synthesize the new organic matter, and then, in turn, lysed. Their total number varies depending on environmental conditions and all external interventions (Davet, 1996). The qualitative and quantitative composition of biomass is one of the characteristics that help define a soil; moreover, this composition results in part from the physicochemical nature and structure of the soil. The maintenance of the biomass is ensured by the nutritional contributions coming from the vegetation (Carnaulet, 2015).

Plant productivity depends on the climate, and the richness of the soil with elements that the plant can assimilate. Therefore, it is partly conditioned by the adequate recycling of the organic matter: an ecosystem, natural or cultivated, only functions normally if microbial life is active (Davet, 1996). Nowadays, another problem is posed, threatening the whole world: Global warming, which induces drought by causing water stress, which attacks plant production (Lepoivre, 2003). One billion hectares are threatened worldwide, including 3.2 million in Algeria (Belkhdja & Bidai 2004). The irregularity of the drought impacts plants that depend on its intensity and the time of its onset (Lopez et al., 2003). The cereal region of Algeria is located mainly in the interior plains and high plateaus, where the constant water shortage significantly limits the productive potential of the main cultivated grains. Among the latter, durum wheat dominated the crops for several reasons (Adda et al., 2013).

Plant Growth Promoting Bacteria (PGPR) can improve the performance and resistance of plants under environmental stress. Under natural conditions, many parameters can influence the adaptive capacities of plants in the face of abiotic stresses. Among these, the physicochemical quality of the soil or the presence of microorganisms that can act on the availability of resources or the functioning of plants (Bresson, 2013). Agricultural practices are changing, heavy reliance on non-renewable inputs and intensification based on chemicals, such as pesticides, are gradually giving space to other forms of intensification based on natural biological processes and biodiversity to increase agricultural ecosystems (FAO, 2011).

Accordingly, various interactions in the rhizosphere exist between the soil, the plant, and the microorganisms (Gobat, 2010). This study evaluates the effect of water stress on the biomass of microorganisms in the rhizosphere associated with cereal cultivation.

Such evaluation helps select the most stress-resistant microorganisms for using them to improve the soil and the plant under stress conditions (Carnavalet, 2015).

Materials and methods

Experimental site

The experiment was carried out at the "Technical Institute of Great Cultures" of Dahmouni, Wilaya of Tiaret, which is part of the high cereal plains of western Algeria. The climate is the semi-arid Mediterranean with a mean annual temperature of around 15.4°C and an annual rainfall of 410 mm. Water stress in this area is one of the major problems that minimize plant production (Benouadah et al., 2020).

The studied cereal crop is the durum wheat crop composed of two varieties; Vitron (V1) and Bousselem (V2).

Water stress

From the emergence stage to the filling stage to the end of the crop, the effect of the water stress is determined by a comparative study between an irrigated crop at field capacity (50%, 75%, and 100%) and a crop of the same varieties subjected to rainfall. Water stress in the studied area is one of the significant problems that minimize plant production. In this study, the water stress sets naturally during the vegetative stages of bolting and filling are confirmed by the drop in yield parameters (Gallais, 1992) and (Carnavalet, 2015).

The experimental device

The experimental device adopted is the randomized complete block, composed of four blocks; each one contains three plots, each subjected to four nitrogen treatments; T1, T2, T3, and T4. These blocks are classified as follows: (Fig. 1).

- A pluvial block subjected to rainfall.
- An irrigated block at 50% of the field capacity.
- An irrigated block at 75% of the field capacity.
- An irrigated block at 100% of the field capacity.

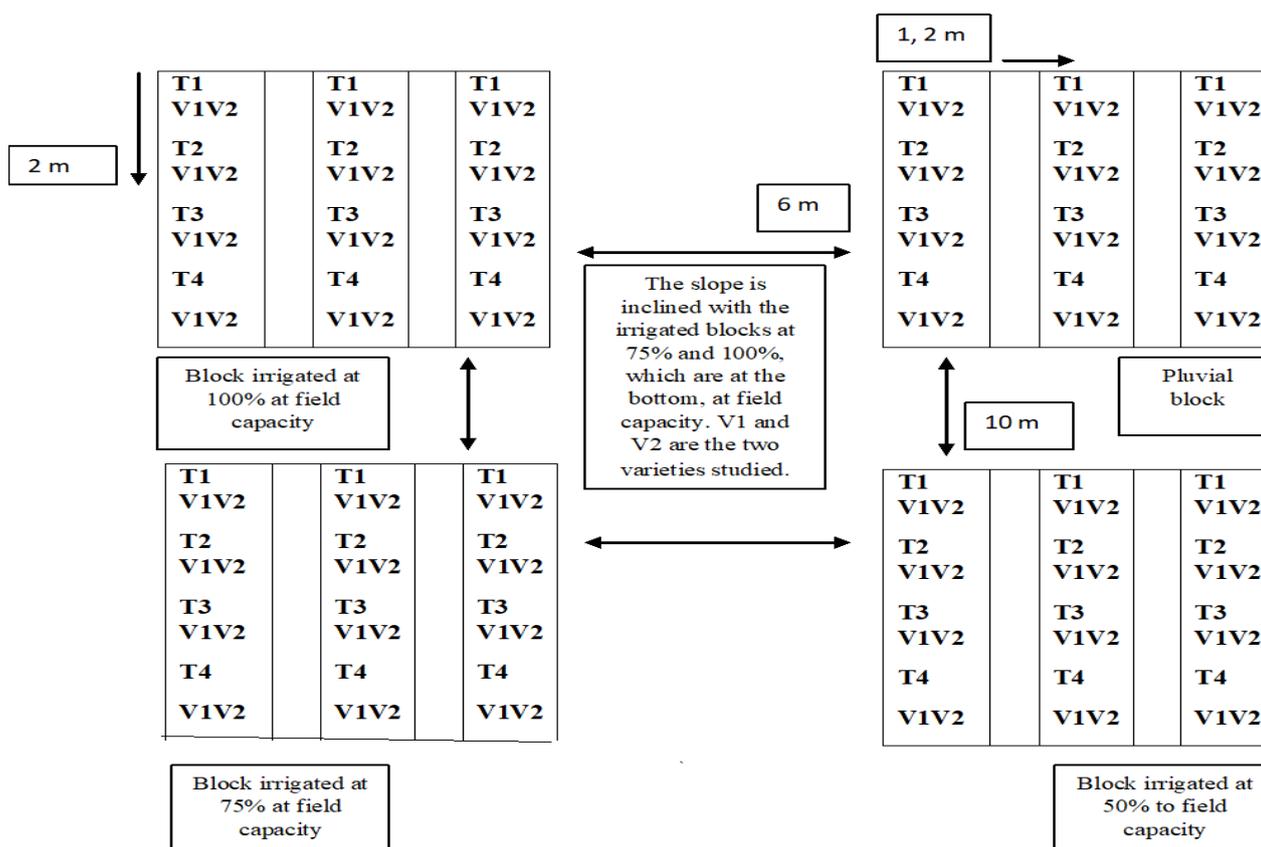


Fig. 1. Diagram of the experimental device.

Soil

The soil was taken from the surface horizon (0-20 cm), dried, crushed, and then sieved at 2 mm (Clément, 1998) (Baize, 2018). During each vegetative stage, a sample is taken randomly from each plot of the adopted experimental device.

Soil analyses:

Granulometry

It was determined by the international Robinson's pipette method, which consists of repeatedly taking samples of the suspension at a fixed height (Baize, 2000).

Physico-chemical parameters of the soil:

The physicochemical analyses were carried out according to (Baize, 2000, and 2018)

Humidity:

Soil moisture was determined by weight loss after drying at 105 ° C (Baize, 2000).

pH water:

The pH was measured by a HANNA type pH meter.

Total limestone (total carbonates):

Most often, this value is determined by a "volumetric calcimeter".

Electrical conductivity:

It was measured by the conductometric method.

Carbon and organic matter:

The organic carbon content was determined by the Anne method.

Microbiological study of the soil:

The method for evaluating Actinomycetes, Azotobacters, and fungi: Indirect counting in a solid medium: The principle is to spread the agar nutrient medium on the surface of the boxes with a measured quantity of suspension-dilutions of soil. After that, the count of the colonies, which appeared after seven days of incubation, would be conducted (Calvet, 2003) and (Prescott, 2018).

Data analysis

The obtained results were subjected to analysis of variance (ANOVA) at a probability level of 5%.

Results**Granulometry**

The studied soil has a sandy loam texture. This texture is confirmed by several studies carried out in the same region. The area of this study is recognized by the high rate of silt (Oulbachir, 2010); this texture determines soil properties, related to the water state (Gobat, 2010) (Table 1).

Table 1. Water properties of the studied soil.

The apparent density g/cm ³	Moisture to the field capacity (%)	Moisture to the field capacity (mm)	Moisture at the wilting point (%)	Moisture at the wilting point (mm)	The valuable reserve UR (mm)
1.32	19	50.16	9.66	25.5	24.7

Soil moisture

The statistical analysis shows that water stress affects soil moisture. This effect is confirmed by the comparative study between irrigated and non-irrigated crops subjected to water stress conditions (Table 2).

Table 2. Soil moisture level at the start of the study.

	Bare ground	Non-irrigated cultivated soil	Cultivated soil irrigated at 50% to the field capacity	Cultivated soil irrigated at 100% to the field capacity
Soil moisture rate (%)	10.33	9.33	8.33	8.33

As soon as water stress sets in, it is noticed that it significantly affects soil moisture ($p = 0.032$). The humidity gradually decreases from the start of the crop cycle until the end of the agricultural cycle, and the results are as follows:

The humidity of the soil where the crop is subjected to climatic conditions is 10% and then decreases to 5.44%; this value increases after a low rainfall synchronized with the end of the studied cereal cultivation at 6.8%.

The humidity of the soil where the crop is irrigated at 50% of the field capacity is 20.333% which decreases to 10.89%; this value decreases to 8.43% at the end of the studied cereal cultivation.

The soil moisture where the crop is irrigated at 100% of the field capacity is 30.33 3% which decreases to 15.01% and decreases to 6.2% at the end of the cultivation.

Physico - chemical parameters of the soil

Water stress affects the physicochemical parameters of the studied soil. This impact differs from one parameter to another. These parameters are related to each other and the density of soil microorganisms (Baize, 2018). The statistical study by correlation matrix shows a negative correlation between the humidity rate, the pH, and the total limestone. The total limestone rate is positively correlated with the pH and the electrical conductivity. The correlation of the PH is negative with organic matter. The pH has a negative correlation with the electrical conductivity and density of fungi. Soil microorganisms have a positive correlation with soil moisture level and organic matter level. It should be noted that the physicochemical parameters of the soil vary with the variation of the vegetative stages (the emergence stage, tillering, stemming/heading, and filling). The results are presented in Table 3 (Fig. 2).

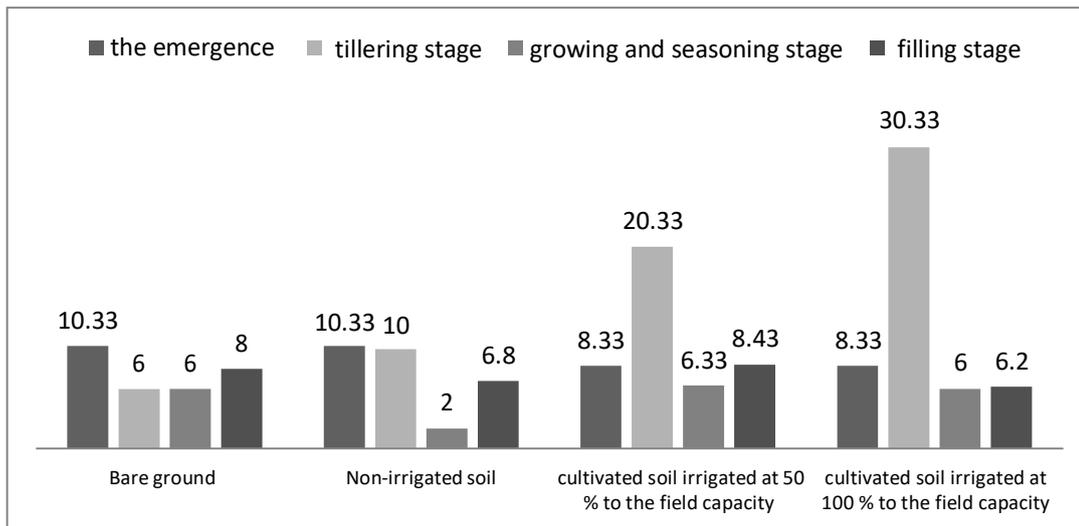


Fig. 2. Effect of water stress on soil moisture (horizon 0-20 cm from the rhizosphere).

Table 3. Correlation matrix between soil parameters and soil microorganisms under water stress.

	Humidity %	Total limestone %	pH	Electrical conductivity $\mu\text{S/cm}$	Organic material %	Azotobacters germ/g of soil	Actinomycetes germ/g of soil	Fungi germ/g of soil
Humidity %	1							
Total limestone %	-0.153368113	1						
pH	-0.277978742	0.653855226	1					
Electrical conductivity $\mu\text{S/cm}$	0.03200541	0.288334018	0.528549122	1				
Organic material %	0.315313416	-0.602980268	-0.867889989	-0.548709913	1			
Azotobacters germs/ g of soil	0.483279569	0.07041373	0.168183148	-0.005772979	7.20115E-06	1		
Actinomycetes germs/ g of soil	0.738117445	0.044652368	0.183477973	0.042506617	0.027649321	0.645795453	1	

Value > 1 no correlation, value < 1 There is a correlation, (+) the correlation is positive, (-) the correlation is negative.

Effect of water stress on the density of soil microorganisms

The soil moisture affected by water stress has a significant effect on Actinomycetes ($p = 0.01$). For the bare soil, their number gradually decreases by $10.6 \cdot 10^6$ germs/g of soil to $9.25 \cdot 10^6$ germs/g. Concerning the soil cultivated under rainfall, the density gradually decreases from $25.5 \cdot 10^6$ germs/g to $3.33 \cdot 10^6$ germs/g. Concerning the cultivated soil irrigated at 50% to the field's capacity, the density decreases from $43 \cdot 10^6$ germs/g to $3.9 \cdot 10^6$ germs/g. While the cultivated soil 100% irrigated at field capacity, the number also decreases, from $210 \cdot 10^6$ germs/g to $5.76 \cdot 10^6$ germs/g.

Moreover, the number of Actinomycetes in bare soil is less than the number of cultivated soil. Thus, the number of the irrigated soil is more significant than non-irrigated soil. The highest density is reported during the vegetative tillering stage.

It has been noticed that the humidity of the soil affected by water stress has a highly significant effect on Azotobacters ($p = 0.0007$). Regarding the bare soil, Azotobacters number gradually decreases by $18.6 \cdot 10^6$ germs/ g of soil up to $2.2 \cdot 10^6$ germs/g. The cultivated soil subjected to rainfall, their number gradually decreases from $36 \cdot 10^6$ germs/g to $10.7 \cdot 10^6$ germs/g. Regarding the cultivated soil irrigated at 50% of the field's capacity, the density also gradually decreases from $91 \cdot 10^6$ germs/g to $5.03 \cdot 10^6$ germs/g. The cultivated soil is irrigated at 100% of the field's capacity; their number also decreases gradually from $5 \cdot 10^6$ germs/g up to $2 \cdot 10^6$ germs/g (Tables 4 and 5).

The number of Azotobacters in bare soil is lower than the cultivated soil number. The number in the irrigated soil is more than the number of Azotobacters in non-irrigated soil. After the humectation, the number of Azotobacters increases slightly. The highest number of Azotobacters is reported during the tillering stage (Fig. 3 and 4).

Table 4. Result of the ANOVA analysis demonstrating the effect of humidity on Actinomycetes density.

Groups	Number of sample	Sum	Average	Variance
Humidity %	16	1,537,666,664	9,610,416,652	4,534,336,562
Actinomycetes germ/g	16	561840000	35115000	2.65E+20

Variance analysis :

Critical value for F	Source of variations	sum of squares	Degree of liberty	Average of squares	F	Probability
4.170876757	Between Groups	9.8645E+15	1	9.8645E+15	7.438960895	0.01056143
	Within groups	3.97818E+16	30	1.32606E+15		
	Total	4.96463E+16	31			

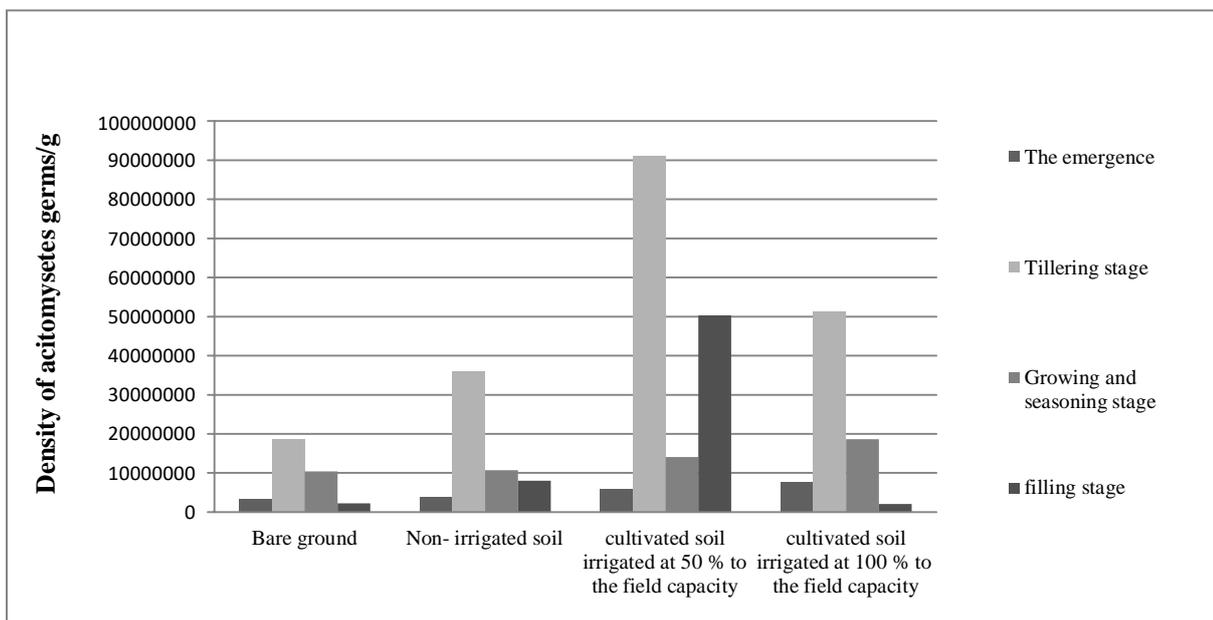


Fig. 3. Effect of water stress on the density of Actinomycetes.

Table 5. Result of the ANOVA analysis demonstrating the effect of humidity on Azotobacters density.

Groups	Number of samples	Sum	Average	Variance
Humidity %	16	153.7666664	9.610416652	45.34336562
Azotobacters germ/g	16	364030000	22751875	5.91674E+14

Variance analysis:

Source of variations	Sum of squares	Degree of liberty	Average of squares	F	Probability	Critical value for f
Between groups	4.14118e+15	1	4.14118e+15	13.99817209	0.000773085	4.170876757
Within groups	8.87511e+15	30	2.95837e+14			
Total	1.30163e+16	31				

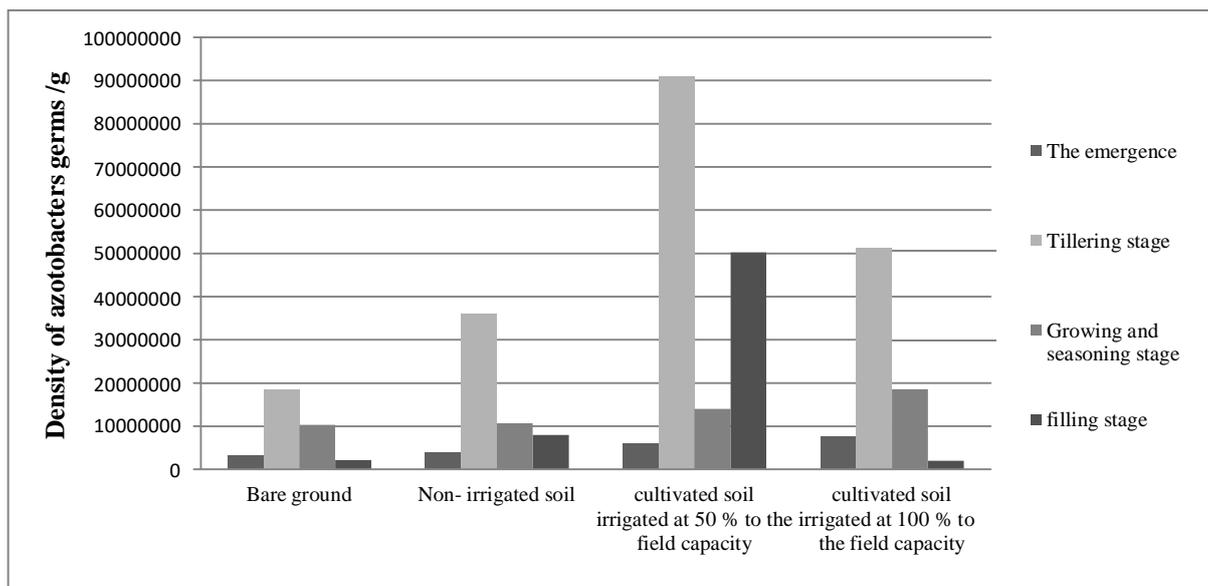


Fig. 4. Effect of water stress on the density of Azotobacters.

The effect of water stress on the density of fungi is small. However, the variation in their number (fungi) is correlated with other soil parameters affected by the water stress, such as pH, which is negatively correlated with these microorganisms (Fig. 5).

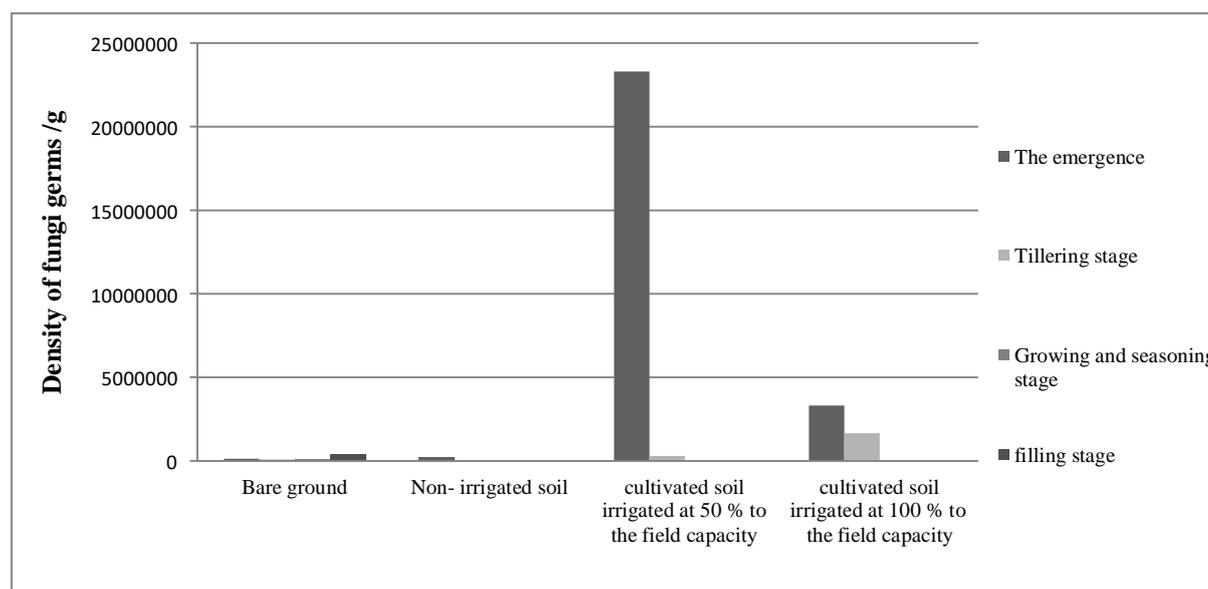


Fig. 5. Effect of water stress on the density of fungi.

Discussion

According to the obtained results, the study of the effect of water stress (deficit) on the rhizospheric microbial biomass of the cereal cultivation showed that the microbial biomass is sensitive to water stress indirectly. This was confirmed by the results and the statistical study, where it was noticed that soil moisture affected by water stress has a significant impact on Azotobacters and Actinomycetes. Hence, the density gradually decreases with decreasing the soil moisture induced by the stress (Calvet, 2003). Similarly, the number of Azotobacters and Actinomycetes increases with irrigation and decreases in its absence (the stress).

Intense desiccation always results in the death of large numbers of creatures. The intensity of this phenomenon increases with the amount of water that can be accessed, the duration of the drought period, and the temperature. The survival rate of microorganisms depends mainly on their physiological state. The youngest and most active fraction of the biomass, which was in the exponential phase of growth at the time of dehydration, is the most vulnerable. The fraction produced in the stationary or dormant state is, on the contrary, affected slightly (Davet, 1996). The water regime of the soil depends directly on the properties of the soil, such as the texture, which determines the forces of water retention, the structure, and the porosity that define the volume of the water reservoir of the soil (Gobat, 2010). On the other hand, the impact of stress on fungi is less significant. According to (Calvet, 2003); the water content of the soil influences the activity of the microflora through its relationship to both the bioavailability of water and the aeration of the soil.

The recorded results also show that Actinomycetes are the least sensitive microorganisms to water stress, while Azotobacters are more sensitive to the decrease in humidity due to the water stress. These results are confirmed by (Davet, 1996), who mentioned that Actinomycetes and cyanobacteria are more resistant than average. Azotobacters, on the contrary, are very sensitive. Gram-negative bacteria, with thin walls, are generally less resistant than Gram-positive bacteria; this may explain the ability of Actinomycetes to resist stress because they are Gram-positive bacteria. According to Davet (1996) Bacteria are, on average, more sensitive than fungi. Their activity is low around the wilting point (-1.5 MPa), stops around - 6 to - 8 MPa, but there are substantial variations among taxonomic groupings.

In this study, it was noticed that the fungi are sensitive and affected by the decrease of water. Likewise, the number of Actinomycetes is negatively correlated with fungi, where Actinomycetes are linked to the absence of fungi. This was explained by the effect of Actinomycetes, which are known for their power to synthesize antibiotics and which have an essential antagonistic role against fungi (Davet, 1997).

The number of fungi is negatively correlated with the variation of the soil pH, which changes from neutral to alkaline. The acidic environments are the most favorable for the fungi. Alkalinity has a negative effect on fungi. However, pH can be considered to influence the microbial composition of the soil and specific aspects of the activity of microorganisms (Davet, 1997). It also plays a role in adhesion to clay particles (effect on the variation of surface electrical charges, microbial walls, absorption of minerals, and natural attraction between bacteria or conidia and clay particles). Fungi are generally predominant in acidic soils, while bacteria predominate in neutral or slightly alkaline soils (Davet, 1997). The change in pH indeed leads to multiple consequences, such as metabolite synthesis only taking place within very narrow pH limits, sporulation. Actinomycetes, which have an essential antagonistic role against fungi, are particularly sensitive to acidity. It is noticed that the variation of the pH values during this study changes from neutral 7.01 to alkaline pH values up to 7.8. Soil microorganisms can modify the pH through their action on mineral or organic compounds. Also, they can the biological oxidation of ammoniacal salts resulting in the formation of nitrates. By synthesizing organic acid, a wide variety of organic acids appears during the mineralization of organic matter. Some fungi have a very high acidifying power (Davet, 1997). The alkalization of the medium may be due to the hydrolysis of proteins and nitrogenous organic compounds in general (urea). The latter leads to the formation of ammonia, which raises the ambient pH.

The studied cultivation subjected to climatic conditions where there was a light rainfall at the end of the agriculture cycle caused an increase in certain microorganisms. The rewetting of dry soil causes a rapid resumption of activity, which for a few days is greater than the microbial activity in a sample of the same soil kept constantly moist (Gobat, 2010). Also, water stress has a significant effect on the productivity of the studied crop. It causes a drop in the yield confirmed by the variations in yield parameters between an irrigated and non-irrigated crop (Gallais, 2015).

It was noted that there is a relationship between the evolution of the vegetative stages of the studied durum wheat cultivation (emergence, tillering, bolting, and heading, flowering and filling) and the density of microorganisms. A high number of Azotobacters and Actinomycetes were noticed during the tillering stage compared to the other vegetative stages such as bolting/heading and the filling stage. The lowest rates were recorded at the emergence stage. These results are consistent with those found by (Davet, 1996), who presented a similar study on the variation of the soil microorganism's number in the rhizosphere associated with durum wheat cultivation. The intense activity of photosynthesis recognizes the tillering stage. This activity is more intense for irrigated crops than non-irrigated crops. This explains the increase in the number of microorganisms during the tillering stage. During the other stages, when the plant exhibits a decrease in photosynthetic activity, a decrease in microorganisms is noticed. It is apparent that at the tillering stage, each microbial germ reaches its maximum. Similar results have been obtained in previous works (Oulbachir, 2010).

Water stress affects the physicochemical parameters of the soil. There is a correlation confirmed statistically by the correlation matrix between the studied set of parameters such as the correlation between the rate of humidity and total limestone, the rate of limestone and pH, the rate of organic matter and density of soil microorganisms, the rate of organic matter and vegetative stages. This is illustrated by the set of interactions responsible for maintaining the ecosystems (Baize, 2018). These correlations explain all of the variations in the growth of the living soil organisms, as there are interactions between all abiotic and biotic soil components. The rate of organic matter gradually decreases with the growth of the crop and the vegetative stages. Meager rates of organic matter have been noticed at the end of the planting cycle. These rates were low in the cultivated soil; lower than the bare soil rates. Also, they were low for the irrigated crop; lower than the non-irrigated crops. The statistical study, via the correlation matrix, shows a positive correlation between the rate of organic matter and the number of most soil microorganisms. Organic matter is the source of nutrition for plants and soil microorganisms regardless of its origin (Raven, 2009).

Conclusion

Water stress affects the rhizospheric microbial biomass, the soil parameters, and the plant production of cereal cultivation. This effect results from the disturbance of all the biotic and abiotic components of the soil, where there is a set of interactions between soil, plant, and microorganisms.

- The study of these microorganisms' behavior in association with the plant under conditions of water stress can help choose the auxiliary microorganism PGPR the most resistant to lack of water. Antagonistic at pathogenic microorganisms in the soil is capable of transforming organic matter.
- Soil parameters vary under water stress conditions. Their variation influences microbial life and plant production.
- It should be noted that there is an impact of variations in pH values on the number of fungi. This variation is due to the biological activity of all bacteria and the variation in soil parameters under water stress conditions.
- Altered plant production due to water stress can affect the microbial life of the rhizosphere; vice versa, the microbial life in the soil influences plant production.

The obtained results are used favorably to improve plant production by changing organic matter and its availability and protecting the plant against pathogenic germs that affect it such as fungi to minimize the use of phytosanitary products. These remarks can be beneficial for improving plant production in a sustainable biological way through the use of beneficial microorganisms in the phytoprotection and the evolution of organic matter. Also, they are helpful to control the conditions of water stress for the plant. Furthermore, they facilitate the choice of the most favorable conditions for plant production by monitoring the variations in the physicochemical parameters of the soil under water stress. Other in-depth studies must confirm this study over several years and on several types of durum wheat or plants in order to obtain very accurate and applicable results to ensure human nutrition and to preserve his environment.

Acknowledgements

We should like to extend our sincere thanks and deep appreciation for all those who contributed to the realization of this manuscript, particularly Mrs. Tiphaine Chevallier, Mrs. Bouabdelli Fatiha, and all engineers of the "Technical Institute of Great Cultures".

References

- Adda, A., Soualemi, S., Iabdelli, A., Sahnoun, M., Merah, O. (2013). Effect of water deficit on the structure of the piliferous zone of the seminal roots of durum wheat. *Ecologie-Environnement*, 9 : 1112-5888.
- Baize, D. (2018). Guide to soil science analyzes. Quae, Paris, 22-119.
- Baize, D. (2000). Guide to soil analyzes. INRA, Paris, 31- 58. Belkhdja, M., Bidai, Y. (2004). Response of *Atriplex halimus* L. seed germination under salt stress. *Drought review*, 4(15): 331-335.
- Benouadah, S., Oulbachir, K., Benaichata, L., Miara, M.D., Snorek, J. (2020). Evolution of the microbial population of cultivated soil with organic matter input under semi- arid conditions (Taret, Algeria). *Ukrainian Journal of Ecology* 10(3), 28-35.
- Bresson, J. (2013). Plant-microorganism interaction: Involvement of the rhizobacterium *Phyllobacterium brassicacerearum* in *Arabidopsis thaliana* responses. Université Montpellier II. Montpellier, 1-3.
- Calvet, R. (2003). Soil: properties and functions Volume 2 Physical and chemical phenomena Agronomic and environmental applications. INRA, Paris, 481.
- Carnavalet, C. (2015). Soil biology and sustainable agriculture and agroecology. Agricultural France, Paris, 10-211.
- Clément, M. (1998). Physical analysis of soils. Technical & Documentation, Paris, 5-29.
- Davet, P. (1996). Soil microbial life and plant production. INRA, Paris, 13-49.
- Davet, P., Francis, R. (1997). Detection and isolation of fungi from the soil. INRA, Paris, 35.
- FAO. 2011. <http://www.fao.org>. [Online] 2011. [Citation: October 18, 2019.] <http://www.fao.org/3/a-i1235f.pdf>.
- Gallais, A. (2015). Understand the improvement of plants, issues, method, objectives and selection criteria Paris. Quae, Paris, 147-148.
- Gallais, A., Bannerot, H. (1992). Improvement of cultivated plant species, objectives and selection criteria. INRA, Paris, 27.
- Gobat, J., Aragno, M., Matthey, W. (2010). The living soil: pedology-soil biology bases. Revised and augmented, Suisse, 52-64.
- Lepoivre, P. (2003). Phytopathology.. De Boek Université, Bruxelles, 23-27.
- Lopez, C.G., Banowetz, G.M., Peterson, C.J., Kronstad, W.E. (2003). Dehydrin expression and drought tolerance in seven wheat cultivars. *Crop Sci*, 43: 577-582.
- Oulbachir, K. (2010). Microbial ecology of soils under different particle size compartments and different bioclimatic floors. doctoral thesis in agronomy, University of Oran. Algeria, 51-55.
- Prescott, D., Willey, J., Sherwood, L., Woolverton, C. (2018). Prescott's Microbiology. [trad.] Joseleau, J.P., Perraud, R., Coyett, J. DeBoeck superieur, Paris, 637-642.
- Raven, P.H., Berg, L.R., Hassenzal D.M. (2009). Environment. De Boeck, Bruxelles, 56- 357.

Citation:

Marouane, H., Oulbachir, K., Acem, K. (2021). Effect of water stress on the density of rhizospheric fungi, Actinomycetes, and Azotobacters associated with cereal cultivation. *Ukrainian Journal of Ecology*, 11 (3), 14-21.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0. License



Available online freely at www.isisn.org

Bioscience Research

Print ISSN: 1811-9506 Online ISSN: 2218-3973

Journal by Innovative Scientific Information & Services Network



RESEARCH ARTICLE

BIOSCIENCE RESEARCH, 2021 18(3):2531-2540.

OPEN ACCESS

Combined effect of water deficit and nitrogen supply on some technological quality parameters of durum wheat varieties grown in a semi-arid zone of Algeria (Sebaine, Tiaret)

Hanane Marouane¹, Kamel Acem^{2*} and Karima Oulbachir¹

¹Laboratory of agro-biotechnology and nutrition in semi-arid zones, Faculty of Nature Sciences and Life, University of Tiaret, BP 78,14000, Tiaret, **Algeria**

²Laboratory of plant physiology applied to soilless crops, Faculty of Nature Sciences and Life, University of Tiaret, BP 78,14000, Tiaret, **Algeria**

*Correspondence: kamel_acem@yahoo.fr Received 11-07-2021, Revised: 16-09-2021, Accepted:17-09-2021 e-Published:19-09-2021

The aim of this study focused on the evaluation of the effect of water stress and nitrogen supply on some technological quality parameters of two durum wheat varieties (Vitron and Bousselem) grown in a semi-arid area of Algeria (Sebaine, Tiaret). The experimentation was carried out in two crops; one irrigated at 50% of the field capacity and the other unirrigated; each block is subdivided into three plots considered as repetition in which four nitrogen doses are applied: 92,115,138 and 184unit/ha. The technological quality parameters studied were thousand kernel weight, specific weight, gluten content (dry and wet) and proteins content. The results showed that the water deficit and the nitrogen fertilization caused a variation of the parameters relating to the technological quality of the studied durum wheat varieties, namely: a decrease of the weight of thousand grains, the specific weight and the rates of gluten (dry and wet) on the one hand and an increase of the proteins content on the other hand.

Keywords: Water deficit, nitrogen, technological quality, durum wheat, Tiaret, Algeria.

INTRODUCTION

According to Kovats et al. (2014), the Mediterranean and other South European regions are especially vulnerable to climate change, facing increased competition for water resources between different sectors (agriculture, industry, or domestic uses). Climate change accentuates the seasonal and interannual irregularity of temperature and precipitation, traits of the Mediterranean climate, making periods with high temperatures and water limitations more pronounced (Kovats et al.2014). The projections for the Mediterranean area are a gradual increase of temperature and a decrease in rainfall. Moreover, an increase in the frequency and

magnitude of extreme events of heat waves is also predicted (Olesen and Bindi, 2002).

Mediterranean countries, where durum wheat is largely cultivated, are characterized by dry and hot summers alternating with humid and temperate winters (Ercoli et al. 2008). The consequences of this climatic uncertainty in Mediterranean environments on wheat production will potentially lead to yield losses that may reach one-third of the current value (Trnka et al.2015).

In Mediterranean regions, the interannual yields of wheat are irregular and influenced by water availability and heat stress, and their occurrence in certain periods of the development

cycle (Olesen and Bindi, 2002 ; Olesen et al.2011).

The largest country in Africa, over 80% of Algeria's landmass is desert and only 3.5% arable land (WOH, 2016).The climate is arid to semi-arid and all regions, particularly the desert, experience high temperatures and little rain. In Algeria, average annual rainfall has decreased by over 30% in recent decades (INDC, 2015).Continued water shortages could exacerbate health vulnerabilities and increased temperatures and frequency of heat waves could result in heat stress and adverse health outcomes in vulnerable populations (WOH,2016).Wheat is the most important cereal crop in Algeria(Bensemmane et al. 2011 ; Abdelkader, 2014). It is a crucial source of carbohydrates, proteins, minerals and fibre for the mankind as well as animals, mainly processed as leavened or unleavened bakeries, compounds of food additives, or feedstuff (Hlisenikovsky et al. 2020). Wheat straw is an important material with many possibilities of utilisation, such as straw bedding, the compound of organic manures or a separate organic fertiliser (Yin et al. 2018), or primary material for bioenergy purposes (Townsend et al. 2018).In wheat production, providing water through supplemental irrigation and appropriate rate and time of N fertilizer application can be integral to stabilize yields, increase productivity, and to enhance the industrial quality of the grain (Fallahi et al. 2008 ; Blandino et al. 2015 ; Alghory and Yazar, 2018 ; Ul-Allah et al. 2018 ; Yu et al.2018).

The quality of durum wheat may be evaluated by more than one point of view: agronomical quality that influences potentiality and stability of grain yield; milling quality that influences semolina yield, ash content, humidity, and impurity of grains; technological quality that influences content of protein and gluten quantity and quality; hygienic and sanitary quality that are related to some phytopathological microorganisms or their secondary metabolites (Fagnano et al. 2012).

According to Bicego et al. (2019), grain quality parameters such as grain test weight, grain protein content, and falling number are important end-use quality indicators with marketing implications.

The wheat grain yield and its quality is however producers main concern, both parameters significantly affecting their economic situation ;to achieve the highest possible yields and grain quality, farmers can apply and combine wide range of agronomical measures, such as fertilisation with organic manures and mineral fertilisers (Li et al. 2018, Yin et al. 2018), crop rotation (López-Bellido

et al. 1998 ;Shahzad et al. 2016) and different production practices (López-Bellido et al. 1998 ; Wang et al. 2018).

The concentration of proteins in wheat grain is affected by genotype, soil-climate conditions and cropping practices. According to Shewry (2007), the protein content in wheat may vary from 7% to 22% and the genetic background is responsible for one-third of the content, which means that the rest is influenced by external factors. The lack of precipitation during the growing season leads to high protein content and increased vitreousness (López-Bellido et al. 1998 ; Rharrabti et al. 2003), while seasons with abundant precipitation provide grain with low content of proteins (Gürsoy et al. 2010 ; Flagella et al. 2010). As to fertilisation, grain protein content is influenced mostly by the application of nitrogen (Wieser and Seilmeier 1998 ; Johansson et al. 2001).

A worldwide agreement considers protein content and gluten quality the main factors that influence pasta quality (Sissons et al.2005 ; Cubadda et al.2007), but their relative weight depends on many factors, such as genotype, environment, and pasta processing conditions, like drying temperature (D'Egidio et al.1990 ; Novaro et al.1993).Many studies have relied on a single quality indicator, protein, which may not provide sufficient information to assess the potential impacts of N and water stress on bread quality (Panozzo and Eagles, 2000; Masci et al. 2000; Wang et al. 2008).Water deficit and high temperature are the main environmental factors affecting durum wheat grain quality under Mediterranean climate(Fagnano et al. 2012).However, field studies designed to evaluate wheat adaptation to optimized irrigation or fertilization are also very important (Patanita et al. 2019).In this context, the present study focused on the appreciation of the combined effect of water deficit and nitrogen fertilization on some parameters of the technological quality of two varieties of durum wheat (Vitron and Bousselem) cultivated in a semi-arid area from Algeria (Sebaine, Tiaret).

MATERIALS AND METHODS

2.1. Plant material

Two varieties (Vitron and Bousselem) of durum wheat introduced in the form of seeds were put in experimentation; these cultivars are identified and certified by the Technical Institute of the Field Crops (ITGC) at the experimental station of the

commune of Sebaine located at the Wilaya of Tiaret, Algeria.

2.2. Experimental device

The experiment was conducted during the 2016-2017 campaign at the Technical Institute of Field Crops (ITGC) of Sebaine located in the wilaya of Tiaret (Algeria). The soil of the cultivated plots was characterized by a silty-sandy texture.

The study was carried at the experimental station of Sebaine (Technical Institute of Field Crops), Dahmouni, wilaya of Tiaret which is part of the high cereal plains of western Algeria, whose geographic coordinates are: Latitude: 35.4562, Longitude: 1.60349 i.e. $x = 35^{\circ} 27' 22''$ North, $y = 1^{\circ} 36' 13''$ East and altitude $z = 898$ m.

According to data from the National Meteorological Office of Ain Bouchekif in Tiaret; the 2016-2017 agricultural year was characterized by bioclimatic indices that are close: for the year 2016 (temperature it varies from 7.6 in December to 27.3°C in July with an annual average of 15.9°C; rainfall an annual average reaches 349.3mm with an annual average humidity 15.92% and an annual average of wind velocity 6.7km/h), or the year 2017 (temperature it varies from 4.2 in January to 28.3°C in July with an annual average of 16.1°C; rainfall an annual average reaches 303.3mm with an annual average humidity 15.92% and an annual average of wind velocity 3.8km/h). The experimental set-up adopted is the complete randomized block composed of two blocks; one block not irrigated and the other irrigated at 50% of the field capacity; each block is subdivided into three plots considered as repetition in which four nitrogen doses are applied: 92, 115, 138 and 184 unit/ha. The date of sowing took place in the beginning of January and the harvest towards the end of July of the year 2017.

2.3. Technological quality

The assessment of the technological quality of the studied durum wheat varieties was carried out on some parameters, namely: specific weight (method NFV03-719), thousand kernel weight (method NFV03-702), protein content (method of Bradford, 1976) and gluten content (wet and dry) determined by the method ISO21415.

The results obtained were subjected to analysis of variance (ANOVA) at a probability level of 5%.

RESULTS

3.1. Thousand grain weight

Figure 1 shows the thousand kernel weight variation of durum wheat varieties (Vitron and Bousselem) grown in two blocks (irrigated and unirrigated) and fertilized with nitrogen.

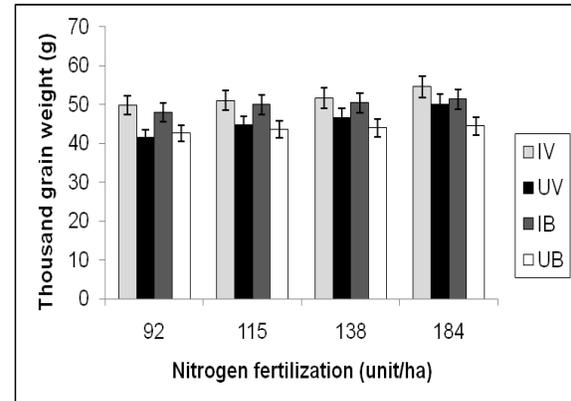


Figure 1: Thousand kernel weight variation of durum wheat varieties (Vitron and Bousselem) grown in two blocks (irrigated and unirrigated) and fertilized with nitrogen.

The superior average values of the weight of thousand grains for the two varieties of durum wheat were recorded in the irrigated block and fertilized in nitrogen (184unit/ha): 54.51g noted for the variety Vitron and 51.31g for the variety Bousselem; on the other hand the not irrigated block and fertilized in nitrogen (92unit/ha) was characterized by inferior average values of the weight of thousand grains: 41.55g for the variety Vitron and 42.67g for the variety Bousselem.

The analysis of variance (ANOVA) showed that the combined factors (water deficit and nitrogen fertilization) had a significant ($p = 0.0265$) and very highly significant ($p = 0.0002$) effect on thousand kernel weight respectively for the durum wheat varieties (Vitron and Bousselem).

3.2. Specific weight

Figure 2 shows the specific weight variation of durum wheat varieties (Vitron and Bousselem) grown in two blocks (irrigated and unirrigated) and fertilized with nitrogen.

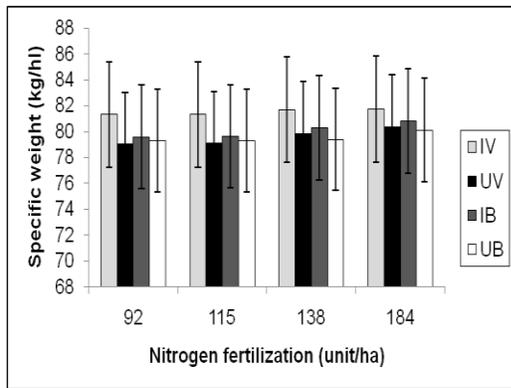


Figure 2: Specific weight variation of durum wheat varieties (Vitron and Bousselem) grown in two blocks (irrigated and unirrigated) and fertilized with nitrogen.

According to figure 2, the higher average values of the specific weight were recorded in the irrigated block and amended in nitrogen (184unit/ha) namely: 81.73kg/hl noted for the variety Vitron and 80.82kg/hl for the variety Bousselem; while the unirrigated block and fertilized in nitrogen (92unit/ha) manifested itself by lower average values: 79.07kg/hl for the variety Vitron and 79.33kg/hl for the variety Bousselem.

According to the analysis of variance (ANOVA), the combined factors (water deficit and nitrogen fertilization) had a very highly significant ($p=0.001$) and non-significant ($p=0.164$) impact on specific weight for the two durum wheat varieties (Vitron and Bousselem) respectively.

3.3. Proteins

Figure 3 represents the proteins variation of durum wheat varieties (Vitron and Bousselem) grown in two blocks (irrigated and unirrigated) and fertilized with nitrogen.

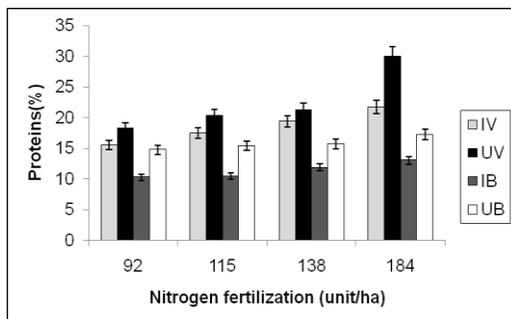


Figure 3: Proteins variation of durum wheat varieties (Vitron and Bousselem) grown in two blocks (irrigated and unirrigated) and fertilized with nitrogen.

The higher average values of proteins were recorded in the not irrigated block and amended in nitrogen (184unit/ha) namely: 30.05% noted for the variety Vitron and 17.26% for the variety Bousselem; while the irrigated block and fertilized in nitrogen (92unit/ha) was manifested by lower average values: 15.57% for the variety Vitron and 10.33% for the variety Bousselem.

According to the analysis of variance (ANOVA), the combined factors (water deficit and nitrogen fertilization) had a non-significant ($p=0.225$) and highly significant ($p=0.001$) impact on proteins levels for the two durum wheat varieties (Vitron and Bousselem) respectively.

3.4. Gluten

Figure 4 shows gluten rate variation of durum wheat varieties (Vitron and Bousselem) grown in two blocks (irrigated and unirrigated) and fertilized with nitrogen.

According to figure 4a, the higher average values of wet gluten were recorded in the irrigated block and amended in nitrogen (184unit/ha), namely: 44.61% noted for the variety Vitron and 64.94% for the variety Bousselem; while the not irrigated block and fertilized in nitrogen (92unit/ha) showed lower average values: 21.71% for the variety Vitron and 35.09% for the variety Bousselem.

On the other hand, higher average values of dry gluten were recorded in the irrigated block and amended in nitrogen (184unit/ha), namely: 14.50% noted for the Vitron variety and 20.91% for the Bousselem variety; while the not irrigated block and fertilized in nitrogen (92unit/ha) showed lower average values: 6.71% for the Vitron variety and 10.77% for the Bousselem variety (Figure 4b).

According to the analysis of variance (ANOVA) of wet gluten, the combined factors (water deficit and nitrogen fertilization) had very high significant impacts ($p=0.0005$ and $p=0.0001$) respectively for the two durum wheat varieties (Vitron and Bousselem), the same result was noted for dry gluten, where the combined factors (water deficit and nitrogen fertilization) had very highly significant impacts ($p=0.0001$ and $p=0.0007$) for the two durum wheat varieties (Vitron and Bousselem) respectively.

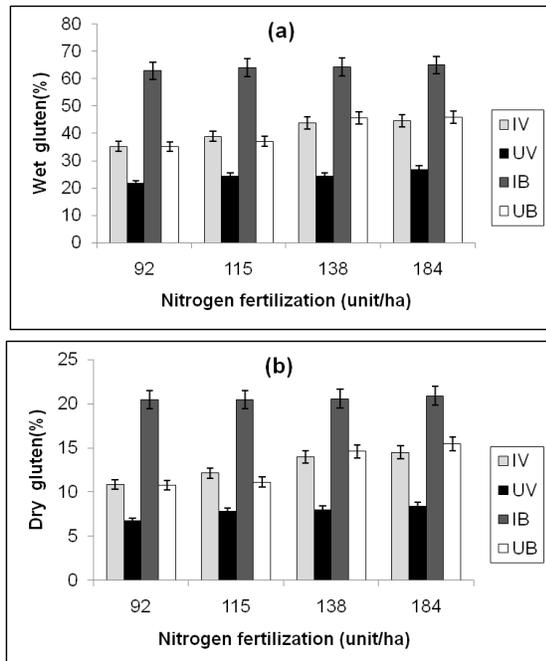


Figure 4: Gluten rate (wet:(a) and dry:(b)) variation of durum wheat varieties (Vitron and Bousselem) grown in two blocks (irrigated and unirrigated) and fertilized with nitrogen.

DISCUSSION

Many researchers found that grain and straw yields of wheat plants were increased due to increasing nitrogen level while, Abd El-Hmeed and Omar (2006) concluded that, increasing N levels up to 105 kg N fed⁻¹ significantly increased each of spike length, 1000-grain weight and grain yield. Mahmoud et al. (2006) recorded that grain and straw yields for wheat plants were increased due to increasing nitrogen level from 20 to 40, 60, 80 and 100 kg N fed⁻¹.

Stress during the grain-filling stage may have an even greater effect on wheat, as it may cause reduced grain-filling (Wardlaw and Moncur, 1995), accelerated cell death, and an earlier attainment of the harvest maturity (Altenbach et al. 2003), which may result in substantial changes in the protein composition of the grains and in the size distribution of starch granules.

The application of N after flowering may indirectly increase the protein content of the kernels without reducing the yield, while the increased grain protein content caused by heat and drought stress after flowering may be associated with yield losses, due to a reduction in the starch production (Cassman et al. 1992; Fowler, 2003).

The ratio of albumins-globulins did not

increase proportionately with the protein content in response to a rise in temperature (Triboi et al. 2003). The deterioration in the dough quality could be attributed to the decline in the glutenin to gliadin ratio and in the percentage of very large glutenin polymers in response to a high temperature (Balla and Veisz, 2007). Protein content may account for of the variability in cooking quality, but the protein type has a strong effect on quality (Porceddu, 1995).

The deposition of gliadin and glutenin proteins in the kernel is ordered and asynchronous and can be impacted by plant stress and N management (Jamieson et al. 2001; Daniel and Triboi, 2002).

The relative amount of gliadin contained in the kernel can be increased by decreasing N stress (Triboi et al. 2000).

Water or heat stress during grain filling can impact gluten composition and dough quality (Ciuffi et al. 1996; Corbellini et al. 1997; Stone et al. 1997; Jiang et al. 2009). In wheat, N is essential for the production of biomass; N stored in this biomass remobilizes later to the grain; it is estimated that up to 95% of the remobilized N is taken up prior to anthesis (Masoni et al. 2007). In some instances, N is over-applied to achieve as close as possible to the grain yield potential and ensure a desirable quality (Diacono et al. 2012).

These results are similar to those obtained by Gagliardi et al. (2020) which significant lower yield and a higher protein concentration were observed in the year characterized by a higher temperature at the end of the crop cycle and the effect of the high temperatures on protein assembly was different for the genotypes in relation to their earliness.

The wheat grain quality mainly depends on the quantity and type of gluten proteins, as well as on their aggregation/polymerization level (Gupta et al. 1995; Ferreira et al. 2012). In particular, gliadins, which are monomeric proteins, are mainly responsible for the viscous nature of the dough, and interact mostly via non-covalent links, while glutenin, which are polymeric proteins stabilized by disulphide bonds, determine its elasticity (Gras et al. 2001; Anjum et al. 2007). Ferreira et al. (2012), in durum wheat, reported also a positive effect of the high temperature during the whole grain filling period on gluten protein assembly. In the Mediterranean climate, the rainfall variability together with the frequency of high temperature during the grain filling period, may cause large fluctuations in durum wheat grain yield and technological quality aspects (Ercoli et al. 2008; Ierna et al. 2016).

In semi-arid regions, a further increase in temperatures together with reduced rainfall are expected following the ongoing climate change (ICCP, 2012 ; Nuttall et al.2015). This trend will influence also the crop responses to nitrogen fertilization, which depend on rainfall amount and distribution during the crop cycle, to the amount and timing of nitrogen applications as well as to the initial soil nitrogen levels (Cossani et al.2012 ; López-Bellido et al.2012).Moreover, Malik et al. (2011) highlighted that the combinations of cultivars, nitrogen and temperature are needed to explain the variation in the quantity and size distribution of the polymer proteins and their effect on the quality of the end-product.

Salem (2005) and Zewail (2007) revealed that yield and its components of wheat were significantly increased by increasing rate of nitrogen fertilizer up to 120 kg N/Fedden.

The study lead by Abdelkhalek et al. (2015) showed the yield and yield components of some wheat varieties were highly depending of irrigation and nitrogen fertilization using ammonia gas.

The mineralisation process of the organic manures strongly depends on the environmental conditions (Hlisnikovský et al. 2020).

The application of mineral fertilisers, which significantly and directly affected the yield and quality of wheat (Blandino and Reyneri ,2009) and its root system (Rasmussen et al. 2015).

According to Barneix (2007), the protein synthesis in grain is source-limited and more than 50-70% of the final grain N is accumulated before flowering and later remobilised to the grain, where it is used for synthesis of grain proteins.

CONCLUSION

The study of the combined effect of water deficit and nitrogen supply on some technological quality parameters of durum wheat varieties grown in a semi-arid area of Algeria (Sebaine, Tiaret) showed that their biological responses (protein, gluten and grain yield) varied according to the intensity of water stress, variety and nitrogen supply. Faced with these two factors, the two varieties (Vitron and Bousselem) have the same physiological behavior, especially in the increase of protein synthesis, which will improve the technological quality of the milling products (semolina).

CONFLICT OF INTEREST

The authors declared that present study was performed in absence of any conflict of interest.

ACKNOWLEDGEMENT

We would like to thank all participants in this work for their collaboration and support, especially Faculty of Nature Sciences and Life, University of Tiaret and Technical Institute of the Field Crops (ITGC) of Sebaine, Tiaret of Algeria .

AUTHOR CONTRIBUTIONS

AL, KO and KA designed this work. AL and HM performed the experiments .HM and KA performed data analysis. KA designed and reviewed the manuscript.

Copyrights: © 2021@ author (s).

This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author(s) and source are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

REFERENCES

- Abd El-Hmeed IM, Omar AE, 2006. Response of bread wheat to some fertilization treatments. In: The 31st International Conference for Statistics, Computer Science and its Applications, 2006, pp.1-6.
- Abdelkader B, 2014. The history of wheat breeding in Algeria. In : Porceddu E. (ed.), Damania A.B. (ed.), Qualset C.O. (ed.). Proceedings of the International Symposium on Genetics and breeding of durum wheat. Bari : CIHEAM, pp.363-370 (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéennes; n. 110).
- Abdelkhalek AA, Darwesh RKH, El-Mansoury MAM ,2015. Response of some wheat varieties to irrigation and nitrogen fertilization using ammonia gas in North Nile Delta region, *Annals of Agricultural Science* (2015) 60(2), 245-256.
- Alghory A, Yazar A, 2018. Evaluation of net return and grain quality characteristics of wheat for various irrigation strategies under the Mediterranean climatic conditions. *Agric. Water Manag.* 203, 395-404.
- Altenbach SB, DuPont FM, Kothari KM, Chan R, Johnson EL, Lieu D, 2003. Temperature, water and fertilizer influence the timing of key events during grain development in a US spring wheat. *Journal of Cereal Science*, 37: 9-20.
- Anjum FM, Khan MR, Din A, Saeed M, Pasha I, Arshad MU, 2007. Wheat gluten: High

- molecular weight glutenin subunits-structure, genetics, and relation to dough elasticity. *J. Food Sci.* 72, 56–63.
- Balla K, Veisz O, 2007. Changes in the quality of cereals in response to heat and drought stress. *Acta Agronomica Ovariensis*, 49: 451-455.
- Barneix AJ, 2007. Physiology and biochemistry of source-regulated protein accumulation in the wheat grain. *Journal of Plant Physiology*, 164: 581-590.
- Bensemam L, Bouzerzour H, Benmahammed A, Mimouni H ,2011. Assessment of the phenotypic variation within two and six rowed barley (*Hordeum vulgare* L.) breeding lines under semi-arid condition. *Adv Environ Biol.* 5:1454-1460.
- Bicego B, Sapkota A, Torrion JA, 2019. Differential nitrogen and water impacts on yield and quality of wheat classes, *Agronomy Journal* .Volume 111, Issue 6,2792-2803.
- Blandino M, Marinaccio F, Vaccino P, Reyneri A, 2015. Nitrogen fertilization strategies suitable to achieve the quality requirements of wheat for biscuit production. *Agron. J.* 107, 1584-1594.
- Blandino M, Reyneri A, 2009.Effect of fungicide and foliar fertilizer application to winter wheat at anthesis on flag leaf senescence, grain yield, flour bread-making quality and DON contamination. *European Journal of Agronomy*, 30: 275-282.
- Bradford MM ,1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1-2), 248-254.
- Cassman KG, Bryant DC, Fulton AE, Jackson LF, 1992. Nitrogen supply effects on partitioning of dry matter and nitrogen to grain of irrigated wheat. *Crop Science*, 32: 1251-1258.
- Ciaffi M, Tozzi L, Borghi B, Corbellini M, Lafi andra D, 1996. Effect of heat shock during grain filling on the gluten protein composition of bread wheat. *J. Cereal Sci.* 24:91-100.
- Corbellini M, Canevar MG, Mazza L, Ciaffi M, Lafi andra D, Borghi B, 1997.Effect of the duration and intensity of heat shock during grain filling on dry matter and protein accumulation, technological quality and protein composition in bread and durum wheat. *Aust. J. Plant Physiol.* 24:245-260.
- Cossani CM, Slafer GA, Savina R, 2012. Nitrogen and water use efficiencies of wheat and barley under a Mediterranean environment in Catalonia. *Field Crops Res.* 128, 109-118.
- Cubadda RE, Carcea M, Marconi E, Trivisonno MC, 2007. Influence of gluten proteins and drying temperature on the cooking quality of durum wheat pasta, *Cereal Chemistry*.vol. 84, no. 1, pp. 48-55.
- D'Egidio MG, Mariani BM, Nardi S, Novaro P, 1990.Chemical and technological variables and their relationships: a predictive equation for pasta cooking quality, *Cereal Chemistry*.vol. 67, no. 3, pp. 257-281.
- Daniel C, Triboi E, 2002. Changes in wheat protein aggregation during grain development: Effects of temperatures and water stress. *Eur.J.Agron.* 16:1-12.
- Diacono M, Rubino P, Montemurro F, 2012. Precision nitrogen management of wheat. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 33:219-241.
- Ercoli L, Lulli L, Mariotti M, Masoni A, Arduini I, 2008. Post-anthesis dry matter and nitrogen dynamics in durum wheat as affected by nitrogen supply and soil water availability. *Eur. J. Agron.* 28:138-147.
- Fagnano M, Fiorentino N, D'Egidio MG, Quaranta F, Ritieni A, Ferracane R, Raimondi G,2012. Durum wheat in conventional and organic farming: yield amount and pasta quality in southern italy. *The Scientific World Journal*, Volume 2012, Article ID 973058, 1-9.
- Fallahi H, Nasser A, Siadat A, 2008. Wheat yield components are positively influenced by nitrogen application under moisture deficit environments. *Int. J. Agric. Biol.*10, 673-676.
- Ferreira MSL, Martre P, Mangavel C, Girousse C, Rosa NN, Samson MF, Morel MH, 2012. Physicochemical control of durum wheat grain filling and glutenin polymer assembly under different temperature regimes.*J.Cereal Sci.* 56, 58-66.
- Flagella Z, Giuliani MM, Giuzio L, Volpi C, Masci S, 2010.Influence of water deficit on durum wheat storage protein composition and technological quality.*European Journal of Agronomy*, 33: 197-207.
- Fowler DB, 2003. Crop nitrogen demand and grain protein concentration of spring and winter wheat. *Agronomy Journal*, 95: 260-265.
- Gagliardi A, Carucci F, Masci S, Flagella Z, Gatta G, Giuliani MM, 2020. Effects of genotype, growing season and nitrogen level on gluten protein assembly of durum wheat grown under Mediterranean conditions, *Agronomy*, 10, 755,1-17.
- Gras PW, Anderssen RS, Keentok M, Békés F, Appels R, 2001. Gluten protein functionality in

- wheat flour processing: A review. *Aust. J. Agric. Res.* 52, 1311-1323.
- Gupta RB, Popineau Y, Lefebvre J, Cornec M, Lawrence GJ, MacRitchie F, 1995. Biochemical basis of flour properties in bread wheats. II. Changes in polymeric protein formation and dough/gluten properties associated with the loss of low Mr or high Mr glutenin subunits. *J. Cereal Sci.* 21, 103-116.
- Gürsoy S, Sessiz A, Malhi SS, 2010. Short-term effects of tillage and residue management following cotton on grain yield and quality of wheat. *Field Crop Research*, 119: 260-268.
- Hlisenikovsky L, Vach M, Abrham Z, Menšik L, Kunzová E, 2020. The effect of mineral fertilisers and farmyard manure on grain and straw yield, quality and economical parameters of winter wheat. *Plant Soil Environ*, 66, 249-256.
- ICCP, Climatic Change ,2012. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation; a special report of working groups i and ii of the intergovernmental panel on climate change; Field, C.B., V. Barros, T.F., Stocker, D., Qin, D.J., Dokken, K.L., Ebi, M.D., Mastrandrea, K.J., Mach, G.K., Plattner, S.K., Allen, M., Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, UK.
- Ierna A, Lombardo GM, Mauromicale G, 2016. Yield, nitrogen use efficiency and grain quality in durum wheat as affected by nitrogen fertilization under a Mediterranean environment. *Expl. Agric.* 52, 314-329.
- INDC .Intended Nationally Determined Contribution INDC-Algeria, September 3rd, 2015,1-10.
- Jamieson PD, Stone PJ, Semenov MA, 2001. Towards modeling quality in wheat: From grain nitrogen concentration to protein composition. *Aspects Appl. Biol.* 64:111-126.
- Jiang D, Yue H, Wollenweber B, Tan W, Mu H, Bo Y, Dai T, Jing Q, Cao W, 2009. Effect of postanthesis drought and water logging on accumulation of high molecular weight subunits and glutenin macropolymers content in wheat grain. *J. Agron. Crop Sci.* 195:89-97.
- Johansson E, Prieto-Linde ML, Jönsson JÖ, 2001. Effects of wheat cultivar and nitrogen application on storage protein composition and breadmaking quality. *Cereal Chemistry*, 78: 19-25.
- Kovats RS, Valentini R, Bouwer LM, Georgopoulou E, Jacob D, Martin E, Rounsevell M, Soussana JF, 2014. Europe. In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*; Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Barros, V.R., Field, C.B., Dokken, D.J., Mastrandrea, M.D., Mach, K.J., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., et al., Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, UK; New York, NY, USA, pp. 1267-1326.
- Li CX, Ma SC, Shao Y, Ma ST, Zhang LL, 2018. Effects of long-term organic fertilization on soil microbiologic characteristics, yield and sustainable production of winter wheat. *Journal of Integrative Agriculture*, 17: 210-219.
- López-Bellido L, Fuentes M, Castillo JE, López-Garrido FJ, 1998. Effects of tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on wheat-grain quality grown under rainfed Mediterranean conditions. *Field Crop Research*, 57: 265-276.
- López-Bellido L, Munoz-Romero V, Benítez-Vega J, Fernández-García P, Redondo R, López-Bellido RJ, 2012. Wheat response to nitrogen splitting applied to a vertisols in different tillage systems and cropping rotations under typical Mediterranean climatic conditions. *Eur. J. Agron.* 43, 24-32.
- Mahmoud MR, Abd El-Warh M, Mansour SF, 2006. Effect of biotechnologies on improving some properties of salt affected soils and its wheat production. *Egypt J. Appl. Sci.* 21, 332-351.
- Malik AH, Prieto-Linde ML, Kuktaite R, Andersson A, Johansson E, 2011. Individual and interactive effects of cultivar maturation time, nitrogen regime and temperature level on accumulation of wheat grain proteins. *J. Sci. Food Agric.* 91, 2192-2200.
- Masci S, D'Ovidio R, Lafiandra D, Kasarda DD. 2000. A1B-coded low-molecular-weight glutenin subunit associated with quality in durum wheats shows strong similarity to a subunit present in some bread wheat cultivars. *Theor. Appl. Genet.* 100:396-400.
- Masoni A, Ercoli L, Mariotti M, Arduini I, 2007. Post-anthesis accumulation and remobilization of dry matter: Nitrogen and phosphorus in durum wheat as affected by soil type. *Eur. J. Agron.* 26:179-186.
- Novaro P, D'Egidio MG, Mariani BM, Nardi S, 1993. Combined effect of protein content and

- high-temperature drying systems on pasta cooking quality, *Cereal Chemistry*.vol. 70, no. 6, 716-719.
- Nuttall JG, O'Leary GJ, Panozzo JF, Walker CK, Barlow KM, Fitzgerald GJ, 2015. Models of grain quality in wheat-A review. *Field Crop Res.*202, 136-145.
- Olesen JE, Trnka M, Kersebaum KC, Skjelvåg AO, Seguin B, Peltonen-Sainio P, Rossi F, Kozyra J, Micale F, 2011. Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. *Eur. J. Agron.* 34, 96-112.
- Olesen JE, Bindi M, 2002. Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. *Eur. J. Agron.* 16, 239-262.
- Panozzo JF, Eagles HA, 2000. Cultivar and environmental effects on quality characters in wheat: II. Protein. *Aust. J. Agric. Res.* 51:629-636.
- Patanita M, Tomaz A, Ramos T, Oliveira P, Boteta L, Dôres J, 2019. Water regime and nitrogen management to cope with wheat yield variability under the Mediterranean conditions of southern Portugal, *Plants*.8, 429-444.
- Porceddu E, 1995. Durum wheat quality in the Mediterranean countries. In : DiFn zo N. (ed.), Kaan F. (ed.), Nachit M. (ed.). Durum wheat quality in the Mediterranean region. Zaragoza : CIHEAM, pp.11-21 (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 22)
- Rasmussen IS, Dresbøll DB, Thorup-Kristensen K, 2015. Winter wheat cultivars and nitrogen (N) fertilization - effects on root growth, N uptake efficiency and N use efficiency. *European Journal of Agronomy*, 68: 38-49.
- Rharrabti Y, Royo C, Villegas D, Aparicio N, García del Moral LF, 2003. Durum wheat quality in Mediterranean environments: I. Quality expression under different zones, latitudes and water regimes across Spain. *Field Crops Research*, 80: 123-131.
- Salem MA, 2005. Effect of nitrogen rates and irrigation regimes on yield and components of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes under newly reclaimed land conditions. *J. Agric. Sci. Mansoura Univ.* 30, 6481-6490.
- Shahzad M, Farooq M, Jabran K, Hussain M, 2016. Impact of different crop rotations and tillage systems on weed infestation and productivity of bread wheat. *Crop Protection*, 89: 161-169.
- Shewry PR, 2007. Improving the protein content and composition of cereal grain. *Journal of Cereal Science*, 46: 239-250.
- Sissons MJ, Egan NE, Gianibelli MC, 2005. New insights into the role of gluten on durum pasta quality using reconstitution method, *Cereal Chemistry*. vol.82, no.5, 601-608.
- Stone PJ, Gras PG, Nicolas ME, 1997. The influence of recovery temperature on the effects of a brief heat shock on wheat: III. Grain protein composition and dough properties. *J. Cereal Sci.* 25:129-141.
- Townsend TJ, Sparkes DL, Ramsden SJ, Glithero NJ, Wilson P. 2018. Wheat straw availability for bioenergy in England. *Energy Policy*, 122: 349-357.
- Triboi E, Abad A, Michelena A, Lloveras J, Ollier JL, Daniel C, 2000. Environmental effects on the quality of two wheat genotypes: 1. Quantitative and qualitative variation of storage proteins. *Eur. J. Agron.* 13:47-64.
- Triboi E, Martre P, Triboi-Blondel AM, 2003. Environmentally-induced changes in protein composition in developing grains of wheat are related to changes in total protein content. *Journal of Experimental Botany*, 54: 1731-1742.
- Trnka M, Hlavinka P, Semenov MA, 2015. Adaptation options for wheat in Europe will be limited by increased adverse weather events under climate change. *J. R. Soc. Interface.* 12 (112), 1-7.
- Ul-Allah S, Iqbal M, Maqsood S, Naeem M, Ijaz M, Ashfaq W, Hussain M, 2018. Improving the performance of bread wheat genotypes by managing irrigation and nitrogen under semi-arid conditions. *Arch. Agron. Soil Sci.* 64, 1678-1689.
- Wang LF, Sun JT, Zhang ZB, Xu P, Shangguan ZP, 2018. Winter wheat grain yield in response to different production practices and soil fertility in northern China. *Soil and Tillage Research*, 176: 10-17.
- Wang X, He M, Li F, Liu Y, Zhang H, Liu C. 2008. Coupling effects of irrigation and nitrogen fertilization on grain protein and starch quality of strong-gluten winter wheat. *Front. Agric. China* ,2:274-280.
- Wardlaw IF, Moncur L, 1995. The response of wheat to high temperature following anthesis. I. The rate and duration of kernel filling. *Australian Journal of Plant Physiology*, 22: 391-397.
- Wieser H, Seilmeier W, 1998. The influence of nitrogen fertilisation on quantities and proportions of different protein types in wheat flour. *Journal of the Science of Food and*

- Agriculture*, 76: 49-55.
- WOH, 2016. Climate and health country profile-2015 Algeria, Who-Fwc-Phe-Epe-15.32
- Yin C, Deng AX., Zhang WJ, Li W, Qiao YQ, Yang TM, Zheng CY, Cao CF, Chen F.2018. Long-term inorganic plus organic fertilization increases yield and yield stability of winter wheat. *The Crop Journal*, 6: 589-599.
- Yu Z, Islam S, She M, Diepeveen D, Zhang Y, Tang G, Zhang J, Juhasz A, Yang R, Ma W, 2018. Wheat grain protein accumulation and polymerization mechanisms driven by nitrogen fertilization. *Plant J.*96, 1160-1177.
- Zewail YMR, 2007. Improvement of wheat productivity by using some biofertilizers and antioxidants. M.Sc. Thesis, Fac. Agric. Moshtohor, Banha Univ., Egypt.