

UNIVERSITÉ MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI
BORDJ BOU ARRERIDJ

UNIVERSITY MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI
BORDJ BOU ARRERIDJ

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريريج

Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi- B.B.A.

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الارض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

قسم العلوم الفلاحية

Département des Sciences science agronomique



UNIVERSITÉ MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI
BORDJ BOU ARRERIDJ

UNIVERSITY MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI
BORDJ BOU ARRERIDJ

Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Science agronomique

Spécialité : Amélioration des plantes

Intitulé

Quantification du stress hydrique avec un modèle de culture sur quelque génotype de blé dur(*Triticum durum*), durant plusieurs campagnes en milieu semi-aride.

Présenté par : Lebachiche Ibtissem
Benkadja Sarah

Soutenu le : 07/07/2019

Devant le jury :

Président : M^m Benbouguerra khalissa (Université de BBA.)

Encadrant : M^r Maamri Khelifa (Université de BBA.)

Examineur : M^m Kleleche haizia (Université de BBA.)

Année universitaire : 2018/2019

*« Le goût amer laissé par les erreurs disparaît dès lors
qu'arrive celui de la réussite »*

Adrien Verschaere

ت حديد كمية الإجهاد المائي لبعض الأنواع من القمح الصلب في المناطق الشبه جافة

أجريت هذه الدراسة خلال خمسة مواسم زراعة (2010-2016) في الحقول التجريبية للمعهد الوطني الجزائري للأبحاث الزراعية (INRAA) على 4 أنماط وراثية من القمح الصلب (*Triticum durum Desf*)، بهدف مقارنة السلوك الزراعي لهذه الأصناف، وكذلك لتحديد الإجهاد المائي على أساس استخدام نموذج (AquaCrop). أتاح استخدام هذا النموذج تحديد المعطيات المناخية مثل التبخر والنتح في المحصول. وكذلك يوفر حساب المعاملات والنسب المختلفة المستخدمة في النموذج مرونة في التحليل وكذا تحديد معامل الإجهاد، في المراحل الفنولوجية المختلفة. ونتيجة لذلك، نجد أن أصناف Altar 84 و Bousselem تتمتع بأفضل إنتاج في المواسم الخمسة؛ وأن الإجهاد المائي معتدل في كل من مرحلة الإخضرار وتشديد في مرحلة النضج لجميع الأصناف خلال هذه المواسم.

الكلمات المفتاحية: القمح الصلب، النموذج، الإجهاد المائي، المراحل الفنولوجية، أنماط وراثية

Résumé.**Quantification de stress hydrique sur quelques variétés de blé dur en milieu semi aride**

Cette étude a été conduite durant cinq campagnes agricole (2010-2016) sur les sites expérimentaux de INRAA Sétif avec une collection de 4 génotype de blé dur (*Triticum durum Desf*), pour un objectif de comparer le comportement agronomique de ces variétés, et aussi de quantifier le stress hydrique sur la base d'utilisation d'un modèle (AquaCrop). L'utilisation de ce modèle de culture a permis de déterminer les paramètres climatiques tels que l'évapotranspiration et la transpiration de la culture. Le calcul des différents coefficients et ratio utilisés par le modèle, confère une souplesse d'analyse, tel que le coefficient de stress, à différents stades phénologiques. Il en résulte que c'est les variétés Altar 84 et bousselem qui ont le meilleur rendement pour les cinq campagnes ; et que le stress hydrique est modéré aux deux stades semis-levée et levée-épiaison, et qu'il est intense au stade épiaison-maturité pour toutes les variétés durant les cinq campagnes.

Mots clés : blé dur (*Triticum durum Desf*), Modèle, AquaCrop, Stress Hydrique, Simulation

Abstract**Quantification of stress water for some varieties of wheat durum in the zone semi-arid**

This study was conducted during five agricultural campaigns (2010-2016) at the experiential INRAA Sétif site with a collection of 4 wheat durum (*Triticum durum Desf*), for an objective to compare agronomic behavior of these varieties, and also to quantify water stress on the basis of use a model (aquacrop). The use of this culture model determined climate parameters such as evapotranspiration and transpiration of culture. The calculation of the various coefficients and ratios used by the model gives analytical flexibility, such as the stress coefficient, at different phenological stages. As a result, it is the Altar84 and Bousselem varieties that have the best performance for the five campaigns; and that water stress is moderate at the two seedlings and lifting stages, and is intense at the epaison-maturity stage for all varieties during the five campaigns.

Key words: Durum wheat (*Triticum durum Desf*), Model, Aquacrop, Stress Water, Simulation

REMERCIEMENT

*Nous remercions avant tout **DIEU**, tout puissant, pour la volonté, la santé et la patience qu'il*

Nous avons donnée et le courage pour terminer ce travail.

*Nous adressons nos plus vifs remerciement à notre promoteur, **Dr Maamri khelifa** pour*

Avoir de bien voulu de nous encadrer, pour sa patience, son aide, ses conseils et

Encouragements, pour le temps qu'il nous avons consacré pour réaliser ce travail.

Nous exprimons nos remerciements aux honorables membres du jury :

***Mm benbouguerra khalissa** pour avoir fait l'honneur de présider le jury de ce travail*

m'avoir accordé le temps et la patience pour évaluer notre travail

*Nous tenons également à adresser nos vifs remerciements à **Mm kleleche haizia** pour*

L'honneur qu'il nous a fait en acceptant d'examiner ce mémoire.

Nous aimerons remercier tout l'équipe de l'institut national de la recherche agronomique

*(INRAA) de Sétif, en particulier **Mr Hannachi Abderrahmane** pour leur aide et leur conseil*

au long de se travail.

*Nous exprimons notre plus vif remerciement à **Dr Fellahi Zin el Abidine** .pour leur aide*

précieuse et inconditionnelle

Nous ne saurons oublier de remercier tous ceux qui ont, de près ou de loin, contribué à la

Réalisation de ce travail, et toute personne qui m'a éclairé le chemin.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A **mon père**, pour son appui et son encouragement celui qui m'a guidé vers la voix de
réussite.

A **ma mère**, la source de mes joies, pour son amour son soutien sa tendresse.

A mes deux chers frère **Islam** et **Hamza**

A la Fleur de la maison ma chère sœur **Douaa**

A mes **grand-mère**, Que dieu leur procure une bonne santé et longue vie

A celle qui m'a accompagnée, m'a supporté tout le long du travail mon amie et binôme

Ibtissem

A mes chères copines : **Racha, Meriem, Chahinez, Djamila**

A toute mes collègues de la promotion Amélioration des plantes 2018-2019, En particulier :

Asma, Samira, Nidhal, Achouak , Lamria

A toute les personnes que je connais et que je n'ai pas citées, a ceux que j'aime et m'aiment.

Sarah

Dédicace

Je dédie le fruit de ce travail s'il a une récompense chez **ALLAH** à toutes les personnes qui
Ont une place particulière pour moi

Je dédie ce modeste travail à des êtres qui me sont très chers, et sans les quelles
Je n'aurais jamais atteint le stade où je suis actuellement.

A mes chers parents, **ma mère** et **mon père** pour leur patience leur amour leur soutien et
leur encouragement

A ma belle sœur : **imene**

A mes très chers frères : **oussama ,ahmed , ayoub , anas**

A tout ma grande famille.

A ma chère binôme **sarah** pour son entente et sa sympathie

A mes superbes et introuvables amies : **hawa ,imene , hadjer , ibtissem** et ma cousine **nihad**

A tous mes collègues de la promotion de l'amélioration des plantes promotion 2018/2019
particulièrement **asma, samira, achouak ,sabrina ,nidhal et lamria**

A tous ceux qui j'ai connu et n'ai pu citer.

A tous se que j'aimes

Ibtissem

Sommaire

Résumé

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction	1
Chapitre I : Généralités sur le blé dur	3
I-1- Origine géographique	3
I-2- Origine génétique	3
I-3- Classification botanique	4
I-4- L'importance du blé	4
I-4-1- Dans le monde	4
I-4-2- En Algérie	5
I-5- Description morphologique du blé	5
I-5-1 Le système racinaire	6
I-5-2 -Le système aérien	6
I-5-3- L'appareil reproductive	6
I-5-4- Le grain	7
I-6 - le Cycle de développement	8
I-6-1- Période végétative	9
I 6-2- Périodes de reproduction	9
I 6-3- Période de maturation	10
I-7- Les exigences de blé dur	11
I-7-1- Les exigences édaphique	11
I-7-2- Les exigences climatique	12

I-7-3 Fertilisation	13
Chapitre II : Effet du stress hydrique sur la plante	14
II -1 l'eau dans la plante	14
II-2 la notion de stress	14
II-2-1le stress biotique	14
II-2-2 Le stress abiotique	15
II-2-2-1Stresshydrique	15
II-2-2-2 Stress salin	15
II-2-2-3 Stress thermique	16
II-3 Effet du stress sur la plante	16
II-3-1 Effet du stress sur les paramètres morphologique	16
II-3-2 Effet sur les paramètres physiologique	17
II-3-3- Effet sur le rendement	17
II-4- Les mécanismes d'adaptation au déficit hydrique	18
II-4-1- Adaptation morphologique	18
II-4-1-1 La hauteur de la plante	18
II-4-1-2 Longueur du col de l'épi , barbes	18
II-4-1-3 Glaucescence, pilosité, cire	19
II-4-1-4 Système racinaire	19
II-4-1-5 Surface foliaire	19
II-4-2 Adaptation physiologique	20
II-4-2-1 Régulation stomatique	20
II-4-2-2 Ajustement osmotique	20
II-4-3 Adaptation phénologique	21
Chapitre III Matériel et méthode	22
III.1 Description du site expérimentale	22
III.3 Le Matériels végétal	23
III.4 Logiciel AquaCrop	23

III.4.1 Les données d'entrées	24
III.4.1 .1 Données climatique	25
III.4.1 .2 Caractéristiques des cultures.....	25
III .4.1 .3 Caractéristiques du sol	26
III .4.1 .4 Pratiques de gestion	26
III .5- Mesures et notations	27
III .5.1 Paramètres climatiques	27
III .5.1.1 Température et pluviométrie	27
III.5.2 Paramètres agronomiques	27
III 5.2.2 Le nombre de grain par m ²	27
III 5.2.3. Le nombre d'épi par m ²	27
III 5.2.4. Rendement en grain	27
III 5.2.5. La Biomasse aérienne	28
III. 5.2.6 L'indice de la récolte	28
III .6- Analyses statistique	28
Chapitre VI : Résultat et discussion	29
VI.1 Résultat	29
VI .1.1 paramètres climatique	29
VI .1.1.1 Température	29
VI .1.1.2 Pluviométrie	29
VI .1.2 Les composantes du rendements	30
III .1.2 .1 Poids de mille grains	30
VI .1.2 .2 Nombre de grain par m ²	31
VI .1.2 .3 Le nombre d'épi par m ²	31
VI .1.2 .4 Rendement grain	32
VI .1.2 .5 Biomasse aérienne	33
VI .1.2 .6 Indice de la récolte	33
VI .3 Résultats du modèle AquaCrop	35

VI.3.1 Simulation du bilan hydrique	35
VI.3.2 Paramètres de mesures	35
VI.3.3 Phase de stress selon la phénologie	35
a- Semis-Levée	36
b- Levé – Epiaison	38
c- Epiaison – Maturité	39
VI.2 Discussion	40
VI.2.1 Relation entre le rendement et ses composantes	40
VI.2.1.1 Pois de mille grains	40
VI.2.1.2 Nombre du grain par m ²	40
VI.2.1.3 Nombre d'épis par m ²	41
VI.2.1.4 Biomasse aérienne	42
VI.2.1.5 Indice de récolte	43
VI.2.2 L'effet de stress hydrique sur le rendement et ces composants	44
Conclusion	47

Références bibliographiques

Annexes

Liste des abréviations

°C : Degré Celsius

BIO : Biomasse

Cm : Centimètre

CV % : Coefficient de variation

ET_o : L'évapotranspiration de référence

ETP : Evatranspiration potentiel

ETR : Evatranspiration réel

FAO : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

g : Gramme

Ha : Hectare

INRAA : Institut national de la recherche agronomique

IR : Indice de récolte

J.C : Jésus-Christ

Kg : Kilogramme

Ks : Coefficient de stress

Ksat : La conductivité hydraulique à saturation

L : Litre

LSD : Least Signifiant difference

M : Mètre

m² : Mètre carré

Max : Maximale

Min : Minimale

Mm : Millimètre

MPa : Mégapascal

NE : Nombre d'épi

NG : Nombre de grain

PMG : Le poids de mille graine

PPDS : Plus petite différence significative

Qx : Quintaux

RDT : Rendement

T : La température

WP : Water productivity

θ_{fc} : La capacité au champ

θ_{PWP} : Point de flétrissement permanent

θ_{sat} : La teneur en eau du sol à saturation

Liste des figures

Partie bibliographique

N°	Titre	Page
01	Origines et généalogie du blé	03
02	Les racines de blé	06
03	Structure d'un épi et épillet du blé	07
04	Anatomie du grain de blé	08
05	Cycle de développement du blé	11

Matériel et Méthodes

N°	Titre	Page
06	Situation du site de l'expérimentation	22
07	Les relations fonctionnelles entre les différents composants du modèle	24
08	Données d'entrée définissant l'environnement dans lequel la culture va se développer	25

Résultat

N°	Titre	Page
09	Températures moyennes mensuelles des campagnes de l'étude (2010-2016)	29
10	Histogramme de la moyenne du nombre d'épi/m ² des variétés étudié durant cinq campagnes (2010/2016)	30
11	Histogramme de la moyenne du nombre de grains /m ² des variétés étudiées durant cinq campagnes (2010/2016)	31
12	Histogramme de la moyenne du PMG des variétés étudiées durant cinq campagnes (2010/2016) .	32
13	Histogramme de la moyenne du rendement en grain des variétés étudiées durant cinq campagnes (2010/2016)	32
14	Histogramme de la moyenne de la biomasse aérienne des variétés étudiées durant cinq campagnes (2010/2016)	33
15	Histogramme de la moyenne de l'indice de récolte des variétés étudiées.	34

Liste des figures

16	Variation de la moyenne du stress hydrique et de la transpiration potentielle et réelle durant la phase semis-tallage entre les campagnes	37
17	Variation de la moyenne du stress hydrique et de la transpiration potentielle et réelle durant la phase tallage-épiaison entre les campagnes	38
18	Variation de la moyenne du stress hydrique et de la transpiration potentielle et réelle durant la phase épiaison-maturité entre les campagnes	39

Discussion

19	Relation entre le nombre des épis et le rendement	40
20	Relation entre le nombre de grains par m ² et le rendement	41
21	Relation entre le nombre des grains par m ² et l'indice de récolte	41
22	Relation entre le PMG et le rendement	42
23	Relation entre la Biomasse aérienne et le rendement	43
24	Relation entre l'indice de récolte et le rendement	44
25	Relation entre le rendement et le coefficient de stress hydrique	45
26	Relation entre le Poids de mille grains et le coefficient de stress hydrique	45
27	L'effet du stress hydrique sur le PMG et sur le rendement durant les Cinq campagnes	46

Liste des Tableaux

Partie bibliographique

N°	Titre	Page
I	La classification botanique du blé	4
II	Le marché mondial du blé	5

Matériels et méthodes

N°	Titre	Page
III	Les variétés utilisées à l'expérimentation	23

Résultat

N°	Titre	Page
IV	Précipitations moyennes mensuelles des campagnes de l'étude (2010-2016)	9
V	Comparaison des moyennes du rendement et ses composantes	34
VI	Résultat de la simulation du bilan hydrique	35
VII	Les pourcentages de stress Hydrique durant les cinq campagnes agricoles	36

Introduction

Introduction

Au cours des deux générations du dernier siècle, la population mondiale a augmenté de 90%, tandis que la production alimentaire s'est développée de 115% (DIXON .2007). Les céréales occupent à l'échelle mondiale une place primordiale dans le système agricole. Elles sont considérées comme une source de la nutrition humaine et animale (Slama .2005).

Parmi ces céréales, le blé dur, constitue la première ressource en alimentation humaine et la principale source de protéines ; il fournit également une ressource privilégiée pour l'alimentation animale et de multiples applications industrielles. Le blé dur prend mondialement, la cinquième place après le blé tendre, le riz, le maïs et l'orge avec une production de plus de 30 millions de tonnes (Amokrane. 2001).

Selon les statistiques du Conseil International des Céréales, dans l'année 2014/2015, la production de blé dur en Algérie est inférieure à la consommation. Cette faible production est souvent expliquée par l'influence des mauvaises conditions climatiques associées, notamment à la sécheresse, la désertification, l'érosion, et la salinisation des sols. En Algérie, cette culture est conduite en pluviale ; elle est soumise à la variabilité climatique qui se traduit par des contraintes hydriques et thermiques erratiques, notamment dans l'étage bioclimatique semi-aride (Benchohra et Khelloufi .2000).

Le manque d'eau reste également, le facteur le plus limitant de la productivité des cultures, particulièrement la culture de blé et afin de faire face à ce défi, l'amélioration de l'utilisation de l'eau s'avère nécessaire. Dans ce contexte, des travaux réalisés depuis plusieurs décennies sur l'effet de stress hydrique et l'efficacité d'utilisation de l'eau, s'orientent essentiellement, soit vers des approches expérimentales, soit vers des approches basées sur des modèles (Aouade. 2012).

L'utilisation d'outils de simulation pourra améliorer la compréhension du comportement variétal en condition de contraintes hydriques et aider à déterminer les phases de stress avec exactitude et leur impact sur le potentiel de production. Ils permettent d'estimer les besoins en eau de la culture et donc de mieux gérer les ressources hydriques (Steduto et al..2009).

Introduction

Pour répondre à ces préoccupations, un essai a été mené au niveau des sites expérimentaux de l'INRAA Sétif durant cinq campagnes. Le modèle de culture AquaCrop (FAO) a été utilisé dans cette étude pour simuler la quantité d'eau perdue par transpiration et l'évapotranspiration afin de prédire les périodes de stress hydrique.

Notre étude a pour objectifs : - la comparaison du comportement agronomique d'une collection de blé dur des quatre génotypes (Mexicali 75, Altar 84, Bousselem, Oued Zenati) ; - et la quantification du stress hydrique, sur ces variétés, selon les différents stades phénologiques du développement.

Chapitre I

Généralités sur le blé dur

I-1- Origine géographique

Le blé est l'une des premières espèces cultivées par l'homme depuis plus de 7000 à 10000 ans, dans le croissant fertile, zone couvrant la Palestine, la Syrie, l'Irak et des espèces tétraploïdes, remontant au VIIème millénaire avant J.C ont été découverts sur des sites archéologiques au Proche Orient (Harlan, 1975).

I-2- Origine génétique

Les deux espèces les plus cultivées sont le blé tendre (*Triticum aestivum*) et le blé dur (*triticum durum*) mais il existe de nombreuses autres espèces de *Triticum* qui se différencient par leur degré de ploïdie (blés diploïdes : génome AA ; blés tétraploïdes : génome AA, BB ; blés hexaploïdes : AA, BB et DD) et par leur nombre de chromosomes ; le blé dur ne contient que les deux génomes AA et BB et 28 chromosomes (Feillet,2000).

Les espèces de blé tirent leur origine génétique de croisements naturels entre *Triticum monococcum*, *Triticum urartu* et des espèces sauvages apparentées appartenant à *Aegilops* (*Aegilops speltoïdes*). *Triticum monococcum* et *Triticum urartu* sont les premières formes de céréales cultivées, elles sont de constitution génomique $2n = 14$. On croit que le sud-ouest du Croissant fertile (nord-ouest de la Palestine, sud-ouest de la Syrie et sud-est du Liban) soit le centre de diversité du blé sauvage tétraploïde, *Triticum turgidum* ssp. *dicoccoïdes* Thell., et le lieu d'émergence du type primitif *Triticum turgidum* ssp. *dicocum* Schrank ex Schübler (Feldman et Sears, 1981).

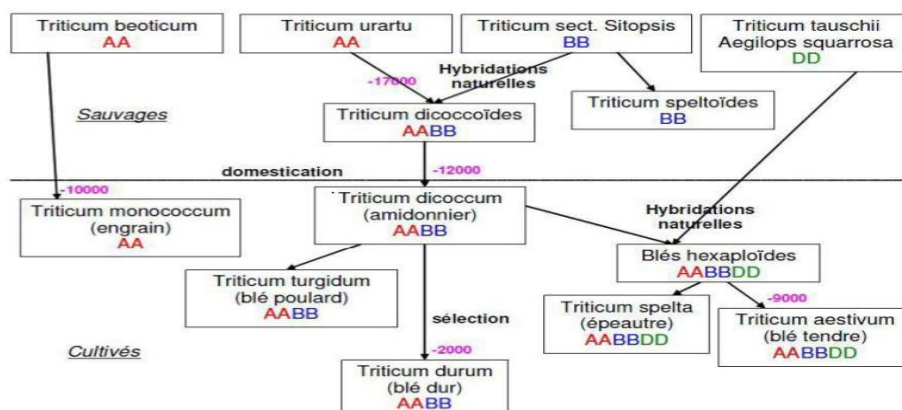


Figure 1 : Origines et généalogie du blé (Naville, 2005).

I-3-Classification botanique

D'après la classification de (Bonjean et Picard, 1990), il est une monocotylédone classée de la manière suivante :

Tableau I : la classification botanique du blé

Règne	Végétale
Embranchement	Spermatophyte
S/Embranchement	Angiosperme
Classe	Monocotylédone
Super Ordre	Commeliniflorales
Ordre	Poales
Famille	Graminacées (Graminées) (Poacées)
Genre	<i>Triticum sp</i>
Espèce	<i>Triticum durum</i> Desf

(Nom scientifique : *Triticum durum* = *Triticum turgidum*).

I-4 L'importance du blé**I-4-1 Dans le monde**

Les céréales occupent à l'échelle mondiale une place primordiale dans le système agricole. Ils sont considérés comme une principale source de la nutrition humaine et animale (Slama , 2005).

Selon les statistiques de (FAO,2018) la production mondiale de blé en 2018-2019 s'établit 746.6 millions de tonnes. Les dernières prévisions pour la production mondiale de blé en 2019-2020 s'établissent à 769.5 millions de tonnes (FAO ,2019). Les stocks, l'utilisation, production mondiale et commerce du blé au niveau mondial sont résumé dans le (tableau II).

TableauII : Le marché mondial du blé (FAO ,2019)

Marché mondial du blé						
	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19 estimation	2019/20 prévision	
					précédente (09 mai 2019)	dernière (06 juin 2019)
(..... millions de tonnes)						
Production1/	736.8	761.4	760.0	730.4	767.0	769.5
Disponibilités2/	962.5	1 002.6	1 022.4	1 012.3	1 035.2	1 037.9
Utilisation	715.5	735.7	738.5	746.4	756.9	755.0
Commerce3/	167.3	176.9	177.1	168.4	173.5	174.0
Stocks de clôture4/	241.3	262.4	281.9	268.4	278.0	280.8
(..... pour cent)						
Rapport stocks mondiaux- utilisation	32.8	35.5	37.8	35.6	36.2	36.6
Rapport stocks des principaux exportateurs- utilisation totale5/	20.6	18.5	14.9	20.1	18.7	19.1

I-4-2 En Algérie

« La campagne céréalière 2017/2018, a été particulièrement positive, et ce grâce aux efforts consentis par tous les acteurs du secteur », c'est ce qu'a déclaré Abdelkader Bouazghi, ministre de l'Agriculture, du développement rural, et de la Pêche, en ouverture de la réunion avec les cadres du secteur. Indiquant que la production réelle de cette campagne, est de l'ordre de 60,5 millions de quintaux contre 34, 7 millions de quintaux pour la campagne précédente, soit une hausse de 74,4%. (FCE, 2018)

Dans ce sens, le blé dur est représenté par une production de 31,5 millions de quintaux, contre 19,9 l'année passée, l'orge enregistre une production de 19,5 millions de quintaux contre 9,6 millions de quintaux, soit 100% d'augmentation, le reste est constitué de blé tendre et d'avoine. Pour les superficies emblavées au titre de la campagne 2017/2018, elles sont de l'ordre de 3,4 millions d'hectares. Ce qui a donné, 1,6 millions d'hectares pour le blé dur soit 46%, 480 000 hectares pour le blé tendre soit 14%, l'orge avec 1,2 millions d'hectares, et l'avoine avec 81 171 hectares (FCE, 2018).

I-5 Description morphologique du blé

Le blé est une plante herbacée annuelle qui produit le grain. C'est une graminée de hauteur moyenne pouvant atteindre jusqu'à 1.5m selon les variétés (Bozzini, 1988). L'appareil végétatif comprend l'appareil aérien et l'appareil racinaire (Gate et Giban, 2003).

I-5-1 Le système racinaire

Le système racinaire est de type fasciculé. En cour de développement, deux systèmes se forment (figure 02) :

- Le système racinaire séminal (primaire) : fonctionne de la germination au tallage.
- Le système racinaire coronaire (secondaire) : apparait au stade tallage (Moule, 1971).



Figure 02: les racines de blé dur

I-5-2 Le système aérien

Le système aérien est formé d'un certain nombre d'unité biologique, les talles, les feuilles et les grains. La talle est formée d'une tige feuillée ou chaume portant à son extrémité une inflorescence (Clarke et al., 2002). Les feuilles se composent d'une base (gaine) entourant la tige, d'une partie terminale qui s'aligne avec les nervures parallèle et d'une extrémité pointue. Au point d'attache de la gaine de la feuille se trouve une membrane mince et transparente (ligule) comportant deux petits appendices latéraux, les oreillettes.

I-5-3 L'appareil reproducteur

Les fleurs sont groupées en inflorescences de type épi, l'épi est composé d'épillets, L'épillet est une petite grappe d'une à cinq fleurs enveloppées chacune par deux glumelles.

L'épi est constitué d'un axe appelé le rachis sur lequel sont fixés les épillets.

Le blé est une plante monoïque à fleurs parfaites, Elle se reproduit par voie sexuée et par l'autofécondation (espèce autogame) (figure 03) (Moule, 1971).

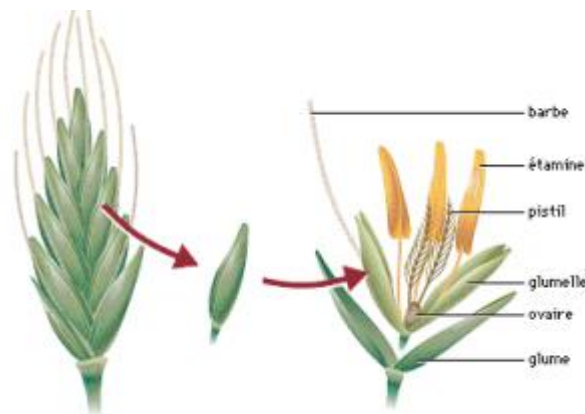


Figure 03 : Structure d'un épi et épillet du blé (Feillet,2000)

I-5-4 Le grain

Le grain de blé est un caryopse. C'est un fruit sec indéhiscent. Il est de couleur jaune-ambree à violacé selon l'espèce blé dur ou blé tendre et selon la variété. Il présente une partie plane (ventrale) et une partie dorsale légèrement bombée. La base élargie contient le germe et le sommet est garni de petits poils (la brosse). La partie ventrale est fendue par un sillon qui pénètre profondément dans le grain ; cependant la partie dorsale présente une arête plus ou moins prononcée (Gonde, 1986).

La coupe longitudinale révèle de l'extérieure vers l'intérieur les parties suivantes : les enveloppes, le germe et l'albumen ou amande (Figure 04) :

➤ Les enveloppes du fruit :

Elles représentent 14 à 16 % du poids du grain. Elles sont constituées de l'extérieur vers l'intérieur par :

- Le péricarpe : parois de l'ovaire qui comprend l'épicarpe ; le mésocarpe et l'endocarpe.
- Le tégument : enveloppe de la graine qui comprend le tégument séminal et la bande hyaline.

- L'assise protéique : qui représente 60% du poids des enveloppes et constitué de cellules à aleurones, riches en protéines (Soltner, 1987).

➤ Le germe

Il représente 2,5 à 3 % du grain et comprend :

- Le cotylédon ou scutellum, séparé de l'amande par une assise diastasique destinée à la digestion future de l'albumen au profit de la plantule.
- La plantule, avec sa gemmule recouverte d'un étui, la coléoptile, sa tigelle courte, et sa radicule, recouverte d'un étui, la coléorhize.

Le germe est très riche en matières grasses, matières azotées et vitamines A, E et B (Soltner, 1987).

➤ L'albumen ou amande :

Il représente 83 à 85 % du poids du grain, est composé de 70% d'amidon et de 7% de gluten. Chez le blé dur l'albumen est corné et vitreux, un peu comme celui du riz. L'albumen joue un rôle essentiel dans la composition de la semence ; il sert de réserve et ne sera complètement utilisé qu'au moment de la germination

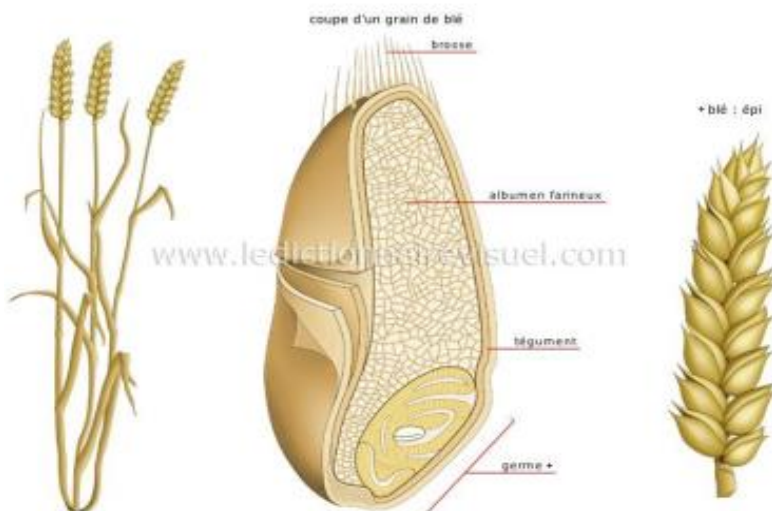


Figure 04 : Anatomie du grain de blé (Feillet, 2000).

I-6 Le cycle de développement

En général toutes les céréales en le même cycle de développement. Selon (Boufenar et al., 2006) le développement représente l'ensemble des modifications phénologique qui

apparaissent au cours du cycle de la culture. Trois périodes repères caractérisant le développement du blé à savoir : la période végétative, reproductrice et période de maturation.

I-6-1 Période végétative

➤ Germination

La germination est l'ensemble des phénomènes par lesquels la plantule, en vie ralentie dans la graine mure, commence une vie active et se développe grâce à des réserves contenues dans cette dernière (Mazoyer, 2002).

La germination commence quand le grain a absorbé environ 25% de son poids d'eau. Les téguments se déchirent, la racine principale, couverte d'une enveloppe appelée Coleorhize, apparaît, suivie par la sortie de la première feuille, couverte d'une enveloppe appelée Coléoptile, à la surface du sol, puis apparaissent d'autres racines et feuilles. La durée de cette phase varie avec la température de 8 à 15 jours (Clement et Prat, 1970)

➤ Levé

La levée est notée quand 50% de plantules sont sorties du sol (Karou et al., 1988), et que la première feuille pointe au grand jour son limbe. Deux autres feuilles suivent (Hucl et Baker, 1998, Davidson et Chevalier, 1990). Pendant cette phase, les jeunes plantes sont sensibles au manque d'eau qui provoque une diminution de nombre (Karou et al., 1998).

➤ Tallage

Cette phase s'annonce à partir de la quatrième feuille. Le début du tallage est marqué par l'apparition de l'extrémité de la première feuille de la talle latérale primaire puis d'autres talles naissent successivement à l'aisselle des 2^{ème} et 3^{ème} feuille de la tige centrale ; l'ensemble restant court noué, formant un plateau de tallage situé juste au niveau du sol (Figure 08). Ces talles primaires peuvent ensuite émettre des talles secondaires, lesquels à leurs tours émettent des talles tertiaire (Belaid, 1986 ; Gates, 1995). La fin du tallage est celle de la fin de la période végétative, elle marque le début de la phase reproductrice, conditionnée par la photopériode et la vernalisation qui autorisent l'élongation des entre nœuds (Gate, 1995).

I 6-2 Périodes de reproduction

➤ Montaison- Gonflement

Elle se manifeste à partir du stade épi à 01cm, par l'élongation du premier entrenœud. Ce stade est repérable une fois l'ébauche de l'épi du brin-maitre atteint 01cm de hauteur à partir de la couronne ou plateau de tallage (Gate, 1995). Ce stade est sensible aux basses températures variantes entre +4 et 0°C. Selon (Baldy ,1984), la montaison constitue la phase la plus critique du développement du blé. Cette phase s'achève une fois l'épi prend sa forme définitive à l'intérieur de la gaine de la feuille étendard qui gonfle. La durée de la phase est de 29 à 30 jours (Clement et Prat, 1970).

➤Epiaison- floraison :

L'épiaison est déterminée par l'apparition de l'épi hors de la gaine de la dernière feuille. Les épis dégainés fleurissent généralement entre 4 à 8 jours après l'épiaison (Bahlouli et al, 2005). Les basses températures au cours de ce stade réduisent fortement la fertilité des épis (Abbassenne et al. , 1998). Sa durée est de 16 à 17 jours (Clement et Prat,1970).

➤ Remplissage du grain

Cette phase marque la modification du fonctionnement de la plante qui sera alors orientée vers le remplissage des grains à partir de la biomasse produite. Au début, le grain s'organise, les cellules se multiplient. Les besoins des grains sont inférieurs à ce que fournissent les parties aériennes (plus de 3/4 de la matière sèche sont stockés au niveau des tiges et des feuilles). Par la suite, les besoins augmentent et le poids des grains dans l'épi s'élève, alors que la matière sèche des parties aériennes diminue progressivement. Seulement 10% à 15% de l'amidon du grain peut provenir de réserves antérieures à la floraison (Boulelouah, 2002).

A l'issue de cette phase, 40 à 50% des réserves se sont accumulées dans le grain qui, bien qu'il ait atteint sa taille définitive, se trouve encore vert et mou, c'est le stade «grain laiteux ».L'autre partie des réserves se trouve encore dans les tiges et les feuilles qui commencent à jaunir .Les réserves du grain proviennent en faible partie de la photosynthèse nette qui persiste dans les dernières feuilles vertes. Chez les variétés tardives, cette quantité est de 12 % contre25 % chez les précoces. La majeure partie des réserves accumulées vient des tiges et les feuilles jaunissantes, mais non encore desséchées (Boulelouah, 2002).

I 6-3 Période de maturation

La phase de maturation succède au stade pâteux (45 % d'humidité). Elle correspond à la phase au cours de laquelle le grain va perdre progressivement son humidité en passant par divers stades (Gate, 1995). Elle débute à la fin du palier hydrique marqué par la stabilité de la teneur en eau du grain pendant 10 à 15 jours. Au-delà de cette période, le grain ne perdra que l'excès d'eau qu'il contient et passera progressivement aux stades « rayable à l'angle » (20 % d'humidité) puis, « cassant sous la dent » (15-16 % d'humidité) (Gate, 1995).

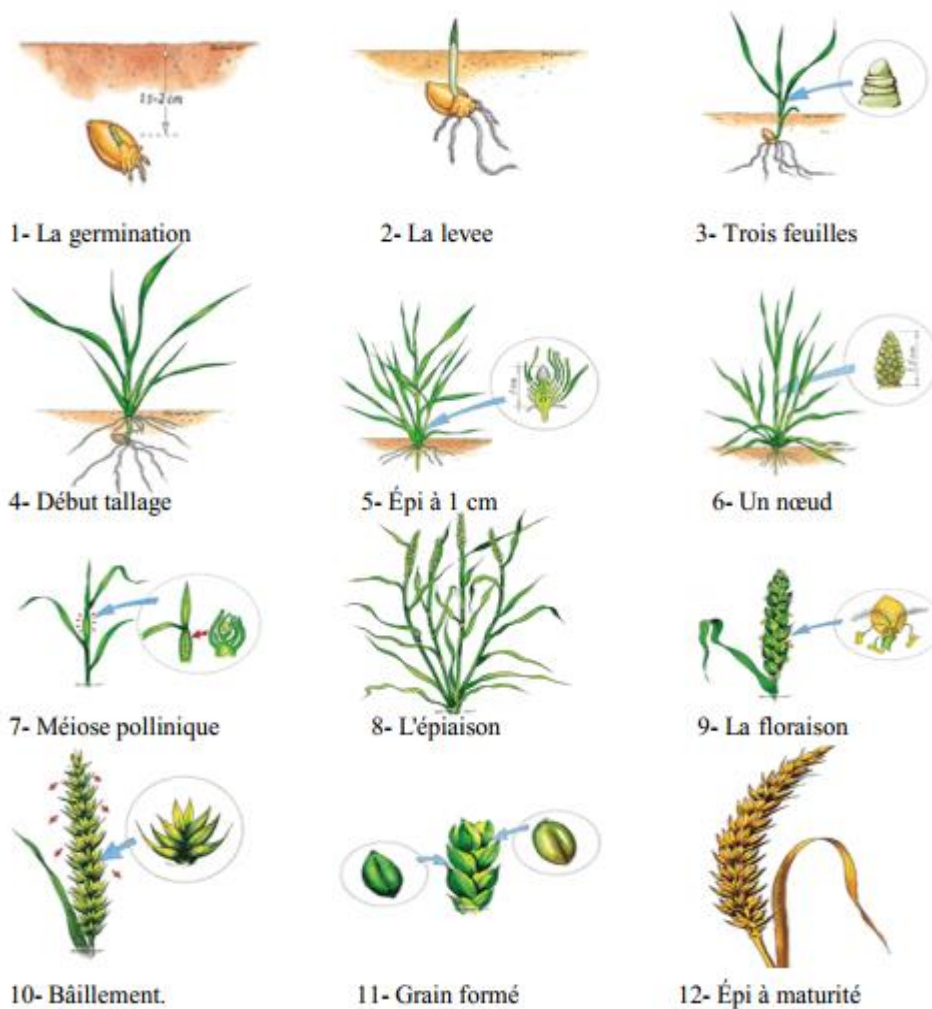


Figure 05 : Cycle de développement du blé (Soltner, 2005).

I-7- Les exigences de blé dur

I-7-1 Les exigences édaphique

D'après (Soltner, 2000) ; le blé dur préfère les sols du type argilo-calcaire ou limoneux à limono-argileux à cause de son système racinaire fasciculées. Les sols qui conviennent le

mieux au blé dur sont :

- 1- Les sols profonds (plus de 60cm de profondeur).
- 2- Les sols suffisamment riches en matières organiques et minérales.
- 3- Les sols bien drainés pour éviter tout développement de maladies.
- 4- Les sols capables de maintenir une réserve en eau suffisant pour assurer une bonne alimentation au moment de l'accumulation des réserves dans le grain.

I-7-2 Les exigences climatique

➤ **Température**

La température est l'un des facteurs importants pour la croissance et l'activité végétative. Selon (Soltner,1988), Le blé à un zéro de végétation très bas, à 0° c, son exigence en chaleur est très élevée, pour accomplir son cycle végétatif, il lui faut un cumul de température total de 2300°c, qui se répartissant comme suite :

- ✓ Semi-germination 150° c
- ✓ Germination- tallage 500 °c
- ✓ Tallage- floraison 85° c
- ✓ Floraison-maturation 800° c

➤ **Lumière**

La lumière est le facteur qui agit directement sur le bon fonctionnement de la photosynthèse et le comportement du blé (Benasseur,2003). Selon (Soltner, 2005) ; le bon tallage est garanti, si le blé est placé dans les conditions optimales d'éclairement, dont dépendent à la fois résistance des tiges à la verse et le rendement.

➤ **L'eau**

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.

A cet égard, (Clément et Parts ,1970) voient qu'il est intéressant de définir le coefficient de transpiration du blé, c'est-à-dire la quantité d'eau qui doit traverser la plante pour l'élaboration d'une certaine quantité de matière sèche. Pour le blé, suivant les variétés, la

valeur du coefficient de transpiration varie de 450 à 550 grammes d'eau pour un gramme de matière sèche.

I-7-3 Fertilisation

La fertilisation est raisonnée sur le principe de la restitution au sol des quantités d'éléments (N,P,K) fertilisants prélevés par les récoltes. Le blé a besoin de ces trois éléments essentiels et le rôle de chaque élément sur le plant de blé est le suivant (Hacini ,2014) .

➤ L'azote

C'est un facteur déterminant du rendement.

- Il permet la multiplication et l'élongation des feuilles et des tiges.
- Il a pour rôle l'augmentation de la masse végétative

Phosphore(P)

C'est un facteur de croissance qui favorise le développement des racines en cours de végétation.

- C'est un facteur de précocité qui favorise la maturation.
- Il accroît la résistance au froid et aux maladies.
- C'est un facteur de qualité (Hacini , 2014)

➤ Potassium(K)

- Il régule les fonctions vitales de la croissance végétale.
- Il est nécessaire à l'efficacité de la fumure azotée.
- Il permet une économie d'eau dans les tissus de la plante.
- Il assure une meilleure résistance à la verse et aux maladies (Hacini ,2014)

Chapitre II
Effet du stress hydrique sur la
plante

II -1 l'eau dans la plante

L'eau est la ressource naturelle qui limite le plus les rendements en agriculture (Boyer, 1982). Au niveau des hautes plaines semi-arides d'Algérie, la sécheresse est souvent le facteur principal qui affecte la production du blé (Larbi et al., 1998). En effet, L'eau est le constituant pondéral le plus important des végétaux (50 à 90% de leur masse de matière fraîche). Elle est le milieu dans lequel a lieu la quasi-totalité des réactions biochimiques ; elle joue le rôle de solvant, substrat et de catalyseur. Par la pression qu'elle exerce sur les parois, l'eau permet la turgescence cellulaire qui est indispensable au port érigé des plantes herbacées et à l'expansion cellulaire dans les tissus en croissance. La turgescence est également à la base des mouvements des organes (feuilles, étamines) et des cellules (stomates). A l'échelle de l'organisme, l'eau permet de véhiculer les substances nutritives, les déchets du catabolisme et des phytohormones (Martre, 1999).

II-2 la notion de stress

Le blé est l'une des cultures céréalières les plus importantes en Algérie. Il reste fortement menacé par différents stress abiotiques et biotiques (Ayad et al., 2014).

Le stress correspond à toute condition de l'environnement ou combinaison de conditions qui empêche la plante de réaliser l'expression de son potentiel génétique pour la croissance, le développement et la reproduction. En outre la température extérieure, le degré d'humidité relative de l'air et l'importance des vents modifient les besoins en eau des plantes(Morsli,2010).

II-2-1 le stress biotique

Ils comprennent l'ensemble des ravageurs inclus dans le règne animal allant des vers, aux mammifères : nématodes, insectes, oiseaux, rats. (Richards et al., 1985) Ces agents blessent les parties souterraines ou aériennes de la plante. Aussi Les champignons pouvant s'adapter à tous les milieux, absorbent les éléments nutritifs qu'ils se puisent dans les tissus de l'hôte

Ces micro-organismes pathogènes peuvent être disséminés par les insectes, le vent ou l'eau. Des blessures superficielles ou des stomates ouverts permettent aux bactéries de pénétrer dans les tissus de la plante hôte. (Prescott et al., 1987).

II-2-2 Le stress abiotique

Les facteurs abiotiques sont ceux liés à l'action du non-vivant sur le vivant, ils sont dus principalement à des facteurs environnementaux. Certains stades végétatifs sont particulièrement sensibles à ces contraintes abiotique donc les stress se traduisent chez les plantes par des changements morphologiques, physiologiques et moléculaires qui affectent leur croissance et leur productivité. (Djekoun et al, 1996).

II-2-2-1 Stress hydrique

Le stress hydrique est l'un des stress environnementaux les plus importants, affectant la productivité agricole autour du monde. Il occupe et continuera d'occuper une très grande place dans les chroniques agro-économiques. C'est un problème sérieux dans beaucoup d'environnements arides et semi-arides, où les précipitations changent d'année en année et où les plantes sont soumises à des périodes plus ou moins longues de déficit hydrique (Boyer, 1982).

Le stress hydrique peut se définir comme le rapport entre la quantité d'eau nécessaire à la croissance de la plante et la quantité d'eau disponible dans son environnement, sachant que la réserve d'eau utile pour la plante est la quantité d'eau du sol accessible par son système racinaire. La demande en eau de la plante est quant à elle déterminée par le niveau de transpiration ou évapotranspiration, ce qui inclut les pertes d'eau tant au niveau des feuilles qu'au niveau du sol (Laberche, 2004).

Le stress hydrique est toute restriction hydrique qui se traduit par une baisse de potentiel de la plante suite à une perturbation de son activité physiologique provoquée par un déficit de consommation en eau et communément appelé stress hydrique (Mouhouche et Boulassel, 1997).

II-2-2-2 Stress salin

Selon (Baiz, 2000) le stress salin est défini comme la présence d'une concentration excessive de sels solubles dans le sol ou dans l'eau d'irrigation. Dans le langage courant, le sel est le chlorure de sodium alors que dans la chimie un sel est le produit de la neutralisation d'un acide par une base (ou salification). au point de vue agronomique, la « salinité » d'un milieu correspond à une surcharge en sels minéraux de solution du sol ou la solution nutritive (Flowers, 2004).

II-2-2-3 Stress thermique

Pour effectuer sa croissance et son développement, chaque plante exige une gamme bien particulière de températures. Chaque plante possède une température optimale de croissance et de développement. Lorsque la température avoisine ses limites, la croissance diminue et au-delà, elle s'annule (Haichour, 2009).

Le stress thermique est souvent défini quand les températures sont assez hautes ou basses pendant un temps suffisant pour qu'elles endommagent irréversiblement la fonction ou le développement des plantes. Celles-ci peuvent être endommagées de différentes manières, soit par des températures basses ou élevées de jour ou de nuit, par l'air chaud ou froid ou par les températures élevées du sol (Oukarroum, 2007).

➤ Hautes températures

Selon (Gate .1979), les températures élevées réduisent en premier lieu la taille et le poids des organes (comme la hauteur et la biomasse de la tige, le poids des grains...) et diminuent aussi la taille des puits qui sont à leur origine.

D'après Rawson (1988), l'effet pénalisant de l'élévation de la température est surtout dû au fait que la plante n'arrive pas à absorber les éléments nutritifs et l'eau et les utiliser au rythme imposé par le stress thermique.

➤ Basses températures

L'abaissement brutal de la température, en dessous de 0 °C, provoque de nombreuses perturbations au sein du végétal. Lorsque la température chute fortement, des cristaux de glace se forment dans les espaces intercellulaires déshydratant les cellules dont l'eau est appelée vers ces espaces. La membrane plasmique perd sa perméabilité spécifique et il y a perturbation du fonctionnement cellulaire (Levitt, 1982).

II-3 Effet du stress sur la plante

II-3-1 Effet du stress sur les paramètres morphologique

➤ Partie souterraine (racine)

(Hopkins ,2003) affirme que la croissance des racines est généralement moins sensible au déficit hydrique que celle de la partie aérienne. La croissance racinaire est plutôt orientée dans un sens de remodelage de l'ensemble de système racinaire: le nombre des racines diminue, le volume racinaire est également réduit (Daaloul et al., 2005).

➤ Partie aérienne (feuilles)

La feuille est l'organe le plus sensible à la contrainte hydrique, elle change de forme et d'orientation (Gate et al., 1993). donc un déficit hydrique contrôle la croissance végétative en réduisant la vigueur de la plante. Les plantes soumises à un déficit hydrique voient généralement leur sénescence s'accélérer; et une perte trop importante d'eau par transpiration peut conduire à la mort des cellules (Bouchabke et al, 2006).

II-3-2 Effet sur les paramètres physiologique

Parmi les modifications physiologiques liées au stress hydrique, la régulation stomatique qui influe sur la photosynthèse et la respiration. La baisse du potentiel hydrique de la plante se traduit principalement par une diminution de la pression de turgescence ensuite à une perte de fonctions vitales (Benkolli et Bouzeghaia, 2016). Donc un stress hydrique provoque la fermeture des stomates, ralentissant la photosynthèse en même temps que la transpiration (Issad, 2013).

La sécheresse menace la capacité de la plante à maintenir sa photosynthèse. En cas de déficit hydrique, la plante pourra être exposée d'abord à une perte de turgescence (Hamla, 2016).

II-3-3 Effet sur le rendement

Le déficit hydrique est une contrainte abiotique majeure de la production agricole, il impact négativement le rendement de culture et la qualité des produits. Le déficit hydrique affecte significativement les composantes du rendement, en effet le rendement en grains chez le blé dépend fortement du nombre de grains par épi, du poids de grains par épi et du nombre d'épis par m² (Benkhellef, 2016).

Le tallage est l'un des principaux facteurs déterminant le rendement en grains chez les céréales, une carence hydrique précoce durant la phase végétative réduit le nombre et la taille des talles chez le blé. Après la fécondation, il réduit la taille des organes et s'il se poursuit pendant la phase de remplissage, il affecte leur composition et entraîne une diminution du poids de 1000 graines par altération de la vitesse et la durée de remplissage des grains (Bouthiba et al. 2010).

II-4 Les mécanismes d'adaptation au déficit hydrique

La tolérance d'une plante à une contrainte hydrique peut être définie, du point de vue physiologique, par sa capacité à survivre et à croître et, du point de vue agronomique, par l'obtention d'un rendement plus élevé que celui des plantes sensibles (Slama et al., 2005).

Il existe une large gamme de mécanismes de tolérances à la sécheresse qui ne sont pas exclusifs les uns des autres et qui peuvent même être complémentaires (Jones et al., 1980). Ces mécanismes sont d'ordre phénologique, morphologique, physiologique.

II-4-1 Adaptation morphologique

L'effet de la sécheresse peut se traduire, selon la stratégie adaptative de chaque espèce ou variété, par des modifications morphologiques pour augmenter l'absorption d'eau et/ou pour diminuer la transpiration et la compétition entre les organes pour les assimilats. Ces modifications affectent la partie aérienne ou souterraine : réduction de la surface foliaire et du nombre de tiges, enroulement des feuilles et/ou meilleur développement du système racinaire (Slama et al., 2005).

II-4-1-1 La hauteur de la plante

Il a été admis que les variétés de céréales les plus tolérantes à la sécheresse sont celles qui se caractérisent par une paille haute. Cette tolérance résulterait de l'aptitude à remplir correctement le grain en phase terminale du cycle grâce aux quantités d'assimilats stockées dans la tige et particulièrement au niveau du col de l'épi (Blum, 1988). Elle s'expliquerait aussi et souvent par le fait qu'une paille élevée est associée à un système racinaire profond capable d'une meilleure aptitude d'extraction de l'eau du sol (Bagga et al., 1980).

II-4-1-2 Longueur du col de l'épi, barbes

Ce paramètre constitue un bon indicateur de tolérance au déficit hydrique (Fisher et al., 1978). Le rôle de ce paramètre s'expliquerait par la quantité d'assimilats stockée par ces organes susceptibles d'un transfert vers le grain en cas de déficit terminal (Gate et al., 1990).

La présence des barbes chez les céréales augmente la possibilité d'utilisation de l'eau et l'élaboration de la matière sèche lors de la maturation de grain (Nemmar, 1980). La photosynthèse, chez les génotypes barbus comparativement aux génotypes glabres, est moins sensible à l'action inhibitrice des hautes températures lors du remplissage des grains (Focar et al., 1998).

En comparant trois variétés de blé dur, (Slama, 2002) trouve que la variété ayant la barbe la plus développée, sous contrainte hydrique, présente le meilleur rendement. En effet, les

barbes peuvent améliorer le rendement en conditions de sécheresse par augmentation de la surface photosynthétique de l'épi (Slama, 2005).

II-4-1-3 Glaucescence, pilosité, cire

La glaucescence, la pilosité des feuilles ou des tiges, la couleur claire des feuilles et la présence de cire induisent une augmentation de la réflectance qui conduit à une réduction des pertes en eau. (Clarke et al., 1989) montrent que la glaucescence réduit le taux de déperdition d'eau (transpiration cubiculaire) en conditions sèches et que les variétés qui ont une glaucescence élevée donnent dans ces conditions, des rendements plus élevés que les variétés à faible glaucescence.

(Clarke et Richards, 1988), montrent que la glaucescence réduit la transpiration résiduelle de 10% en moyenne. La comparaison de deux lignées isogéniques pour ce caractère montre que les quantités de cire épicuticulaires et la glaucescence influent également sur la transpiration résiduelle, celle-ci étant supérieure de 30% chez la lignée non glaucescente et à faible teneur en cire.

II-4-1-4 système racinaire

L'efficacité de l'extraction de l'eau du sol par les racines figure parmi les types d'adaptation permettant à la plante d'éviter ou, plus exactement, de retarder la déshydratation de ses tissus (Turner et al., 2001). L'aptitude des racines à exploiter les réserves en eau du sol sous stress est une réponse particulièrement efficace pour l'élaboration de la production de graines (Passioura, 1977).

Un système racinaire capable d'extraire l'eau du sol est un trait essentiel pour la tolérance à la sécheresse. Cette caractéristique revêt une importance particulière sur les cultures qui subissent régulièrement des déficits hydriques de fin de cycle (Subbarao, 1995). Son impact sur le rendement est particulièrement élevé car elle intervient directement dans l'efficacité d'utilisation de l'eau en conditions de stress. Un système racinaire extensif permet au blé de mieux résister à un stress hydrique (Bensalem et al., 1991) in (Mazouz, 2006).

II-4-1-5 Surface foliaire

La réduction de la surface foliaire, quand le stress hydrique est très important, est un Mécanisme de réduction des besoins en eau. (O'tool et Cruz, 1980), montrent que l'enroulement des feuilles entraîne une diminution de 40% à 60% de la transpiration ; le

phénomène d'enroulement des feuilles peut se manifester quand la sévérité du stress est de -0,8 à -1,0 MPa et on observe l'enroulement complet vers -2,0 à -2,5 MPa, ce qui correspond à des conditions de déficit hydrique intense (Morgan, 1984).

II-4-2 Adaptation physiologique

La stratégie de la tolérance est mise en œuvre par les plantes grâce à l'abaissement du potentiel hydrique qui maintient la turgescence (Sorrells et al., 2000). Les mécanismes intervenant dans la tolérance assurent l'hydratation cellulaire et diminuent la perte en eau en maintenant un statut hydrique favorable au développement foliaire. La réduction des pertes en eau par la fermeture stomatique est un moyen d'adaptation des plantes au stress. Cette diminution de la transpiration engendre une réduction de la photosynthèse. Les géotypes qui ont la capacité photosynthétique intrinsèque la moins affectée par le stress présentent une efficacité de l'utilisation de l'eau élevée et une plus grande capacité de survie (Araus et al., 1989).

II-4-2-1 Régulation stomatique

En situation de déficit hydrique, la plante transpire énormément, cette transpiration se manifeste par une perte d'eau sous forme de vapeur, devant ça les plantes répondent immédiate au stress hydrique par la fermeture des stomates. En effet, en cas de déficit hydrique, les racines synthétisent l'ABA qui est véhiculé par la sève jusqu'aux feuilles où il déclenche alors la fermeture de stomates (Benkhellef, 2016).

Le contrôle stomatique équilibre le bilan hydrique de la plante, restaure la turgescence et la croissance, des feuilles sensibles vis à vis du déficit hydrique (de raissac, 1992).

II-4-2-2 Ajustement osmotique

L'ajustement osmotique est un exemple d'adaptation qui permet le maintien d'une turgescence positive pour des teneurs en eau relativement faible, il intervient aussi en retardant la sénescence foliaire et en améliorant l'extraction de l'eau par les racines ; de ce fait de continuer ses activités métaboliques et survivre à la contrainte (Leonardis et al., 2010).

On parle d'ajustement osmotique quand les concentrations des solutés à l'intérieur de la cellule augmentent pour maintenir une pression osmotique cellulaire élevée. La cellule accumule alors activement des molécules comme réponse à la chute du potentiel osmotique, se traduisant ainsi par une plus grande capacité d'attraction et de rétention des molécules

d'eau. Ces molécules, appelées osmoticum, s'accumulent le plus souvent dans le cytoplasme (Semcheddine , 2008).

II-4-3 Adaptation phénologique

L'esquive permet à la plante de réduire ou d'annuler les effets de la contrainte hydrique par une bonne adéquation de son cycle de culture à la longueur de la saison des pluies. (Amigues et al., 2006). La précocité constitue un important mécanisme d'esquive de la sécheresse de fin de cycle (Ben Naceur et al., 1999). Le rendement de nombreuses variétés a été amélioré grâce au raccourcissement des longueurs de cycle chez pratiquement toutes les espèces cultivées annuelles (Turner et al., 2001), sur les légumineuses (Subbarao, 1995), comme sur les céréales (Fukai et al., 1999).

La précocité au stade épiaison est une composante importante d'esquive du stress de fin de cycle chez le blé dur, Compte tenu de la distribution aléatoire des précipitations dans les régions arides à semi-arides, l'adoption de variétés à cycle relativement court est nécessaire (Makhlouf et al., 2006). (Fisher et Maurer .1978) notent que chaque jour de gagner en précocité génère un gain en rendement de 30 à 85 kg/ha.

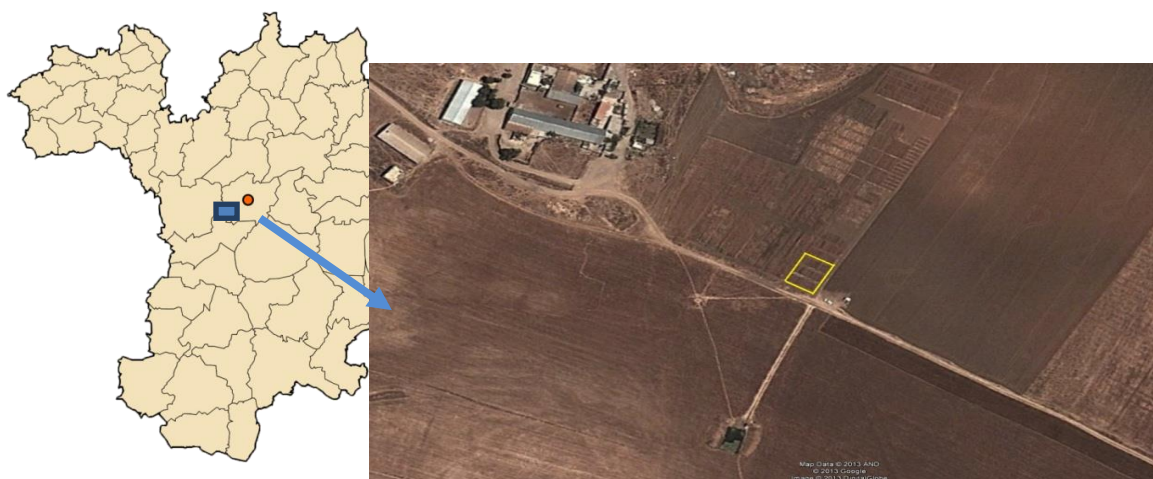
Chapitre III
Matériels et méthodes

III.1 Description du site expérimentale

Cette expérimentation est une synthèse des données des expérimentations menées par notre promoteur des cinq campagnes. L'étude a été conduite au niveau de site expérimental d'INRAA de Sétif, qui est situé à une altitude de 981 m, une altitude de 36° 15' Nord et à une longitude de 5° 37' Est. Cette étude a duré 5 campagnes agricoles : 2010-2011, 2011-2012, 2012-2013, 2014-2015 et 2015-2016.

Le climat de la région du site expérimental est de type méditerranéen semi-aride, caractérisé par un été chaud et sec, et un hiver froid et humide (Chennafi et al. ,2006). Alors que le sol est de type limoneux.

Les données climatiques durant la période de l'expérimentation et qui sont utilisées dans le model, sont obtenues à partir des stations météorologiques de l'aéroport de Sétif.



Source : mapOata 2013

Figure 06 : Situation du site de l'expérimentation

III.2 Dispositif expérimental

L'essai est conçu selon un dispositif en blocs complètement aléatoire. Chaque génotype est répété trois fois, avec des parcelles élémentaires comportant 6 lignes d'une longueur de 2,5 m avec un espace entre les lignes de 0.20m. L'espace entre les micros parcelles est de 40 cm et l'espace entre les blocs est de 1 m.

Le précédent cultural est une jachère travaillée et la densité de semis est de 300 grain/m².

Le semis est réalisé dans les dates suivantes :

- 30 novembre 2010 (campagne 2010-2011)
- 30 novembre 2011 (campagne 2011-2012)
- 07 décembre 2012 (campagne 2012-2013)
- 16 décembre 2012 (campagne 2014-2015)
- 21 décembre 2015 (campagne 2015-2016)

Les dates de récolte sont :

- 27 juin 2011 (campagne 2010-2011)
- 26 juin 2012 (campagne 2011-2012)
- 3 juillet 2013 (campagne 2012-2013)
- 1 juillet 2013 (campagne 2014-2015)
- 6 juillet 2016 (campagne 2015-2016)

Le désherbage chimique est appliqué au stade milieu du tallage par le désherbant Doolper (plus) 2 l/ha qui est anti graminée, et Sekator 0.15 l/ha qui est anti dicotylédones.

III .3 Le Matériel végétal

L'étude a comporté 4 variétés différentes de blé dur, issu de sélection CIMMYT/ICARDA et de variétés locales. Ces variétés ont des potentiels de production et des comportements différents, et le tableau ci-dessous, montre leur origine.

Tableau III : les variétés utilisées à l'expérimentation.

N°	Variété	Origine
1	Oued zenati	Variété locale
2	Bousselam	Sélectionné localement à partir de CIMMYT/ICARDA
3	Altar 84	Variété CIMMYT
4	Mexicali 75	Variété CIMMYT

Source (Guendouz, 2009)

III .4 Logiciel AquaCrop

AquaCrop est modèle de la productivité de l'eau des cultures, élaboré par la division des terres et des eaux de la FAO, pour répondre aux problèmes de sécurité alimentaire et évaluer l'effet de l'environnement et de la gestion sur la production agricole. AquaCrop simule la réponse du rendement à l'eau des cultures herbacées et est particulièrement bien adapté aux conditions dans lesquelles l'eau est un facteur clé limitant la production agricole.

AquaCrop équilibre la précision, la simplicité et la robustesse. Pour assurer sa grande applicabilité, il utilise uniquement un petit nombre de paramètres explicites et des données d'entrée principalement intuitives qui peuvent être déterminées à l'aide de méthodes simples (FAO).

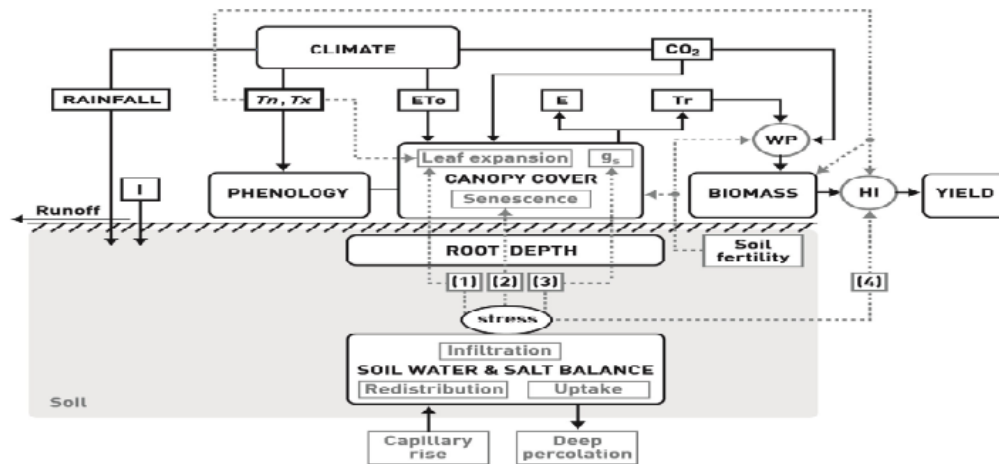


Figure 07 : Les relations fonctionnelles entre les différents composants du modèle

III .4.1 Les données d'entrées

AquaCrop utilise un nombre relativement faible de paramètres explicites et variables d'entrée largement intuitifs, soit largement utilisé ou nécessitant des méthodes simples pour leur détermination. Entrée composée des données météorologiques, les caractéristiques des cultures et des sols et des pratiques de gestion qui définissent l'environnement dans lequel la culture se développe. Les entrées sont stockées dans le climat, la culture, le sol et les fichiers de gestion et peuvent être facilement réglés grâce à l'interface utilisateur (Raes et al., 2009).

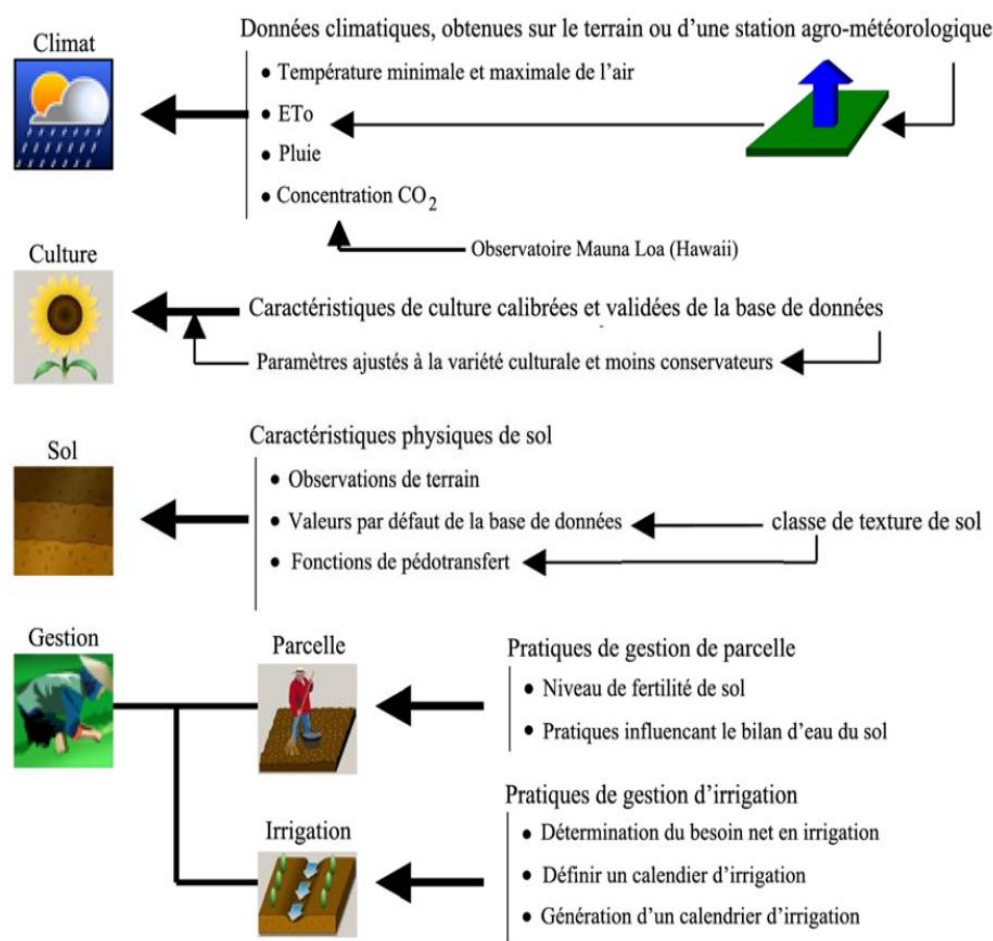


Figure 08 : Données d'entrée définissant l'environnement dans lequel la culture va se développer (Raes et al., 2009).

III .4.1 .1 Données climatique

Pour chaque jour de la période de simulation, AquaCrop nécessite la température minimale (T_{\min}) et la température maximale (T_{\max}) de l'air, l'évapotranspiration de référence (ETo) en tant que mesure de la demande par évaporation de l'atmosphère, et les précipitations. La concentration de CO₂ annuelle moyenne doit être connue. La température influe sur la croissance des cultures (phénologie) et, au moment de limitation, la croissance et l'accumulation de biomasse. Les précipitations et ETo sont déterminants pour l'équilibre hydrique de la zone des racines et de la concentration de CO₂ de air affecte la productivité en eau des cultures (Raes et al., 2009).

III .4.1 .2 Caractéristiques des cultures

Quand une culture n'est pas disponible dans la banque de données, un fichier de récolte peut être créé en spécifiant le type de cultures (fruits ou céréales, les cultures à racines et

tubercules, les légumes à feuilles, ou des cultures fourragères) et la durée de son cycle de croissance. Sur la base de cette information, AquaCrop fournit des valeurs par défaut ou les valeurs de l'échantillon pour tous les paramètres requis. En l'absence d'informations plus précises ces valeurs peuvent être utilisées. Grâce à l'interface utilisateur par défaut peuvent être ajusté (Raes et al. , 2009).

III .4.1 .3 Caractéristiques du sol

Le profil du sol peut être composé d'un maximum de cinq horizons différents de profondeur variable, chacun avec ses propres caractéristiques physiques. Les caractéristiques hydrauliques sont considérées comme la conductivité hydraulique à saturation (K_{sat}) et la teneur en eau du sol à saturation (θ_{sat}), la capacité au champ (θ_{fc}), et au point de flétrissement permanent (θ_{PWP}). L'utilisateur peut utiliser les valeurs indicatives fournies par AquaCrop pour différentes classes de texture du sol, ou l'importation déterminée localement ou dérivée des données de la texture du sol à l'aide de fonctions de pédo-transfert. Si une couche bloque l'expansion de la zone racine, sa profondeur dans le profil du sol doit être précisée ainsi (Raes et al., 2009).

III .4.1 .4 Pratiques de gestion

Les pratiques de gestions sont divisées en deux catégories : la gestion des champs et les pratiques de gestion de l'irrigation :

- Dans les pratiques de gestion des champs, il y a des choix de niveaux de fertilité du sol et les pratiques qui affectent l'équilibre hydrique du sol, comme paillage pour réduire l'évaporation du sol, diguettes enterre pour stocker l'eau sur le terrain, et les pratiques culturales telles que le buttage du sol au contours réduisant le ruissellement de l'eau de pluie. Les taux de fécondité varie de non limitatif jusqu'à pauvres, avec des effets sur WP, sur le taux de croissance de la couverture végétale, sur la couverture maximale, et sur la sénescence (Raes et al., 2009).
- Dans la gestion de l'irrigation, c'est à l'utilisateur de choisir si la culture est pluviale ou irriguée. Si irriguée, l'utilisateur peut sélectionner la méthode d'application (aspersion, goutte à goutte, ou de surface), la fraction de surface mouillée, et préciser pour chaque événement d'irrigation, la qualité de l'eau d'irrigation, le calendrier et le montant d'irrigation appliquée. Il existe également des options pour évaluer le besoin en irrigation net et de générer des programmes d'irrigation en fonction du temps spécifié et les critères de profondeur. Etant donné que les critères pourraient changer au cours de la saison, le programme fournit les

moyens de tester des stratégies d'irrigation déficitaire en appliquant des quantités d'eau choisis à divers stades de développement des cultures (Raes et al. , 2009).

III .5 Mesures et notations

III .5.1 Paramètres climatiques

III .5.1.1 Température et pluviométrie

La pluviométrie ainsi que la température maximale et minimale sont enregistrées quotidiennement.

III.5.2 Paramètres agronomiques

III .5.2.1 Le poids de mille graines (PMG)

Ce paramètre est mesuré déterminant le poids moyen de 250 grains par plante de chaque génotype, par la règle de, en trouve le poids de mille grains.

III5.2.2 Le nombre de grain par m²

Le nombre de grain par unité de surface est déterminé par la multiplication du nombre des grains par épi sur le nombre d'épis par m².

III5.2.3. Le nombre d'épi par m²

Est estimé à partir du comptage du nombre d'épi /m linéaire, ce dernier est rapporté au m².

III5.2.4. Rendement en grain

Rendement en grain RDT est déterminé suite à la fauche et le battage de la végétation d'un rang de 1m par parcelle élémentaire. Le rendement en grain chez le blé dépend fortement du nombre de grain par épi, du poids de mille grains par épi et du nombre d'épis par m² (Triboï,1990).Il est déterminé par la formule suivante :

$$\text{Rendement} = \text{Nombre d'épis/ m}^2 \times \text{Nombre de grains / épi} \times \text{PMG}$$

III5.2.5. La Biomasse aérienne

Le poids de la biomasse aérienne accumulée à maturité, déterminée à partir d'un bottillon de végétation récolté d'un rang de 1m par parcelle élémentaire.

III.5.2.6 L'indice de la récolte

Est déduit par le rapport du rendement en grain et de la biomasse aérienne mesurée à maturité :

$$\text{HI}(\%) = 100(\text{RDT}/\text{BIO})$$

III .6- Analyses statistique

Costat (Version 6.4) : a été utilisé pour l'analyse de la variance et la comparaison de moyennes des paramètres mesurée.

Statistica (version8) : a été utilisé pour la corrélation entre les paramètres mesuré.

Excel (Version2013) : a été utilisé pour la création des courbes ; diagrammes, droits de régression.

Chapitre IV

Résultat et discussion

IV.1 Résultat

IV .1.1 Paramètres climatiques

IV .1.1.1 Température

Les températures moyennes mensuelles des saisons 2010/2011, 2011/2012, 2012/2013, 2014/2015 et 2015/2016 du site expérimental sont similaires (Figure 09).

Les températures du mois de février des campagnes 2011/2012, 2012/2013, 2014/2015 sont les plus basses avec 1,6 C°, 3,5 C° et 4 C° respectivement. Tandis que, les températures du mois de juin des campagnes 2011/2012, 2014/2015 et 2015/2016 sont les plus chaudes avec respectivement 25,5 C°, 21,3 C° et 22,4 C°.

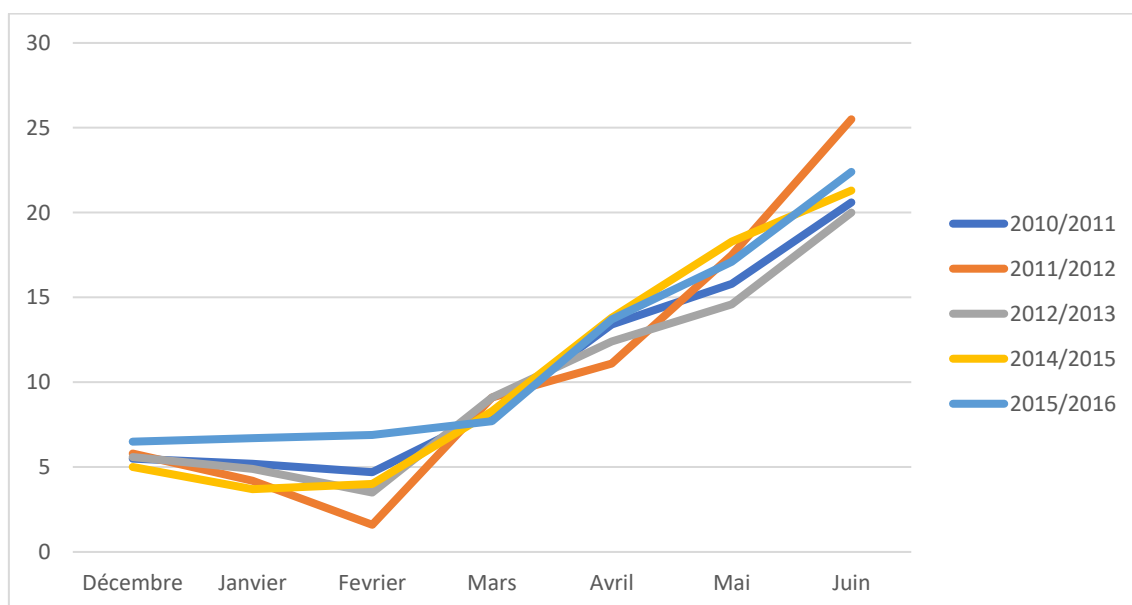


Figure 09 : Températures moyennes mensuelles des campagnes de l'étude (2010-2016).

IV.1.1.2 Pluviométrie

Le cumule de pluie durant le cycle de la culture est de 269,28 mm, il varie entre un minimum de 216.66 mm pour la campagne 2015/2016 et un maximum de 312.19 mm durant la première campagne 2010-2011 (Tableau IV).

Tableau IV : Précipitations moyennes mensuelles des campagnes de l'étude (2010-2016).

	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Cumul
2010/11	22,35	13,22	97,54	36,58	81,04	43,18	18,28	312,19
2011/12	26,17	48,01	64,25	14,22	79,5	6,1	14,98	253,23
2012/13	5,84	77,21	51,83	29,22	38,09	58,42	2,03	262,64
2014/15	61,97	68,84	60,95	52,82	5,08	25,91	26,15	301,72
2015/16	0	17,27	35,31	73,66	42,42	37,84	10,16	216,66
Moyenne	23,266	44,91	61,976	41,3	49,226	34,29	14,32	269,288

IV.1.2 Les composantes du rendement

IV .1.2 .1 Le nombre d'épi par m²

L'analyse de variance fait ressortir une différence significative entre les génotypes et les campagnes. Le nombre moyen d'épis par m² est de 303,632 épis/m². Altar84 et Mexicali75 ont le meilleur peuplement avec la même valeur (316,33 épis/m²), tandis que Bosselem et Oued Zenati enregistrent 289,88 et 289,77 épis/m² respectivement (Figure 12). La comparaison du nombre d'épis moyen produit par plant fait ressortir deux groupes homogènes (Tableau v).

Cependant pour l'effet campagne, le nombre d'épis par m² varient entre 110 et 523,33 épis/m². La campagne 2014/2015 enregistre le meilleur peuplement épis et la valeur la plus faible caractérise la campagne 2015/2016 (Tableau V). Cinq groupes homogènes sont révélés par le test PPDS.

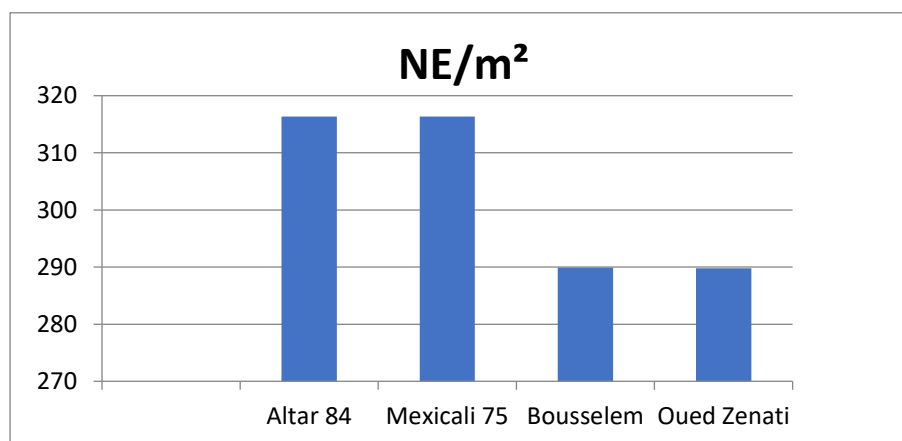


Figure 10: Histogramme de la moyenne du nombre d'épi/m² des variétés étudiées durant cinq campagnes (2010/2016)

IV .1.2 .2 Nombre de grain par m²

Les résultats montrent que le nombre du grain par m² varie entre 10542,04 g et 8115 g, Altar84 enregistre le nombre de grain le plus élevé, alors que celui Oued Zenati est le plus faible (Figure 11). La comparaison des moyennes par le test LSD nous a permis d'avoir quatre groupes homogènes (Tableau V).

La campagne agricole 2014/2015 marque la valeur la plus élevée (13593,8g) et la plus faible valeur revient à la campagne 2015/2016 (3889,34g). On distingue par le test LSD cinq groupes homogènes (Tableau V) ; et l'analyse de variance montre qu'il y'a une différence très hautement significative entre les génotypes et les campagnes.

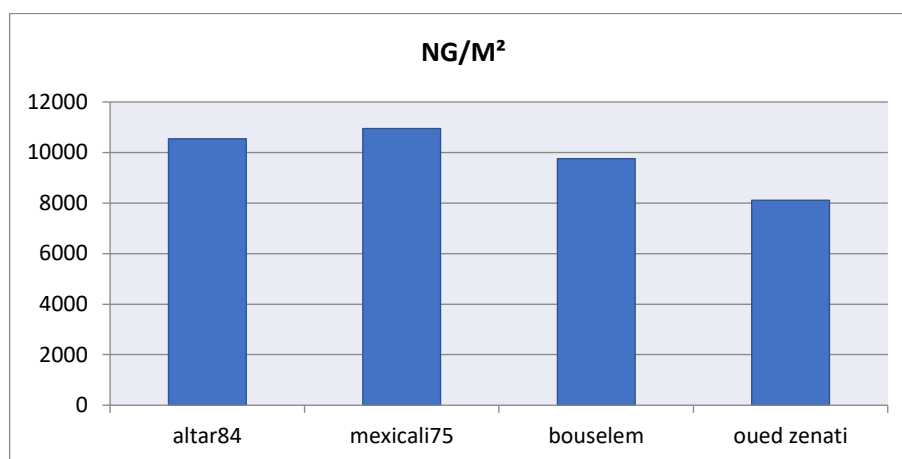


Figure 11: Histogramme de la moyenne du nombre de grains /m² des variétés étudiées durant cinq campagnes (2010/2016)

IV.1.2 .3 Poids de mille grains

L'analyse de variance pour nos cinq campagnes d'étude (2010-2016), montre qu'il y a une différence très hautement significative entre les génotypes et les campagnes étudiés. C'est la variété Oued Zenati qui a le meilleur PMG avec 46,40 g, suivi de Bousselem 45,59 g puis d'Altar 84 et Mexicali 75 avec respectivement 43,71 g et 40,94 g (Figure 10). La comparaison des moyennes par le test LSD nous a permis de différencier trois groupes homogènes en termes de poids de mille grains (Tableau V).

En revanche pour l'effet campagne on distingue cinq groupes homogènes (Tableau V). Où c'est la campagne 2010/2011 qui est classée la première avec 54,82 g, et c'est la campagne 2015/2016 qui marque le faible PMG avec 36,55g.

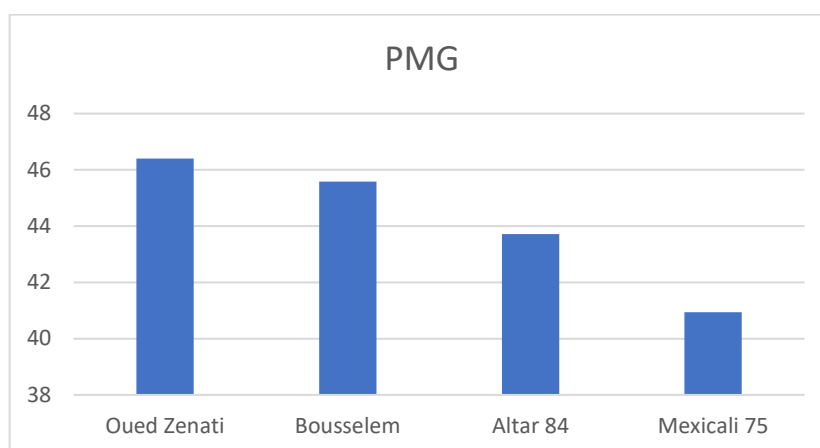


Figure 12: Histogramme de la moyenne du PMG des variétés étudiées durant cinq campagnes (2010/2016) .

IV.1.2 .4 Rendement grain

L'analyse de variance montre des effets génotypes et campagnes très hautement significatifs au seuil de 5%. La variété Altar84 se détache en tête avec un rendement de 45,02qx/ha, suivie par la variété Bousselem avec une valeur de 42,47qx/ha ; les deux variétés Mexicali75 et Oued Zenati avec presque le même rendement de 39,7qx/ha et 39,61qx/ha respectivement, sont les moins productives (Figure 13). La comparaison des moyennes par le test LSD nous a permis de différencier deux groupes homogènes.

La campagne 2014/2015 marque le meilleur rendement avec 59,40 qx/ha, en revanche, c'est la campagne 2015/2016 qui a le plus faible rendement avec 14,47 qx/ha. Cinq groupes homogènes se distinguent lors de la comparaison des moyennes (Tableau V).

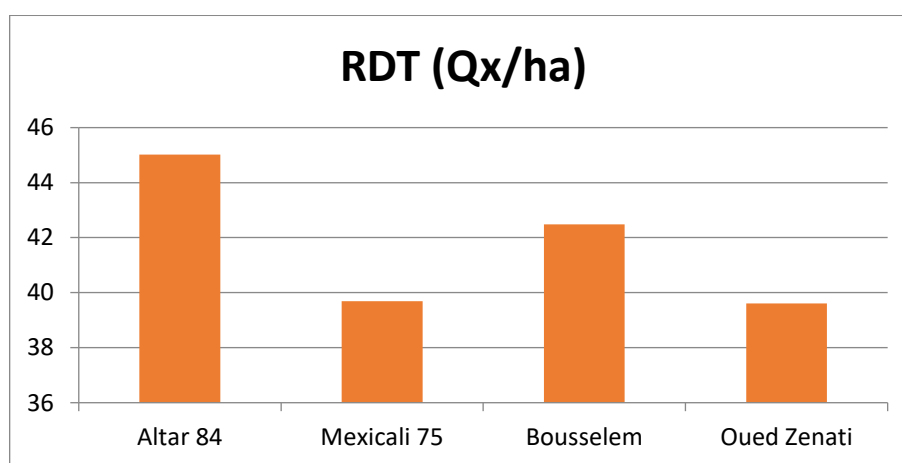


Figure 13 : Histogramme de la moyenne du rendement en grain des variétés étudiées durant cinq campagnes (2010/2016)

IV .1.2 .5 Biomasse aérienne

L'analyse de variance de la biomasse aérienne montre une différence très hautement significative entre les variétés testées et les campagnes. Toutefois, Oued Zenati et Altar84 arrivent à produire les biomasses les plus élevées : 128,81qx/ha et 115,22qx/ha respectivement, alors que Bousselem avec 108,69 qx/ha enregistre la plus faible biomasse (Figure 14). On distingue trois groupes homogènes (Tableau V).

Les campagnes montrent que l'année 2014/2015 se détache en tête avec une valeur de 145,60qx/ha alors que l'année 2011/2012 marque la plus faible biomasse avec 76,8qx/ha. Le test PPDS montre qu'il y'a cinq groupes homogènes (Tableau V).

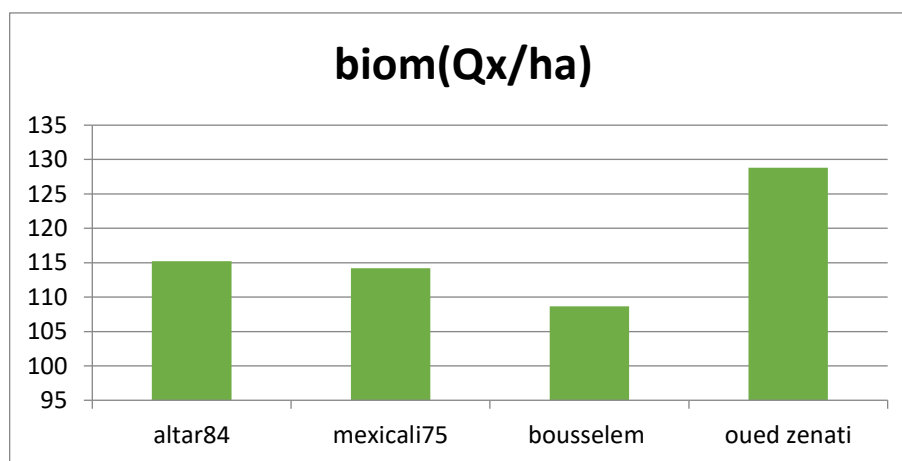


Figure 14 : Histogramme de la moyenne de la biomasse aérienne des variétés étudiées durant cinq campagnes (2010/2016)

IV .1.2 .6 Indice de la récolte

L'indice de récolte (HI) est très hautement significativement différent d'une variété à une autre et entre les campagnes. On note qu'Altar84 a enregistré le plus fort indice, soit 47,84% alors qu'Oued Zenati a le plus faible indice avec 32,9% (Figure 15). La comparaison des moyennes de l'indice de récolte met en évidence quatre groupes homogènes (Tableau V). La première campagne 2010/2011 enregistre le meilleur indice de récolte (49,77 %) alors que la dernière campagne 2015/2016 marque l'indice le plus faible (39,30 %). Le test LSD permet de différencier cinq groupes homogènes (Tableau V).

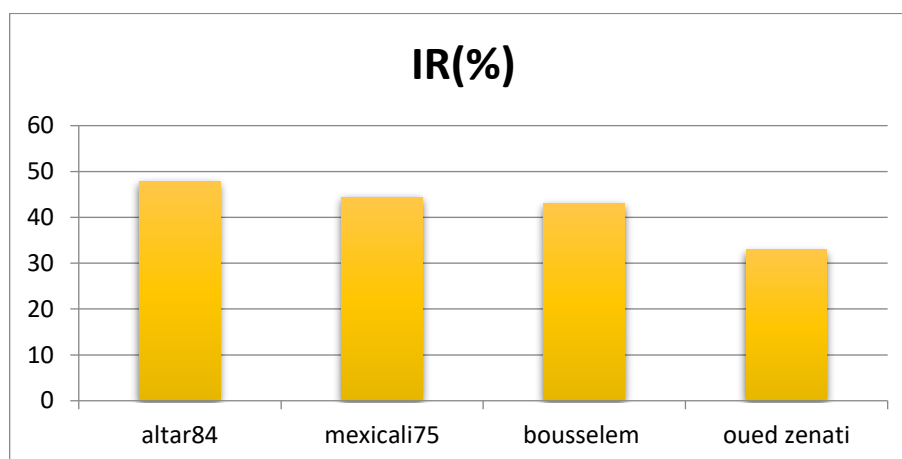


Figure 14 : Histogramme de la moyenne de l'indice de récolte des variétés étudiées durant (2010/2016).

Tableau V: Comparaison des moyennes du rendement et ses composantes

Génotypes	NE/m ²	NG/m ²	PMG (g)	RDT (Qx/ha)	Biom (Qx/ha)	IR (%)
Altar 84	316,33(a)	10542,04 (a)	43,71 (b)	45,02 (a)	115,22 (b)	47,84
Mexicali 75	316,33 (a)	10247,02 (b)	40,94 (c)	39,7 (c)	114,21 (b)	44,38
Bousselem	289,88 (b)	9760,36 (c)	45,59 (a)	42,47 (b)	108,69 (c)	43,01
Oued Zenati	289,77 (b)	8115(d)	46,40 (a)	39,61 (c)	128,81 (a)	32,90
Moyenne	303,632	9840,93	44,1966	42,1234	116,616	42,5594
max	316,33	10542,04	43,71	45,02	115,22	47,84
min	289,77	8115	46,40	39,61	128,806	32,90
LSD 0,05	9,13	22,46	1,68	0,7	1,07	1,05
Campagnes	NE/m ²	NG/m ²	PMG	RDT	Biom	IR
2010/2011	271 ,23 (c)	10195,91 (c)	54,82 (c)	55,7(b)	112,45(d)	49,77 (b)
2011/2012	213,74 (d)	7579,41 (d)	38,65 (d)	29,36 (d)	76,87 (e)	40,36 (bc)
2012/2013	397,08 (b)	13072,55 (b)	47,12 (b)	49,58 (c)	127,13 (b)	39,85 (bc)
2014/2015	523,33 (a)	13593,8 (a)	43,66 (a)	59,40 (a)	145,6 (a)	40,90 (b)
2015/2016	110 (e)	3889,34 (e)	36,55 (e)	14,47 (e)	121,6 (c)	39,30 (c)
Max	523,33	13593,8	54,82	59,4	127,13	40,9
Min	110	3889,34	36,55	14,47	76,87	39,30
LSD	10,20	29	1,88	0,79	1,19	1,17
CV (%)	4,07%	0,36%	5,15%	2,28%	1,23%	3,37%

IV .3 Résultats du modèle AquaCrop

IV .3 .1 Simulation du bilan hydrique

IV.3.2 Paramètres de mesures

A l'échelle du cycle cultural entier, les résultats de la simulation du bilan hydrique par le modèle AquaCrop indiquent un grand écart, entre évapotranspiration réelle et l'évapotranspiration potentielle.

Tableau VI : Résultat de la simulation du bilan hydrique

Campagne	ETP	ETR
2010/2011	552,89	396,86
2011/2012	566,78	339,15
2012/2013	592,94	439,99
2014/2015	564,96	370,28
2015/2016	373,90	91,06

III .3 .3 Phase de stress selon la phénologie

Le pourcentage du stress hydrique est calculé par la méthode utilisé par (Doorenbos et Kassam,1979) : **Stress hydrique=1-(ETR/ETP)** .

Les valeurs du pourcentage de stress hydrique sont entre 0 et 1 ; 0=pas de stress, 1= stress.

Le bilan hydrique indique en évidence deux phases de stress : la première est observée dès le semis ($K_s= 0,45$) et ne semble pas affecter la végétation, le stress hydrique est presque identique pour tous les génotypes (Tableau VII) .En revanche la deuxième phase (épiaison-maturité) a un effet contraignant sur la culture ($K_s= 0,66$), elle coïncide avec deux stades importants de la croissance et du développement de la végétation, Les génotypes précoce (Bousselem, Mexicali 75, Altar85) ont subi moins de stress contrairement au génotype tardif (Oued Zenati) qui est le plus stressé ($K_s= 0,72$) (Tableau VII) .

Tableau VII : Les pourcentages de stress Hydrique durant les cinq campagnes agricoles

Campagne	Phase	Nombre de jours	ETP	ETR	Stress Hydrique
2010/2011	Semi-Levée	38,75	53,38	33,43	0,37
	Levée -Epiaison	159,25	329,38	263,63	0,20
	Epiaison-maturité	189,25	170,13	99,80	0,41
2011/2012	Semi-Levée	35,00	46,70	25,80	0,45
	Levée -Epiaison	155,00	318,20	261,80	0,17
	Epiaison-maturité	187,00	201,88	51,55	0,74
2012/2013	Semi-Levée	32,00	58,78	31,08	0,47
	Levée -Epiaison	157,00	362,38	330,93	0,09
	Epiaison-maturité	186,00	171,78	77,98	0,54
2014/2015	Semi-Levée	38,75	47,75	36,73	0,23
	Levée -Epiaison	164,75	300,33	258,85	0,13
	Epiaison-maturité	190,75	216,88	74,70	0,65
2015/2016	Semi-Levée	27,75	53,75	13,65	0,74
	Levée Epiaison	159,00	126,90	72,20	0,42
	Epiaison-maturité	185,00	193,25	5,21	0,97
Moyenne des campagnes	Semi-Levée	36,55	52,07	28,14	0,45
	Levée -Epiaison	160,30	287,44	237,48	0,20
	Epiaison-maturité	188,70	190,78	61,85	0,66
Géotype	Phase	Jour	ETP	ETR	Stress hydrique
Oued Zenati	Semi-Levée	35,20	50,38	26,85	0,46
	Levée -Epiaison	165,40	315,62	250,55	0,24
	Epiaison-maturité	195,20	187,66	51,94	0,72
Bousselem	Semi-Levée	35,00	50,10	26,61	0,46
	Levée -Epiaison	158,40	278,94	234,78	0,19
	Epiaison-maturité	189,80	196,78	66,00	0,65
Altar 84	Semi-Levée	38,60	54,86	30,13	0,44
	Levée -Epiaison	158,20	273,60	232,54	0,18
	Epiaison-maturité	189,60	198,06	64,41	0,66
Mexicali 75	Semi-Levée	37,40	52,94	28,95	0,45
	Levée -Epiaison	159,20	281,58	232,06	0,21
	Epiaison-maturité	190,60	180,62	65,03	0,63
Moyenne	Semi-Levée	36,55	52,07	28,14	0,45
	Levée -Epiaison	160,30	287,44	237,48	0,20
	Epiaison-maturité	191,30	190,78	61,85	0,66

a- Semis-levée

Cette phase correspond à l'installation de la culture, durant laquelle le taux de la couverture végétale est très faible. Elle a duré en moyenne 36,55 jours. Le déficit hydrique est élevé durant cette phase pour toutes les campagnes.

La campagne 2010-2011, a été marquée par une évapotranspiration réelle (ETR) pour ce stade relativement faible soit ;33,43mm, alors que l'évapotranspiration potentielle de la culture (ETP) est de 53,38mm, (Tableau VII) Le coefficient de stress $K_s = 0,37$, ceci signifie que l'évapotranspiration réelle était déficitaire de près de 37% de celle prédite pour cette phase.

La campagne 2011-2012 enregistre un cumul d'ETR et d'ETP de 25,8 mm et 46,7 mm respectivement ; le coefficient de stress pour ce stade $K_s=0,45$ (Figure16).

Pour la campagne 2012-2013, L'évapotranspiration réelle (ETR) est de 31,08mm et l'évapotranspiration potentielle de la culture (ETP) est 58,78mm (Tableau VII) .Le coefficient de stress pour ce stade $k_s = 0,47$. L'évapotranspiration réelle était déficitaire de près de 47% de celle prédite pour cette phase.

La campagne 2014-2015, a été marquée par une évapotranspiration réelle (ETR) pour ce stade relativement faible soit ; 36,73mm, alors que l'évapotranspiration potentielle de la culture (ETP) est de 47,75mm, (Tableau VII).Le coefficient de stress $K_s = 0,23$.

Pour la campagne 2015-2016, L'évapotranspiration réelle (ETR) est de 13,65mm et l'évapotranspiration potentielle de la culture (ETP) est 53,75mm (Tableau VII). Le coefficient de stress pour ce stade $k_s = 0,74$ (figure 16). L'évapotranspiration réelle était déficitaire de près de 74% de celle prédite pour cette phase.

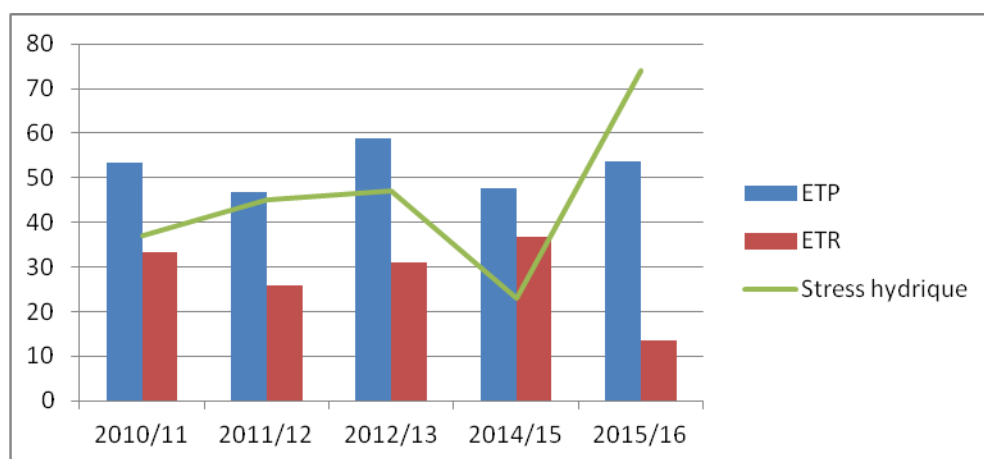


Figure16 : Variation de la moyenne du stress hydrique et de la transpiration potentielle et réelle durant la phase semis-tallage entre les campagnes.

b- Levé – Epiaison

Cette phase se caractérise par l'augmentation du taux de la couverture végétale du sol et un développement considérable du système racinaire. Ce stade s'étale sur 160.30 jours.

La campagne 2010-2011 enregistre un cumul d'ETR et d'ETP de 263,63mm et 329,38mm respectivement, le coefficient de stress pour ce stade $K_{si}=0,20$ (Tableau VII), Ceci laisse supposer que la période de se stade s'est déroulé dans de bonnes conditions d'alimentation hydrique du sol.

La campagne 2011-2012, est marquée par une évapotranspiration réelle (ETR) pour ce stade de 261,8 mm, alors que l'évapotranspiration potentielle de la culture (ETP) est de 318,2mm, (Tableau VII), Le coefficient de stress $K_{si} = 0,17$, ceci signifie que l'évapotranspiration réelle était déficitaire de près de 17% de celle prédite pour cette phase.

La campagne 2012-2013 enregistre un cumul d'ETR et d'ETP de 330,93mm et 362,38mm respectivement, le coefficient de stress pour ce Stade $K_{si}=0.09$.

Pour la campagne 2014-2015, L'évapotranspiration réelle (ETR) est de 258,85mm et l'évapotranspiration potentielle de la culture (ETP) est 300,33 mm, (Tableau VII) Le coefficient de stress pour ce stade $K_{si} = 0,13$. L'évapotranspiration réelle était déficitaire de près de 13% de celle prédite pour cette phase.

La campagne 2015-2016 enregistre un cumul d'ETR et d'ETP de 72,2mm et 126,9mm respectivement, le coefficient de stress pour ce Stade $K_{si}= 0,42$ (figure 17).

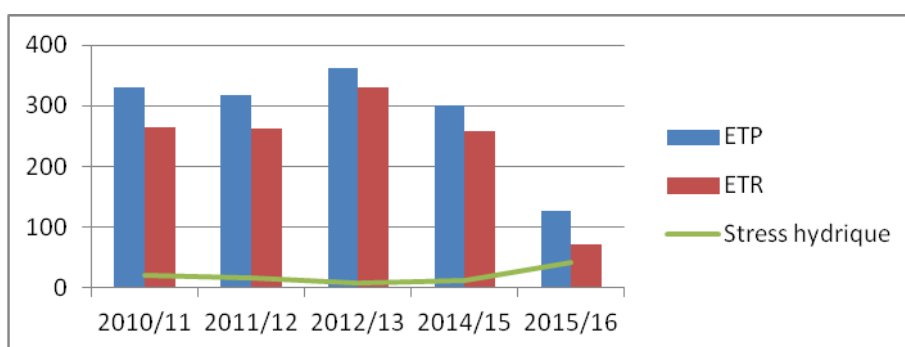


Figure17 : Variation de la moyenne du stress hydrique et de la transpiration potentielle et réelle durant la phase tallage-épiaison entre les campagnes.

c- Epiaison – Maturité

Ce dernier stade de développement, qui va de l'épiaison jusqu'à la maturation, a duré 31 jours. Il se caractérise par : un fort ETP et une faible ETR.

La campagne 2010-2011 enregistre un cumul d'ETR et d'ETP de 99,80mm et 170,13mm respectivement ; ce stade a été caractérisé par un stress hydrique de 0,41 (figure 18).

La campagne 2011-2012, est marquée par une évapotranspiration réelle (ETR) de 51,55 mm, alors que l'évapotranspiration potentielle de la culture (ETP) est de 201,87mm, (Tableau VII) Le coefficient de stress $K_{si} = 0,74$, ceci signifie que l'évapotranspiration réelle était déficitaire de près de 74% de celle prédite pour cette phase.

La campagne 2012-2013 enregistre un cumul d'ETR et d'ETP de 77,98mm et 171,78mm respectivement, ce stade a été caractérisé par un stress hydrique intense (0,54)

Pour la campagne 2014-2015, L'évapotranspiration réelle (ETR) est de 74,7mm et l'évapotranspiration potentielle de la culture (ETP) est 216,88mm (Tableau VII) Le coefficient de stress pour ce stade $k_{si} = 0,65$.

La campagne 2015-2016 enregistre un cumul d'ETR et d'ETP de 5,21mm et 193,25mm respectivement ; ce stade a été caractérisé par un stress hydrique intense (0,97) (figure 18).

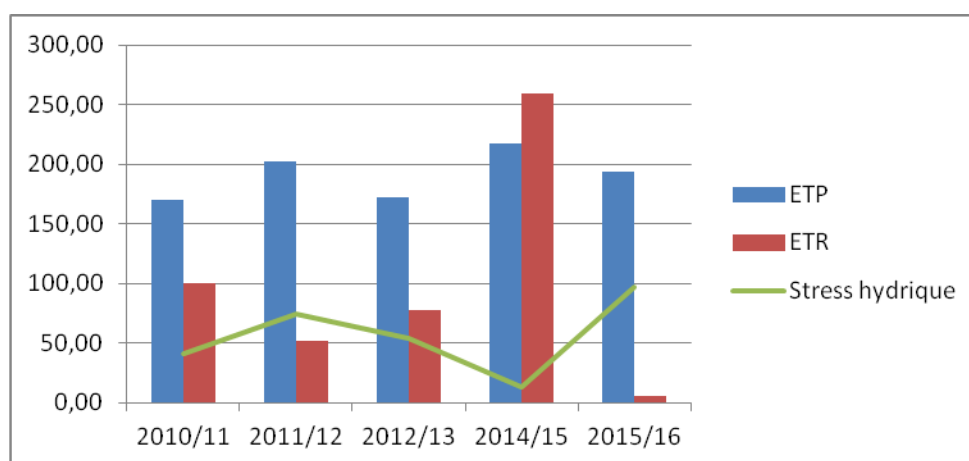


Figure 18: Variation de la moyenne du stress hydrique et de la transpiration potentielle et réelle durant la phase épiaison-maturité entre les campagnes.

IV.2 Discussion

IV.2.1 Relation entre le rendement et ses composantes

IV.2.1.1 Nombre d'épis par m²

Les travaux sur le tallage épi et sa contribution à l'élaboration du rendement grain chez les génotypes de blé dur en conditions méditerranéennes ne sont pas nombreux. La compréhension de cette contribution peut aider à la sélection des génotypes adaptés et hautement productifs (Elhani et al.,2007).

Une faible association est enregistrée, dans notre étude, entre le rendement grain et le nombre d'épis par m² ($r = 0,30$) (figure 22). Ce résultat corrobore à celui de (Maamri,2011) ($r= 0.17$).

(Moragues *et al.*,2006) notent que les génotypes évoluant dans les régions froides et humides produisent plus de talles épis par rapport aux génotypes des régions plus sèches (comparaison faite entre les variétés de la rive nord et sud de la méditerranée).

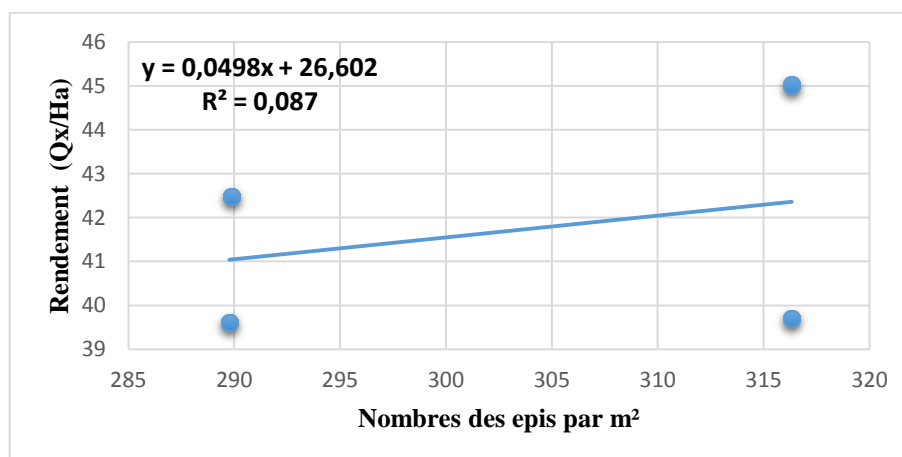


Figure 19 : Relation entre le nombre des épis et le rendement

IV.2.1 .2 Nombre du grain par m²

Le rendement en grains intègre deux composantes majeures, le nombre de grains /m² et le poids moyen du grain (Slafer et Rawson, 1994). Le rendement est corrélé positivement au nombre de grains par mètre carré ($r=0.60$) pour nos cinq campagnes d'étude (figure 20). Ce résultat correspond à celui de (Bahlouli,2006) ainsi qu'à (Donmez et al., 2001) trouvant que le nombre de grains/m² est corrélé positivement avec l'augmentation de la biomasse et le rendement. (Waddington et al., 1987; Turner et Nicolas, 1987 ; Mekhlouf et Bouerzour, 2000) mentionnent que l'amélioration du rendement des cultivars récents est associée à l'amélioration de la biomasse.

Nos résultats indiquent aussi, que le nombre de grain/m² et l'indice de récolte sont corrélés fortement, positivement et significativement soit ($r = 0.99$) (figure 21), ces résultats s'accordent avec ceux de (Bahlouli ,2006) qui a noté que la production d'un nombre de grains par m² élevé conduit à un indice de récolte et à un rendement en grain élevés .

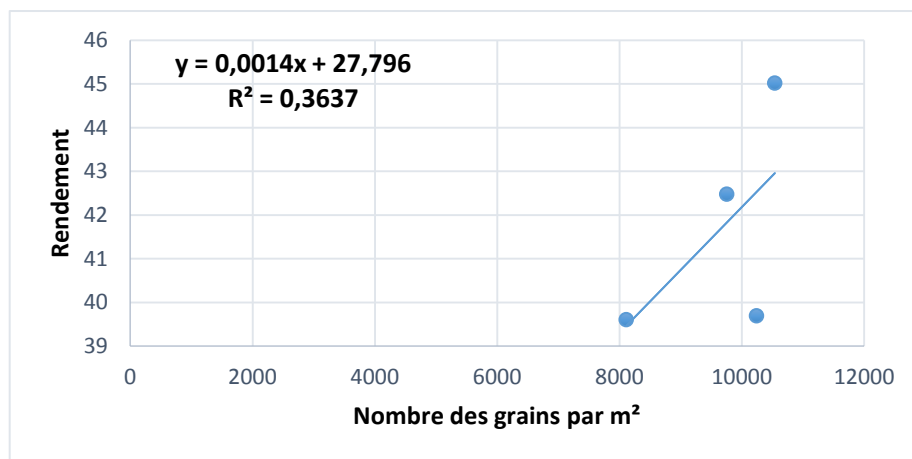


Figure 20 : Relation entre le nombre de grains par m² et le rendement

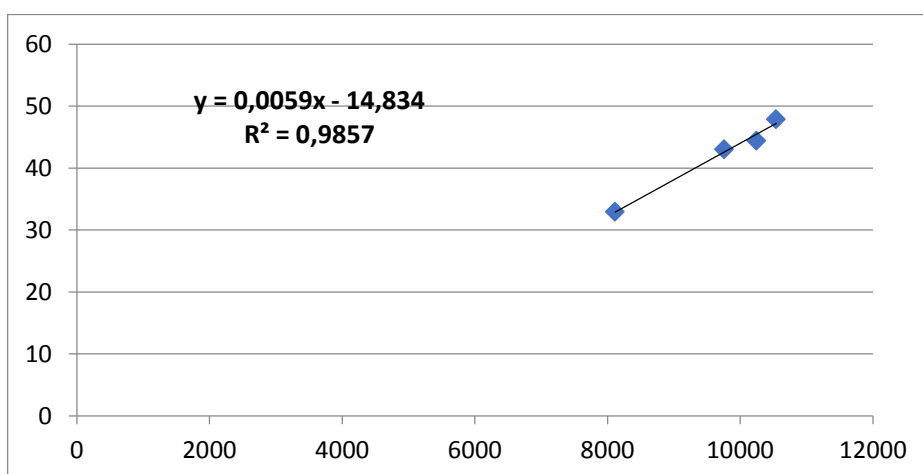


Figure 21: Relation entre le nombre des grains par m² et l'indice de récolte

IV.2.1 .3 Pois de mille grains

Le nombre de grains par unité de surface est la composante la plus liée aux variations du rendement grain du blé et par conséquent, le poids moyen du grain peut être une importante source de variation du rendement grain (Calderini et al.,1999), particulièrement dans les régions caractérisées par des stress (Acevedo et al., 1999).

Cependant, notre étude révèle une faible association entre PMG et le rendement en grain de l'ensemble des variétés ($r=0.07$) (figure 19). Sachant que (Maamri ,2011) et (moumni,2013)

notent aussi une absence de relation significative entre le rendement et le PMG. (Elhani et al. ,2007) rendent cette association en conditions pluviales au stress hydrique en post anthèse et particulièrement lors du remplissage grain. Les résultats reportés par (Del Blanco et al. ,2001) et (Khebbat ,2015), montrent une corrélation positive entre le PMG et le rendement.

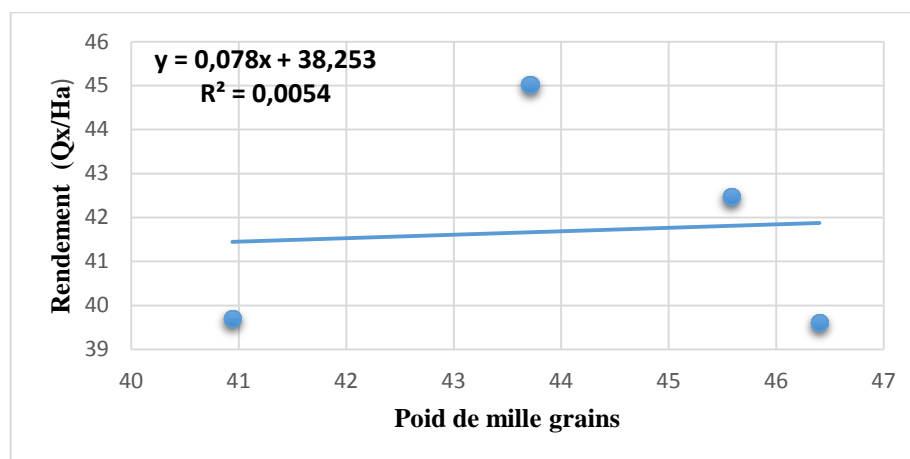


Figure 22 : Relation entre le poids de mille grains et le rendement

IV.2.1 .4 Biomasse aérienne

L'amélioration de la biomasse et la photosynthèse est un objectif majeur pour l'amélioration du potentiel de rendement du blé (Waddington et al., 1987).

La biomasse aérienne accumulée au stade épiaison peut être utilisée comme un indicateur de la capacité différentielle des génotypes à faire une bonne utilisation des facteurs du milieu au cours de la période de la pré-anthèse. Les génotypes qui accumulent rapidement une biomasse élevée au stade épiaison souffrent moins des effets des stress de la post-anthèse qui sont plus fréquents.

La biomasse aérienne accumulée au stade épiaison est la résultante de la contribution de plusieurs caractères comme la hauteur du chaume, la durée de la phase végétative, la vitesse de croissance végétative et le nombre de grains produits par unité de surface de sol (Mazouz, 2006).

Chez les céréales à petit grain, la biomasse où la surface foliaire aux stades précoces du développement a été aussi positivement corrélée au rendement grain sous des environnements de type Méditerranéen, en raison de la réduction des pertes d'eau du sol par évaporation d'une part et l'accroissement de l'efficacité d'utilisation de l'eau , d'autre part (La relation entre le rendement et l'eau disponible pour la culture à travers les précipitations et /ou l'irrigation),

quand la croissance se déroule dans la saison froide (López-Castañeda et Richards, 1994; Hafid et al., 1998).

Dans notre étude, la production de biomasse aérienne à maturité est corrélée négativement et non significativement avec le rendement ($r = -0.48$) (figure 23) ; sachant que c'est le même résultat que (Semcheddine, 2008). D'autre part, les résultats du (Khebbat, 2015), (Maamri, 2011) et (Moumni, 2013), indiquent que la relation entre le rendement en grain et la biomasse aérienne est corrélée positivement.

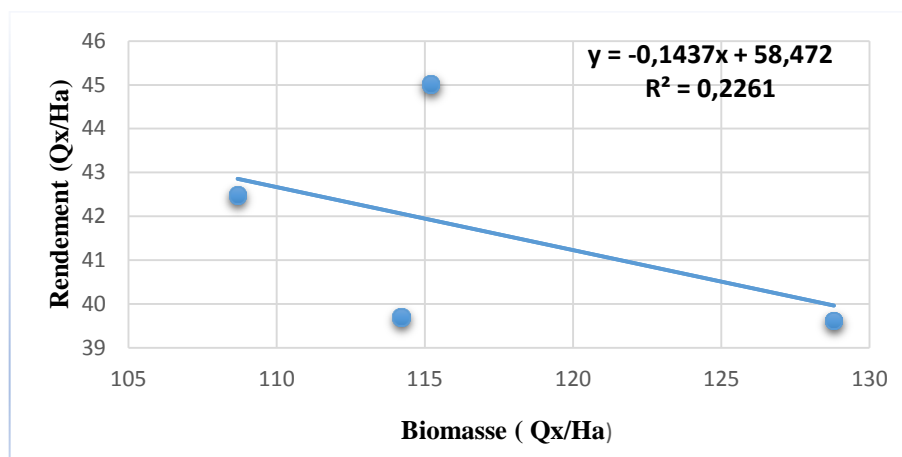


Figure 23 : Relation entre la Biomasse et le rendement

IV.2.1.5 Indice de récolte

L'indice cultural est le ratio entre le rendement grain et la biomasse aérienne (Donalds *et al.*, 1976 ; Hay, 1995) c'est une mesure de la capacité d'une plante à accumuler les assimilats dans les organes d'une manière économique (Donald, 1962, 1968). Son amélioration peut être atteinte à travers une amélioration du poids du grain et/ou du nombre de grains/épi (Passioura, 1977).

Nos résultats, indiquent une corrélation positive entre l'indice de récolte et le rendement soit ($r = 0.69$) (figure 24), et cela va dans le même sens que les travaux du (Bahlouli, 2006) et (Khebbat, 2015). L'indice de récolte n'est pas corrélé pour les résultats de (Maamri, 2011). Siddique et ses collaborateurs (1989) montrent que l'indice de récolte est un bon indicateur de la tolérance à la sécheresse et aux hautes températures de fin de cycle.

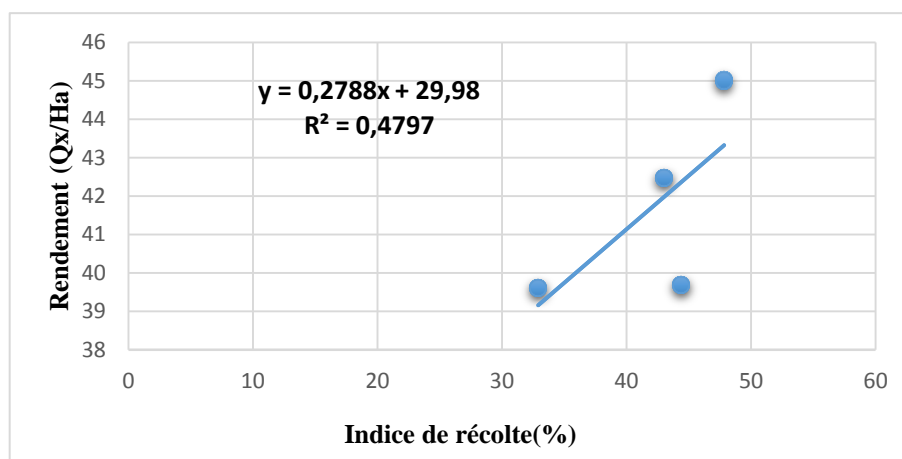


Figure 24 : Relation entre l'indice de récolte et le rendement

IV.2.2 L'effet de stress hydrique sur le rendement et ces composants

Le stress est une condition physiologique altérée causée par des facteurs qui tendent à perturber l'équilibre (Gaspar et al., 2002). Le stress hydrique est l'un parmi les paramètres les plus importants qui déterminent le rendement dans les régions méditerranéennes (Bennet et al., 1998). in (moumni, 2013). Ces régions méditerranéennes subissent plusieurs périodes de stress hydrique, au cours de la phase végétative et la phase reproductive du cycle de la culture (Elhani et al., 2007).

Selon le stade de développement et la durée au cours de laquelle le stress survient, l'influence sur la production finale et les composantes du rendement est plus ou moins importante (Mogensen., 1991 ; N'diongo, 1993). Le stress hydrique précoce influe sur la croissance des racines et de la partie aérienne y compris l'évolution des feuilles et des organes reproducteurs (Debate et al., 1996).

Les résultats de la simulation de bilan hydrique montrent que le stress est fortement associé à la diminution de rendement ; dans notre étude on n'a pas trouvé de corrélation significative entre le rendement et le coefficient de stress, ni entre le poids de mille grains et le stress hydrique. Durant nos cinq campagnes, le rendement en grain est corrélé négativement avec le coefficient de stress ($r = -0.56$ ns) (figure 25) (figure 27); Ces résultats rejoignent ceux de (Moumni, 2013) et (Khebbat, 2015).

Cependant, le poids de mille grains est corrélé positivement avec le coefficient de stress ($r = 0.67$) (figure 26) (figure 27), alors que (Guendouz et al., 2014) trouvent que poids de mille grains est corrélé négativement avec le coefficient de stress ($r = -0.70$). (Ceccarelli et al., 1987), mentionnent que l'apparition du stress hydrique, après la floraison, influe négativement sur le poids de mille grains.

Les températures élevées au moment de l’anthèse peuvent réduire la fertilité ainsi que l’indice de récolte (Wheeler et al,1996). Le déficit hydrique lors de l’anthèse ou début de remplissage, peut également affecter le poids de grains par l’inhibition de la translocation des assimilés des parties végétatives vers les épis (Wan et al. ,2005).

Dans les régions méditerranéennes, le stress hydrique cause des baisses de rendements allant de 10 à 80% selon la campagne agricole (Nachit et al., 1998).Le meilleur rendement a été enregistré pour la campagne 2014/2015 (59,4 qx/ha),parce qu’ il y a eu moins de stress durant la phase épiaison-maturité soit 0,65 ; alors que le plus faible rendement est enregistré pour la campagne 2015/2016 (14,47 qx/ha),où le stress hydrique est très élevé durant la phase épiaison-maturité atteignant une valeur maximale de $k_s = 0,97$.

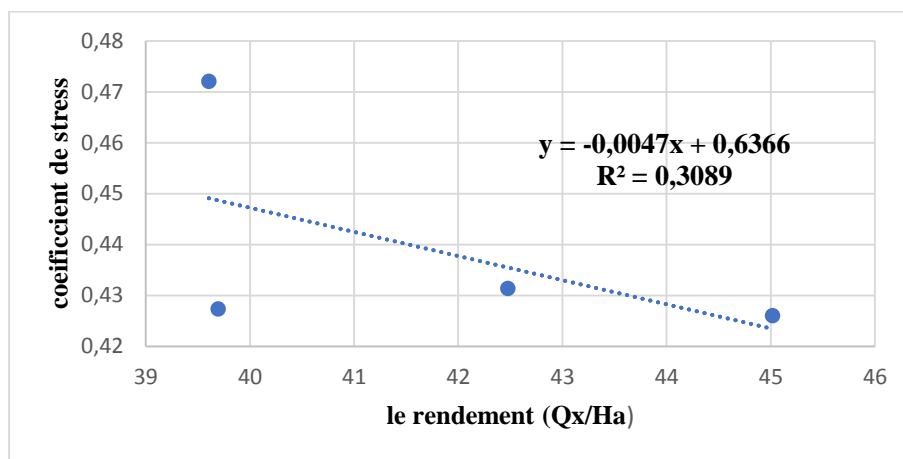


Figure 25 : Relation entre le rendement et le coefficient de stress

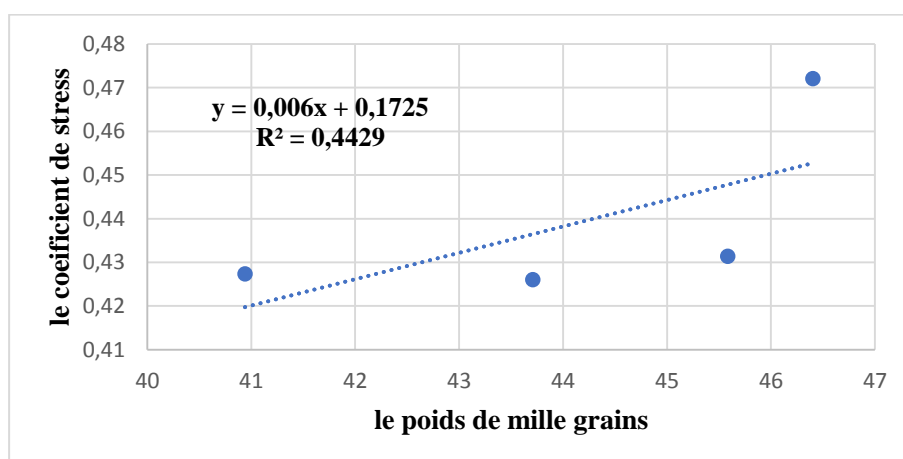


Figure 26 : la Relation entre le Poids de mille grains et le coefficient de stress

(Caliandro et Boari ,1996), qui ont montré eux aussi que le stade le plus sensible chez le blé dur, est le stade, gonflement et début de l'épiaison, C'est au cours de cette période critique, que la sécheresse induit l'avortement des fleurs. Même, si on trouve un nombre suffisant d'épis par unité de surface, ces épis seront quasiment vides, en cas de sécheresse sévère, survenant pendant cette période, dans laquelle l'épi est déjà formé, mais les organes floraux, peuvent être endommagés, ce qui donne, des épis, dont la base et le sommet sont stériles ; d'où l'intérêt d'apporter une irrigation de complément, pendant cette période, afin d'atténuer les effets de la sécheresse et sauver le maximum de production en cas de déficit hydrique (Ben Naceur et al., 1999).

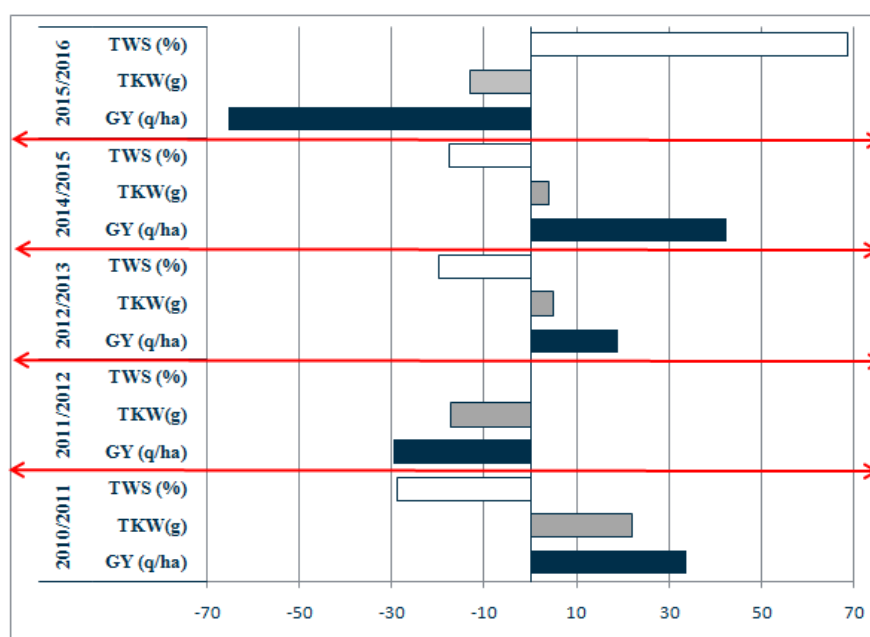


Figure 27 : L'effet du stress hydrique sur le PMG et sur le rendement durant les Cinq campagnes

Conclusion

Conclusion

Conclusion

La production des céréales dépend des conditions climatiques, des caractéristiques morpho physiologiques, phénologiques et agronomiques du génotype et en très grande partie des interactions génotype environnement. Les différents facteurs climatiques et nutritionnels du milieu agissent d'une part sur le développement et d'autre part sur le potentiel de croissance. Ils conditionnent l'intensité de la compétition et déterminent le nombre, la taille et le devenir des organes (Triboï et Ntonga, 1993).

Ce travail nous a permis d'évaluer le comportement d'une collection de quatre variétés tout au long de cinq saisons culturales (2010-2016). Les résultats indiquent que les variétés introduites Altar 84 et Bousselem ont le meilleur rendement (45,02 et 42,48) respectivement pour les cinq campagnes ; de plus on peut considérer que les variétés Oued Zenati et Altar 84 comme des variétés tolérantes au stress car elles ont marqué de bons rendements durant la saison la plus stressée 2015/2016 ($K_s = 0,97$ au stade épiaison maturité).

Les résultats de simulation du bilan hydrique indiquent deux phases de stress hydrique, la première est relativement courte a été observée avant la levée et ne semble pas avoir affecté la végétation ($K_s = 0.45$). En revanche, la deuxième phase de stress (épiaison-maturité) coïncidé avec deux stades importants qui a un impact négatif sur la culture ($K_s = 0.66$).

Le stress hydrique affecte négativement le rendement en grains et le poids de mille grains, en particulier pendant la deuxième (2011-2012) et la cinquième saison de culture (2015-2016).

Enfin, on propose de faire un travail combiné entre les agronomes et les hydrauliciens, de multiplier les études de la simulation dans d'autres régions et de tester le modèle a des conditions climatiques différentes pour mieux préciser les périodes de stress hydrique et minimiser les pertes de rendement.

Références bibliographique

Références bibliographiques

1. **Abassenne F., Bouzerzour H., Hachemi L. (1998).** Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum* Desf) en zone semi-aride d'altitude. *Annales Agronomiques*. INA ;18 :24-36.
2. **Acevedo E. H., Silva P. C., Silva H. R., Solar B. R. (1999).** Wheat production in Mediterranean environments. In: Satorre, E.H., Slafer, G.A. (Eds.), *Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination*. The Haworth Press Inc., New York, pp. 295–331.
3. **Amigues J. P., Debaeke P., Itier B., Lemaire G., Seguin B., Tardieu F., Thomas A. (2006).** Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Expertise scientifique collective, Rapport, INRA (Fr).
4. **Amokrane A., (2001).** Evaluation et utilisation de trois sources de germoplasme de blé dur (*Triticum durum* Desf) . Thèse de Magister, institut d'agronomie, Université El Hadj Lakhder, Batna, 80 P.
5. **Aouade G. (2012).** La partition de l'évapotranspiration en évaporation du sol et transpiration de la végétation dans le continuum « Sol-Plante-Atmosphère » pour une culture de blé dans la région du Haouz : Techniques isotopiques et modélisation. Mémoire de Master, Université Cadi Ayyad, Maroc, 116 pages.
6. **Araus J. L., Tapia L., Alegre L. (1989).** The effect of changing sowing date on leaf structure and gas exchange characteristics of wheat flag leaves grown under mediterranean climate condition. *Journal of experimental Botany*, vol. 40, n° 215, 639-646.
7. **Ayad D., Sayoud R., Benbelkacem K. et Bouznad Z. (2014).** La tache septorienne du blé: Première signalisation de la présence en Algérie des deux Mating types du téléomorphe *Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) Schröter, (anamorphe: *Septoria tritici* Rob. ex Desm.) et diversité phénotypique de l'agent pathogène. *Revue « Nature & Technologie »*.
8. **Bagga A. K., Ruwal K. N. et Asana R. D. (1980).** Comparison of some Indian and semi-dwarf Mexican wheat to unirrigated cultivation. *Indian J. agric. Sci.* 40: 421- 427 p.
9. **Bahlouli F. (2006).** Etude de contribution des assimilats de la tige à l'adaptation du blé dur (*triticum durum* Desf.) aux stress abiotiques sous climat méditerranéens. Thèse de doctora, INA, El-Harrach, Alger, 98pp.
10. **Bahlouli F., Bouzerzour H., Benmahammed A. (2005).** Selection of stable and high yielding cultivar of durum wheat under semi –arid condition. *Pakistan Journal of Agronomy*, 360-365.

11. **BaizD.(2000)**. Guide des analyses en pédologie 2ème ed. Institut National de larecherche agronomique, Paris : 206–207.
12. **Baldy C.(1984)**. Utilisation efficace de l'eau par la végétation en climats méditerranéens. Bull .Soc .Boton .Fr 131(2, 3, 4)(actuel Boton) 491-499.
13. **BelaidD.(1986)**. Aspects de la céréaliculture Algérienne. Edition OPU. Alger, 207 p.
14. **Ben Naceur M., Gharbi M. S., Paul R. (1999)**. L'amélioration variétale et les autres actions contribuant à la sécurité alimentaire en Tunisie en matière de céréales. Sécheresse ; 10 : 27-33.
15. **Benchohra B., Khelloufi B. (2000)**. Impact du risque climatique sur le rendement du blé dur(*TriticumdurumDesf.*) en zone semi-aride : approche éco-physiologique. Science et changements planétaires / Sécheresse, 11(1): 45-51.
16. **Benkolli M. et Bouzeghaia B. (2016)**. Etude biochimique de dix variétés de blé dur (*TriticumdurumDesf.*) Sous l'effet d'un stress oxydatif gènèrè par un stress hydrique .Mèmoire .UniversitéMentouriConstantine.P :1-5-23
17. **Benkolli M. et Bouzeghaia B. (2016)**. Etude biochimique de dix variétés de blé dur (*TriticumdurumDesf.*) Sous l'effet d'un stress oxydatif gènèrè par un stress hydrique . MèmoireUniversitéMentouriConstantine.P :1-23
18. **Bennasseur A.2003**. Référentiel pour la conduite technique de la culture de blé dur(*TriticumdurumDesf*) : 24-38
19. **Bensalem et al., (1991) .Ben Salem M., Boussen H. & Slama A. (1997)**. Évaluation de la résistance à la contrainte hydrique et calorique d'une collection de blé dur : recherche de paramètres précoces de sélection. Sixièmes Journées scientifiques du réseau Biotech.-Génie Génétique des plantes, Agence francophone pour l'enseignement supérieur et la recherche (AUPELF / U R E F). Orsay. Sécheresse. 2 : 75- 83 p.
20. **Blum A. (1988)**. « Plant breeding for stress environments » in « Evaluation de la variabilité génétique des caractères d'adaptation à la sécheresse chez les espèces tétraploides sauvages et cultivées du blé » (**Al Hakimi, A**). Thèse pour l'obtention du diplôme de l'école pratique des hautes études (ENSA, INRA de Montpellier).
21. **Bonjean A., Picard E. (1990)**. Les céréales à paille origine, historique, économie et sélection. Ed. Nathan, 235p.
22. **Boufenar-zaghoufane F.et zaghofaneO.(2006)**. Guide des principales variétés de céréales à paille en algérie(blé dur ,blé tendre, orge et avoine) 1ère édition .alger : ECRIE.154p.

23. **Boulelouah N. (2002).** Analyse de la variabilité génotypique de l'absorption de l'azote chez le blé tendre. DEA.INA. Paris Grignon, 33p.
24. **Bouthiba A. A., Debaeke P., Hamoudi S. A.(2010).** Varietal differences in the response of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) to irrigation strategies in a semi-arid region of Algeria. *Irrigation Science*. 26: 239-251.
25. **Boyer J.S. Plant (1982).** productivity and environment. *Science* 218: 473-216.
26. **Bozzini A. (1988).** Origin, distribution and production of durum wheat in the world.
27. **Calderini D. F., Reynolds M. P., Slafer G. A.(1999).** Genetic gains in wheat yield and associated physiological changes during the twentieth century. In: Satorre, E.H., Slafer, G.A. (Eds.), *Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination*. The Haworth Press Inc., New York, pp. 351–377.
28. **Ceccarelli S., Grando S. & Van Leur J.A.G.(1987).** Genetic diversity in barley landraces from Syria and Jordan. *Euphytica*, 36: 389-405.
29. **Clarke J. M., Norvell W. A., Clark F. R., Buckley T.W. (2002).** Concentration of cadmium and other elements in the grain of near-isogenic durum lines. *C. J. P. canadienne de phytotechnie*, 82 : 27-33.
30. **Clarke J. M., Richards R.A. (1988).** The effect of glaucousness, epicuticular wax, leaf age, plant height and growth environment on water loss rates of excised wheat leaves. *Can; J.Plant Sci.* **68**: 957-982.
31. **Clarke J. M., Romagosa I., Jana S., Srivastava J. P., McCaig T. N. (1989).** Relation of excised leaf water loss rate and yield of durum wheat in diverse environments. *Can; J.Plant Sci.* **69** : 1057-1081.
32. **Clement G. et Prats J. (1970).** *Les céréales*. Collection d'enseignement agricole. 2ème Ed. 351 p.
33. **Clement-grandcourt et prat. (1970).** les céréales. Collection d'enseignement agricole . 2ème Ed. pp351-360.
34. **Davidson D. J., Chevalier P M. (1990).** Pre-anthesis tiller mortality in spring wheat *Crop Sciences*, 30 :832-836.
35. **De Raissac M. '1992).** Mécanismes d'adaptation à la sécheresse et maintien de la productivité des plantes cultivées. *Agro Trop.* **46** : 29-39.
36. **Debaeke P., Puech J. and Casals M.L .(1996).** Elaboration du rendement du blé d'hiver en conditions de déficit hydrique. I. Etude en lysimètres. *Agronomie*,16 : 3-23.
37. **Del Blanco I. A., Rajaram S., Kronstad W. E.(2001).** Agronomic potential of synthetic hexaploid wheat-derived populations. *Crop Sci.* **41**, 670–676.
38. **Dixon J. (2007).** The Economics of Wheat: Research challenges from field to fork, in **H.T. Buck et al. (eds.)**, *Wheat Production in Stressed Environments*, 9–22.

39. **Djekoun (1996). BOUATROUS Y, (2013)** : Effet du stress salin et l'haploïdisation chez le blé dur (*triticum durum Desf.*)
40. **Donald C.M. (1968)**. The breeding of crop ideotypes. *Euphytica* 17, 385–403.
41. **Donalds C.M. and Hambling J. (1976)**. The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. *Advances in Agronomy*, 28 : 361-411.
42. **Donmez E., Sears R.G., Shroyer J.P. and Paulsen G.M. (2001)**. Genetic grain in yield attributes of winter wheat in the great plains. *Crop Science*. 41: 1412-1419.
43. **Elhani S.; V. Martos; Y. Rharrabti; C. Royo; L.F. Garcia del Moral; 2007**. Contribution of main stem and tillers to durum wheat (*Triticum turgidum L. var. durum*) grain yield and its components grown in Mediterranean environments ; *Field Crops Research* **103** 25–35.
44. **FAO.(2018)**. Site des données statistique de la FAO (Food and agriculture organisation of the United nation .
45. **FAO.(2019)**. Site des données statistique de la FAO (Food and agriculture organisation of the United nation .
46. **FCE.(2018)**. Forum des chefs d'entreprise, revue de presse .13p
47. **Feillet P. (2000)**. Le grain de blé composition et utilisation. Ed. INRA , Paris, 308 p. Imprimé en France – JOUVE, 18, rue Saint-Denis, 75001 PARIS N°280768 V.-Dépôt légal : Mars 2000.
48. **Feldman M. & Sears E.R. (1981)**. The wild gene resources of wheat. *Sci.Am.*, 244: 98-108.
49. **Fisher R. A. et Maurer R.(1978)**. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain Yield responses. *Aust. J. Agri.Res.* 29, pp.897-912.
50. **Flowers T .J.(2004)**. Improving salt tolerance. *Journal of Experimental Botany* ; 55 : 307 – 319.
51. **Focar M., Nguyen H. T., Blum A. (1998)**. Heat tolerance in spring wheat. Grain filling. *Euphytica* **104** : 9-15.
52. **FUKAI S., PANTUWAN G . JONGDEE B ., COOPER M. (1999)**. Screening for drought resistance in rice. *Field Crops Res.* vol .64, pp 61-74.
53. **Gaspar T. T., Franck B., Bisbis C., Kevers L., Jouve J.F., Hausman. and J. Dommès.(2002)**. Concepts in plant stress physiology. Application to plant tissue cultures. *Plant Growth Regul.*, 37:285
54. **Gate P. (1979)**. Ecophysiologie de blé, 53p.
55. **Gate P. H. (1995)**. Ecophysiologie du blé. Technique et Documentation. Lavoisier, Paris, 419p.
56. **Gate P.(1995)**. Ecophysiologie du blé : de la plante à la culture. Lavoisier Tec&Doc, Paris, 429p.
57. **Gate P., Bouthier A., Casablanca H. et Deleens E. (1993)**. Caractères physiologiques décrivant la tolérance à la sécheresse des blés cultivés en France. Interprétation des corrélations entre le rendement

et la composition isotopique du carbone des grains. In : Tolérance à la sécheresse des céréales en zone Méditerranéenne. Diversité génétique et amélioration variétale. Ed. INRA, Montpellier (France), **64**:61-73.

58. **Gate P., Brain P., Colnenne J., Briffaux G. (1990).** Pour les céréales à paille à chaque variété son époque de survie - Perspectives agricoles 148 : 20-27.
59. **Gate P., Giban M. (2003).** Stade du blé. Ed. Paris, ITCF. 68p.
60. **Gonde P., Ratomahenina R., Arnaud A. et Galzy P. (1986).** Purification and properties of the exocellular β -glucosidase of *Candida molischianan* (Zikes) Meyer and Yarrow capable of hydrolyzing soluble cellodextrins. *Can. J. Biochem. Cell. Biol.* 363:1160-1166.
61. **Guendouz A., Hafsi M., Moumeni L., Khebbat Z. & Achiri A. (2014).** Performance evaluation of aquacrop model for durum wheat (*Triticum durum* Desf.) crop in semi arid conditions in Eastern Algeria. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 3(2): 168-176.
62. **Guergah N. (1997).** Contribution à l'étude de l'effet de la profondeur de semis sur le comportement d'un génotype de blé dur (*Triticum durum* Desf.) en pot et en plein champs dans la région d'El-Khroub. Mémoire. Ing. Univ. Batna: 69 p.
63. **Hafid R. E., Smith D. H., Karrou M., Samir K. (1998).** Morphological attributes associated with early-season drought tolerance in spring durum wheat in a Mediterranean environment. *Euphytica* 101, 273–282.
64. **Haichour R. (2009).** Stress thermique et limite écologique du Chêne vert. Mémoire. Université Mentouri – Constantine – p : 12-24-49.
65. **Hamla C. (2016).** Caractérisation des gènes de tolérance à la sécheresse chez le blé dur : étude du rôle des déhydrines et des aquaporines. Thèse. Université Mentouri, Constantine Faculté de biologie Département de Biologie Végétale et Écologie. p32-33.
66. **Harlan J.R. (1975).** Our vanishing genetics resources. *Science*, 188 : 618-621.
67. **Hopkins. (2003).** Physiologie végétale. Ed. Révision scientifique de Charles. Marie Evard.
68. **Hucl P., Baker R. J. (1998).** Tillering patterns of spring wheat genotype grown in a semi-arid environment. *Can J Plant Sci* 1989 , 69 :71-9.
69. **Issaad G. (2013).** Statut nutritionnel et plasticité de réponse aux stress chez un modèle végétale (*Triticum durum* Desf.). Thèse. Université Badji Mokhtar. ANNABA. P :15-16-21-22-27-33-35.
70. **Jones , (1980) . Jones M. M., Osmon B., and Turner N.C. 1980.** Accumulation of solutes in leaves of sorghum and sunflower in response to water deficits. *Aust J Plant Physiol*, 7: 193-205.
71. **Karou M., Haffid R., Smith D. N., Samir K. (1998).** Roots and shoot growth water use and water use efficiency of spring durum wheat under early –season drought. *Agronomie* ,18 :18 :186.

72. **Karou M., Haffid R., Smith D.N., SAMIR K.(1998)**. Roots and growth water use and water use efficiency of spring durum wheat under early –season drought. *Agronomie* 18, 18: 186.
73. **KhebbatZ . (2015)**.Etat hydrique du sol et performance d'une collection de variétés de blé dur.
74. **Laberche J. C . (2004)**. La nutrition de la plante In *Biologie Végétale. Dunod*. 2e (éd). Paris:154 163p.
75. **Larbi A., Mekliche A., Abed R., Badis M. (1998)**. Effet du déficit hydrique sur la production de deux variétés de blé dur (*Triticumturgidum* L. var. durum) en région semi-aride. *CIHEAM – Options Méditerranéennes*, 295-297.
76. **Leonardis A. M., Marone D., Mazzucotelli E., Neffar F., Rizza F., Di Fonzo, N., et Mastrangelo A. M .(2010)**. Durum wheat genes up-regulated in the early phases of cold stress are modulated bydrought in a developmental and genotype dependent manner. *Plant science*, 172(5), 1005-1016pp.
77. **Levitt J. (1982)**. Responses of plants to environmental stresses. *Academic Press*. New York San Francisco – London: 607p.
78. **López-Castañeda C., Richards R.A. (1994)**. Variation in temperate cereals in rainfed environments II. Phasic development and growth. *Field CropsRes*. 37, 63–75.
79. **MaamriK .(2011)**. Stabilité du critère de la discrimination du carbone isotopique en relation avec le poids spécifique de la feuille drapeau chez quelque variétés de blé dur cultivées en milieu semi aride
80. **Martre P. (1999)**. Architecture hydraulique d'une talle de fétuque élevée (*Festucaarundinacea*Schreb). Implication pour les relations entre la transpiration et l'expansion foliaire. Thèse de doctorat pp 13.
81. **Mazouz L. (2006)**. Etude de la contribution des paramètres phénomorphologiques dans l'adaptation du blé dur (*Triticumdurum*Dsf.) dans l'étage bioclimatique semi aride. Mémoire de Magister. Dept Agr, Fac Sci, UHL, Batna, Algérie.
82. **Mazoyer M. (2002)**. La rousse agricole. Ed. Paris, pp : 320-321 ; 673.
83. **Mekhlouf A., Bouzerzour H., Benmahammed A., HadjSahraoui A., Harkati N. (2006)**. Adaptation des variétés de blé dur (*Triticumdurum*Desf.) au climat semi-aride. *Sécheresse*. Vol 17, Num 4, 507-13.
84. **MogensenV. O. and JensenH. E., (1989)**. The concept of stress days in modelling crop yield response to water stress. *Proceeding of the C.E.C Workshop: Management of water resources in cash crops and in alternative production systems*. Brussels 1988, 13 - 22.
85. **MonneveeuxP.(1991)**. quelques stratégies pour l'amélioration génétique **Monneveeux P.(1991)**.quelques stratégies pour l'amélioration génétique 'cdes plantes pour l'adaptation aux milieux arides.édit.AUPELF-UREF,johnlibbey Eurotext,paris,p.156.

86. **Moragues M., Garcí'a del Moral L.F., Moralejo M., Royo C. (2006).** Yield formation strategies of durum wheat landraces with distinct pattern of dispersal within the Mediterranean basin: II. Biomass production and allocation. *Field Crop. Res.* **95**, 182–193.
87. **Morgan. (1984).Morgan, J. M., (1984).** Osmoregulation and water stress in higher plants. *Plant Physiol.*; 35,299-319.
88. **Morsli L. (2010).** Adaptation du blé dur (*triticumdurumdesf*) dans les conditions des hautes plaines Constantinoises .Univ.Annaba. Doctorat 68p.
89. **Mouhouche B. &Boulassel A. (1997).** Gestion rationnelle des irrigations des compléments des cultures de légumineuses alimentaires et céréales.*Recherche agronomique.INRA.1*:21-31p.
90. **Moule C. (1980).** Bulletin FAO d'irrigation et de drainage N° 35. « La mécanisation de l'irrigation par aspersion », pp 91-92.
91. **Moule C., (1971).** Céréales 2. Phytotechnie spéciale. (Ed). 236p.
92. **Moumni L .(2013).** Quantification de la contrainte hydrique chez le blé dur (*TriticumdurumDesf.*) en milieu semi-aride.
93. **Nachit M.M., Picard E., Monneveux P., Labhilli M., Baum M. and Rivoal R. (1998).**Présentation d'un programme international d'amélioration du blé dur pour le bassin méditerranéen. *Cahiers Agric.*, 7 : 510-515.
94. **Naville M., (2005).** La biodiversité des espèces cultivées :Analyse dans le cas du blé, Paris: Université Paris XI, Paris, 20p.
95. **Nemmar M. (1980).** Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé dur (*T durumdsf*) et chez le blé tendre (*T aestivum L.*) : étude l'accumulation de la proline sous l'effet du stress hydrique. Thèse D.A.A. ENSA. Montpellier 63 pp.
96. **O'toole J. C., Cruz R. T. (1980).** Response of leaf water potential, stomatal resistance and leaf rolling to water stress. *Plant Physiol.* **51** : 993-997.
97. **Oukarroum A. (2007).**Vitalité des plantes d'orge (*Hordeumvulgare L.*) en conditions de stress hydrique et thermique analysée par la fluorescence chlorophyllienne. Thèse doctorat. Université De Genève.
98. **Passioura J. B. (1983).** Roots and drought resistance. *Agric. Water Manag.* 7 265–280 10.1016/0378-3774(83)90089-6

99. **Prescott J. M., Burnett P. A., Saari E. E., Ransom J., Bowman J., De milliano w., Singh R. P., Bekele G.(1987).** Maladies et ravageurs du blé. Guide identification au champ.CIMMYT, Mexico. 135p.
- 100.**Prescott S. C., Dunn C. G., Reed G., (1987).** Industrial microbiology. 4th ed. India: CBS Publishers and Distributors, p. 550-565.
- 101.**Raes D., Steduto P., Hsiao T.C. and Fereres E. (2009).** AquaCrop-The FAO crop model to simulate yield response to water: II. Main algorithms and software description. Agronomy Journal, 101(3): 438-447.
- 102.**Rawson H. (1988).** High temperature effect on the development and yield of wheat and practices to reduce deteriorious effects. In conf. On wheat production constraints in tropical environment. Eds klatt. UNDP- Cimmyt : 44-62
- 103.**Richards C., Dary J. L. et Laffont J.M.(1985).** Produits phytosanitaires, recherche, développement, homologation, (édition de la nouvelle librairie), Paris, p. 96.
- 104.**Semcheddine N. (2008).** Utilisation de la discrimination isotopique du carbone comme critère de sélection du blé dur en relation avec le bilan hydrique. Mémoire de Magister, Département d'Agronomie, Université FERHAT ABBAS. SETIF, 101 pages.
- 105.**Slafer G. A., Rawson H. (1994).** Sensitivity of wheat phasic development to major environmental factors: a re-examination of some assumptions made by physiologist and modellers. Aust. J. Plant Physiol. 21, 393–426.
- 106.**Slama A. (2002).** Étude comparative de la contribution des différentes parties du plant du blé dur dans la contribution du rendement en grains en irrigué et en conditions de déficit hydrique. Thèse de doctorat en biologie, faculté des sciences de Tunis
- 107.**Slama A., Ben Salem M., Ben Naceur M., Zid B., (2005).** Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. *Sécheresse* ; **16 (3)** : 9-225.
- 108.**Soltner D . (1990).** Les grandes production végétales : céréales, plantes sarclées ,prairies.coll.science et thechniques agricoles.17ième Ed.464p.
- 109.**Soltner D. (1988)** .Les bases de la production végétale. Troisième édition ,566p.
- 110.**Soltner D. (2000)** ; Phytotechnique générale : les bases de la production végétales. Tome 1 : le sol et son amélioration. Ed. Collection sciences et techniques agricoles, 467p.
- 111.**Soltner D. (2005).** Les grandes productions végétales .20ème édition .Collection science et technique agricole .pp :303-308.

112. **Soltner D. (2005)**. Les grandes productions végétales. 20ème Edition. Collection science et techniques agricoles. 472p.
113. **Soltner D. (1987)**. Les grandes productions végétales « Céréales –plante sarclées- prairies ». 15ème édition. Collecton sciences et techniques agricoles : 461 p.
114. **Sorrells M. E., Diab A., Nachit M. (2000)**. Comparative genetics of drought tolerance. Option méditerranéennes série A (Séminaires méditerranéens) ; 40 : 191-201.
115. **Steduto P., Hsiao, T.C., Raes D. and Fereres E. (2009)**. Aqua Crop-The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. *Agronomy Journal*, 101(3): 426-437
116. **Subbarao G. V., Johansen C., Slinkard A. E., Nageswara. Rao R. C., Saxena N. P., Chauhan, Y. S. (1995)**. Strategies for improving drought resistance in grain legume. *Crit Rev Plant Sci* ; 14 : 469-523.
117. **Triboï E., Ntonga J. (1993)**. Effet de l'azote et du rayonnement sur le développement des feuilles et de l'épi chez le blé d'hiver : mise en place de l'appareil foliaire et de la structure de l'épi *Agronomie* ; 13 : 253-65.
118. **Triboï E. (1990)**. Modèle d'élaboration du poids du grain chez le blé tendre (*Triticum aestivum*). *Agronomie*, 10: 191-200.
119. **Turner M. G., Gardner R. H., O'Neill R. V. (2001)**. *Landscape Ecology in Theory and Practice*. New York: Springer-Verlag. 401 pp
120. **Waddington S.R., Osmanzai M., Yoshida M. and Ransom J.K. (1987)**. The yield of durum wheats released in Mexico between 1960 and 1984. *Journal of Agricultural Science*, 469–477.
121. **Wang Z., Li S., Vera C.L., Malhi S.S. (2005)**. Effects of water deficit and supplemental irrigation on winter wheat growth, grain yield and quality, nutrient uptake, and residual mineral nitrogen in soil. *Commun. SoilSci. Plant Anal.* **36**, 1405–1419.
122. **Wheeler T.R., Hong T.D., Ellis R.H., Batts G.R., Morison J.I.L., Hadley P. (1996)**. The duration and rate of grain growth, and harvest index, of wheat (*Triticum aestivum*) in response to temperature and CO₂. *Journal of Experimental Botany* **47**: 623-630.

Annexes

Annexe 01 : Stade de développement, l'échelle de FEEKS et ZADOKS (Gate, 1995).

Stade	FEEKS	ZADOKS	Cactéristiques
Levée	1	7	Sortie de la coléoptile
		10	1 ère feuille traversant le coléoptile
		11	1 ère feuille étalée
		12	2 ème feuille étalée
		13	3 ème feuille étalée
Début tallage	2	21	Formation de la 1ère talle
Plein tallage	3	22	2 à 3 talles
Fin tallage		23	
		24	
		25	
Epi 1 cm	5	30	Sommet de l'épi distant à 1 cm du plateau de tallage
1-2 nœuds	6	31	1 nœud
	7	32	2 nœuds élongation de la tige
Gonflement l'épi gonfle la graine de la dernière feuille	8	37	Apparition de la dernière feuille.
	9	39	Ligule visible (méiose mâle).
	10	45	Graine de la dernière feuille sortie.
Epiaison	10-1	49-51	Graine éclatée
	10-2	53	¼ épiaison
	10-3	55	½ épiaison
	10-4	57	¾ épiaison
	10-5	59	Tous les épis sortis
Floraison	10-5-1	61	Début floraison
	10-5-2	65	Demi-floraison
	10-5-3	69	Floraison complète
Formation du grain	10-5-4	71	Grain formé
	11-1	75	Grain laiteux
	11-2	85	Grain pâteux
	11-3	91	Grain jaune
	11-4	92	Grain mûr

Annexe 02: Paramètres phénologiques et morpho physiologiques d'adaptation au déficit hydrique (Monneveux, 1991).

Paramètres d'adaptation	Exemples
Paramètres phénologiques	- Précocité.
Paramètres Morphologiques Paramètres micro morphologique paramètres macromorphologique	<ul style="list-style-type: none"> - extension du système racinaire - port et surface des feuilles - taille du chaume - longueur des barbes - enroulement des feuilles - densité du trichome - glaucescence et couleur des familles - présence de cires - densité et taille des stomates - compaction du mésophylle - épaisseur de la cuticule - nombre et diamètre des vaisseaux au xylème racinaire
Paramètres physiologiques	<ul style="list-style-type: none"> - effets stomatiques et non stomatiques du déficit hydrique sur la photosynthèse - réduction de la transpiration par fermeture des stomates - maintien d'un potentiel hydrique élevé - osmorégulation (accumulation d'ions minéraux, de proline, de sucres solubles)

Annexe 03 : Températures, Précipitations moyennes mensuelles des campagnes de l'étude
(2010-2016).

2010/11	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
Température	5,5	5,2	4,7	8,2	13,4	15,8	20,6
Précipitation	22,35	13,22	97,54	36,58	81,04	43,18	18,28
2011/12	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
Température	5,8	4,2	1,6	9,1	11,1	17,5	25,5
Précipitation	26,17	48,01	64,25	14,22	79,5	6,1	14,98
2012/13	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
Température	5,6	4,9	3,5	9,1	12,4	14,6	20
Précipitation	5,84	77,21	51,83	29,22	38,09	58,42	2,03
2014/15	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
Température	5	3,7	4	8,3	13,8	18,3	21,3
Précipitation	61,97	68,84	60,95	52,82	5,08	25,91	26,15
2015/16	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
Température	6,5	6,7	6,9	7,7	13,7	17,1	22,4
Précipitation	0	17,27	35,31	73,66	42,42	37,84	10,16

Annexe 04 : Variation du stress hydrique durant la troisième phase (épiaison- maturité).

compagne	Nombre jours	ETP (mm)	ETR (mm)	Ks
2010/2011	30	170.13	99.8	0.41
2011/2012	32	201.88	51.55	0.74
2012/2013	29	171.78	77.98	0.54
2014/2015	26	216.88	258.85	0.13
2015/2016	26	193.25	5.21	0.97
génotype	Nombres jours	ETP (mm)	ETR (mm)	Ks
Oued zenati	29.8	187,66	51,94	0.74
Bousselem	31.4	196,78	66.00	0.65
Altar 84	31.4	198,06	64.41	0.66
Mexicali 75	31.4	180,62	65.03	0.63
Moyenne	31	190.78	61.85	0.66

Annexe 05 : Matrice de corrélation des paramètres étudiés durant les cinq campagnes agricoles (2010/2016)

	NE/m ²	NG/m ²	PMG	RDT	BIO	IR
NE/m ²	1					
NG/m ²	0,78	1				
PMG	-0,87	-0,71	1			
RDT	0,30	0,60	0,07	1		
BIO	-0,28	-0,80	0,39	-0,48	1	
IR	0,74	0,99*	-0,63	0,69	-0,81	1

Annexe 06 : le rendement des variétés étudiées durant la campagne 2015/2016.

Géotype	Rendement (Qx /Ha)
Altar 84	18,63
Mexicali 75	9,03
Bousselem	12,18
Oued Zenati	18,05

Annexe 07 : analyse de la variance des paramètres étudiés durant cinq campagnes d'étude

- NE/m²

Source	df	Type III SS	MS	F	P
Blocks	2	1837.65136	918.82568	6.0275172	.0053 **
Main Effects					
G notype	3	10533.84408	3511.2814	23.034085	.0000 ***
Campagne	4	1243466.767	310866.69	2039.2925	.0000 ***
Interaction					
G notype x Campagne	12	47769.09597	3980.758	26.113862	.0000 ***
Error	38	5792.66304	152.4385<-		
Total	59	1309400.021			

- NG/m²

Source	df	Type III SS	MS	F	P
Blocks	2	12962.16009	6481.08	5.2656944	.0096 **
Main Effects					
G notype	3	52800215.44	17600072	14299.561	.0000 ***
Campagne	4	780440472.8	1.9511e8	158521.46	.0000 ***
Interaction					
G notype x Campagne	12	113013534.1	9417794.5	7651.6919	.0000 ***
Error	38	46770.85771	1230.812<-		

- **PMG**

Source	df	Type III SS	MS	F	P	
Blocks	2	0.004	0.002	3.8609e-4	.9996	ns
Main Effects						
G notype	3	264.59868	88.19956	17.026527	.0000	***
Campagne	4	2529.8553	632.46382	122.09429	.0000	***
Interaction						
G notype x Campagne	12	328.14522	27.345435	5.2789128	.0000	***
Error	38	196.8448	5.1801263<-			
Total	59	3319.448				

- **RDT**

Source	df	Type III SS	MS	F	P	
Blocks	2	0.625	0.3125	0.3449768	.7104	ns
Main Effects						
G notype	3	300.25584	100.08528	110.48673	.0000	***
Campagne	4	17580.80061	4395.2002	4851.9753	.0000	***
Interaction						
G notype x Campagne	12	2439.46611	203.28884	224.41582	.0000	***
Error	38	34.4226	0.9058579<-			
Total	59	20355.57016				

- **BIOM**

Source	df	Type III SS	MS	F	P	
Blocks	2	0.50176	0.25088	0.1197725	.8875	ns
Main Effects						
G notype	3	3288.369045	1096.123	523.29952	.0000	***
Campagne	4	30864.23799	7716.0595	3683.72	.0000	***
Interaction						
G notype x Campagne	12	5003.23533	416.93628	199.04933	.0000	***
Error	38	79.59624	2.0946379<-			
Total	59	39235.94037				

- **IR**

Source	df	Type III SS	MS	F	P	
Blocks	2	0.24964	0.12482	0.0621265	.9399	ns
Main Effects						
G notype	3	1853.71536	617.90512	307.54933	.0000	***
Campagne	4	915.42774	228.85693	113.90874	.0000	***
Interaction						
G notype x Campagne	12	908.62614	75.718845	37.687468	.0000	***
Error	38	76.34676	2.0091253<-			
Total	59	3754.36564				