



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 البيولوجية

Département des Sciences Biologiques

Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine Des Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Biotechnologie et protection des végétaux

Thème

**Modélisation du comportement agronomique de quelques
variétés de blé dur en milieu semi-aride.**

Présenté par : Houria Chahira .
Halitim Nadjewa.
Mecheri Asma.

Devant le jury :

Président : M^{me} Bourahla A. M.A.A. (Université de Bordj Bou Arréridj).

Encadrant : M^r Maamri K. M.A.A. (Université de Bordj Bou Arréridj).

Examineur : M^{me} Kelaleche H. M.A.A. (Université de Bordj Bou Arréridj).

Année universitaire : 2016/2017

Remerciements

*Je remercie avant tout **ALLAH** tout puissant, de m'avoir guidé toutes les années d'étude et m'avoir donné la volonté, la patience et le courage pour terminer ce travail.*

*J'adresse l'expression de mes très vives gratitudee et respects à mon encadreur, Monsieur **Maamri khalifa** pour son soutien, pour ses conseils utiles et sa gentillesse et pour ses appréciations sur ce travail. Nous adressons notre remerciement aux Messieurs **IYES** pour l'aide qui nous ont apporté et pour leurs conseils et leurs encouragements.*

Nous volons remercier le jury, qui accepte être un membre considérables de ce travail, et examiner le fruit de ces mois de travail. L'examineur :

KLALCHE le président : **BOURAHLA.**

Chahira Asma Nadjwa

DEDICACE

Je dédie ce travail à:

*Mon très cher mari TIAIBA SAAD qui m'a éclairé le chemin de la vie
par son grand soutien et ses encouragements et qui a toujours aimé me
voire réussir*

*Mes très chers parents ZAHAR et HOURIA pour leurs encouragements
et pour leurs énormes sacrifices durant mes études, je les remercie ;*

Mes sœurs : MARWA, SAMIHA;

Mes frères : SAMI, Hamza

Ma grande mère ELKAMLA et Ma grande père Moussa

Mon oncle : MABROUK et ces enfants : SALAH, ZAKARIA,

CHOUAIBE

RAYHANA

À tous mes amis d'enfance et du long parcours scolaire et

Universitaire.

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail a :

Ma mère et Mon marie ;

Mes frères ;

Mes soeurs ;

Toute ma grande famille sans oublié personne ;

*Mes collègues de mestere; Mes amies et toutes personnes
qui me sont chers ; Pour le soutien qu'ils m'ont apporté,*

Pour leur encouragement, patience et gentillesse,

Je vous remercie infiniment.

Chahira

DEDICACE

Je vous dédie ce travail avec tous

Mes vœux de bonheur, de santé et de réussite

À ma chère belle-mère et mon beau père

À mon mari Mbarek et mon bébé Abdel hay

À mes frères Brahim, Youcef et Zakaria

A ma grand-mère, et toute ma famille

À tous mes amis et collègues

À tous les étudiants de la promotion 2016/2017

A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer

SOMMAIRE

Résumé

Liste des figures

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction..... 1

Partie 01 : Revue bibliographique

Chapitre I : Généralité sur blé dur

I.1.La culture du blé dur..... 3

I.1.1.Histoire de blé..... 3

I.1.2.Origine génétique du blé dur..... 3

I.1.3.Classification du blé dur..... 5

I.2.L'importance de la culture du blé..... 6

I.2.1.En Algérie..... 6

I.2.2.Dans le monde..... 7

I.3.Description morphologique..... 8

I.4.Cycle biologique du blé..... 10

Chapitre II Le stress hydrique .

II.1.Le stress hydrique..... 13

II.2.Influence du stress sur le rendement du blé dur et ces composante.... 13

II.3.Mécanismes d'adaptation stress hydrique..... 14

II.3.1.Adaptation phénologique.....	14
II.3.2.Adaptations morphologiques.....	15
II.3.3.Adaptation physiologique.....	16
II.3.4. Adaptation biochimique.....	19

Chapitre III : Modalisation.

III.1.Modèles et modélisation.....	23
III.2.Les objectifs de la modélisation.....	23
III.3.Les étapes d'une modalisation.....	23
III.4.La modalisation appliquée au blé dur.....	25
III.5.Les modèles de culture.....	26

Partie 02 : Partie pratique

Chapitre I: Matériel et méthodes.

I.1.Localisation des sites expérimentaux.....	28
I.2.Mise en place de l'essai.....	28
I.3.Matériels végétales.....	29
I.4.Profil culturel.....	31
I.5.Mesures et analyses effectuées.....	33
I.6.Calibration et validation du modèle.....	36
I.6.1. Evaluation du modèle.....	38

Chapitre II : Résultats et discussions

II.1.Résultats.....	40
II.1.1.Températures et pluviométrie.....	40

II.1.2.Comportement phréologique de culture.....	41
II.1.3.Comportement morphologique.....	42
II.1.4.Comportement physiologiques.....	43
II.1.5.Évaluation des composantes du rendement.....	45
II.1.5.1.Rendement.....	45
II.1.5.2.Nombre d'épis au mètre carré (NE/m²).....	46
II.1.5.3.Fertilité ou le nombre de grains par épi (NG/E).....	46
II.1.5.4.Poids de mille graines PMG.....	47
II.1.5.5 .Nombre de grains par mètre carré (NG/m²).....	48
II.1.5.6 .La Biomasse.....	49
II.1.5.7.L'indice de récolte (IH).....	50
II.1.6. Résultats du modèle Aquacrop.....	52
II.1.6. 1.Simulation du bilan hydrique.....	52
II.1.7. Simulation des composants du rendement par Aquacrop.....	54
II.1.8. Evaluation du modèle	55
II.2.Discussion.....	56
II.2.1.Paramètres morphologiques.....	56
II.2.2.Paramètres agronomiques.....	57
II.2.3.Paramètres physiologiques.....	59
II.2.4. Stress hydrique.....	60
II.2.4.1. L'effet du stress hydrique sur les paramètres du rendement.....	61
II.2.5. Simulation des composants du rendement par Aquacrop.....	61
Conclusion.....	65

Introduction

Les céréales occupent à l'échelle mondiale une place primordiale dans le système agricole. Les céréales sont considérées comme une principale source de la nutrition humaine et animale (Slama *et al.*, 2005), selon (FAO, 2007) leur production arrive jusqu'à 2 Milliards de tonnes.

Le blé dur constitue un élément essentiel dans la structure de la consommation des céréales. Il contribue énormément aux apports caloriques et protéiques de la population dans l'ensemble du pays. Si la production du blé dur s'est conventionnellement associée à la fabrication de la semoule et les pâtes alimentaires au niveau industriel, en milieu rural l'utilisation du blé dur dans la panification est une pratique courante où le pain à base de blé dur (pain et galette) est un composant fondamental du régime quotidien. Environ 85 pourcent de la production annuelle du blé dur est utilisée en panification (Boujnah *et al.*, 2004).

A cet égard, l'Algérie importe actuellement environ 5.5 millions de tonnes de blé (dur et tendre) pour répondre à la demande, qui représentent 60% des besoins nationaux et environ 40% de la demande de produits de blé dur est importée sous forme de semoule (Kellou R, 2008).

Le déficit hydrique est en effet le facteur limitant majeur de la productivité des plantes. Plus de 60% des pertes de rendement en blé, en Asie et en Afrique sont dues à la sécheresse (Damania, 1991), malgré que les études récentes montrent que ce sont plutôt les basses températures hivernales et printanières qui handicapent le plus cette spéculation (Annichiarico 2007).

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

Cette étude a pour premier but l'évaluation de comportement des paramètres physiologiques et agronomiques de sept variétés de blé dur, quatre génotypes locaux (Oued Zenati, Waha, Polonicum, Bousselem) et trois autres introduites (Hoggar, Mexicali75, Altar84). Le second but est la validation du modèle de culture « AQUACROP » testé sur les sept variétés du blé dur cultivées dans la région de Chania (Bordj Ghdir), ceci afin de valoriser les cultivars les plus adéquats à notre étage bioclimatique semi aride, chose très importante pour augmenter la production et les rendements céréaliers.

Introduction

L'utilisation de ce type d'outil de simulation pourra améliorer la compréhension du comportement variétal en conditions de contrainte hydrique et aider à déterminer les phases de stress avec exactitude et leur impact sur le potentiel de production.

Ce mémoire comporte deux parties, le premier est théorique abordant quelques généralités sur le blé, le stress hydrique et la modalisation. La seconde partie pratique comporte trois chapitres, le premier concerne le matériel utilisé et les méthodes et les protocoles suivis durant le travail. Le deuxième chapitre comporte les résultats obtenus et le troisième chapitre évoque les discussions.

Chapitre I Revue bibliographique

I.1. La culture du blé dur

I.1.1. Histoire de blé

La culture des céréales a permis l'essor des grandes civilisations, car elle a constitué l'une des premières activités agricoles. En effet, Il ya plus de trois millions d'années, l'homme préhistorique était nomade, pratiquait la chasse et la cueillette des fruits pour assurer sa nourriture. Le nomadisme a progressivement laissé la place à la sédentarité qui permit la culture des céréales. Le blé est l'une de ces céréales connue depuis l'antiquité (**Ruel, 2006**). Sa culture remontée au mésolithique vers 7000 avant Jésus-Christ (**Ruel, 2006**). Le blé dur provient des territoires de la Turquie, de la Syrie, de l'Iraq et de l'Iran (**Feldman, 2001**). Le terme blé vient probablement du gaulois blato (à l'origine du vieux français *blaie, blee, blaier, blaver*, d'où le verbe emblaver, qui signifie ensemer en blé) et désigne les grains qui broyés, fournissant de la farine, pour des bouillies (*polenta*), des crêpes ou du pain. On trouve sous le nom de blé des espèces variées: le genre *Triticum* (du latin *Tritus, us*= broiement, frottement): le blé moderne (*froment*), l'orge (*Hordeum*) et le seigle (*Secale cereale*), le blé noir (*sarrasin*) (**Feldman, 2001**).

C'est en l'an 300 ans avant JC, que les premiers procédés de panification ont été élaborés par les Egyptiens qui préparaient déjà les premières galettes à base de blé. (**Yves et de Buyer, 2000**). L'homme sait alors produire sa propre nourriture, en même temps celui-ci acquiert son autosuffisance alimentaire et en ces temps là, apparaissent les premiers échanges commerciaux. Par la suite, les techniques de panifications se sont améliorées grâce au Hébreux, Grecs et enfin Romains qui en répandent l'usage à travers l'Europe et devenue, un des constituant essentiel de l'alimentation humaine (**Yves et de Buyer, 2000**).

I.1.2. Origine génétique du blé dur

Le blé appartient à la famille des graminées (Gramineae = Poaceae), qui comprend plus 10000 espèces différentes (**Mac Key, 2005**). Plusieurs espèces de ploïdie différentes sont regroupées dans le genre *Triticum* qui est un exemple classique d'allo polyploïdie, dont les génomes homéologues dérivent de l'hybridation inter espèces appartenant à la même famille (**Levy et Feldman, 2002**) D'après **Feillet (2000)**, ces espèces se différencient par leur degré de ploïdie (blés diploïdes : génome AA ; blés tétraploïdes : génomes AA et BB ; blés hexaploïdes : génomes AA, BB et DD) et par leur nombre de chromosomes (14, 28 ou 42).

La nature polyploïde du génome des blés aurait également contribué au succès de leur domestication (**Dubcovsky et Dvorak, 2007**). La filiation génétique des blés est complexe et incomplètement élucidée. Il est acquis que le génome A provient de *Triticum monococcum*, le génome B d'un *Aegilops* (*bicornis*, *speltoides*, *longissima* ou *searsii*) et le génome D d'*Aegilops squarrosa* (également dénommé *T. tauschii*). Le croisement naturel *T. monococcum* × *Aegilops* (porteur du génome B) a permis l'apparition d'un blé dur sauvage de type AABB (*T. turgidum ssp. dicoccoides*) qui a ensuite progressivement évolué vers *T. turgidum ssp. dicoccum* puis vers *T. durum* (blé dur cultivé) (**Feillet, 2000**). Des restes de types primitifs de *T. turgidum* cultivé (l'amidonner, qui est un blé à grains vêtus), découverts sur plusieurs sites archéologiques en Syrie, ont été datés d'environ 8000 avant J-C (**Brink et Belay, 2006**). Le croisement entre l'espèce *T. durum* de constitution génomique AABB et l'*Aegilops tauschii* de constitution génomique DD, donna naissance à l'espèce *T. aestivum* de constitution génomique AABBDD (**Feldman et Sears, 1981 ; Shewry, 2009**) (**Figure 1**).

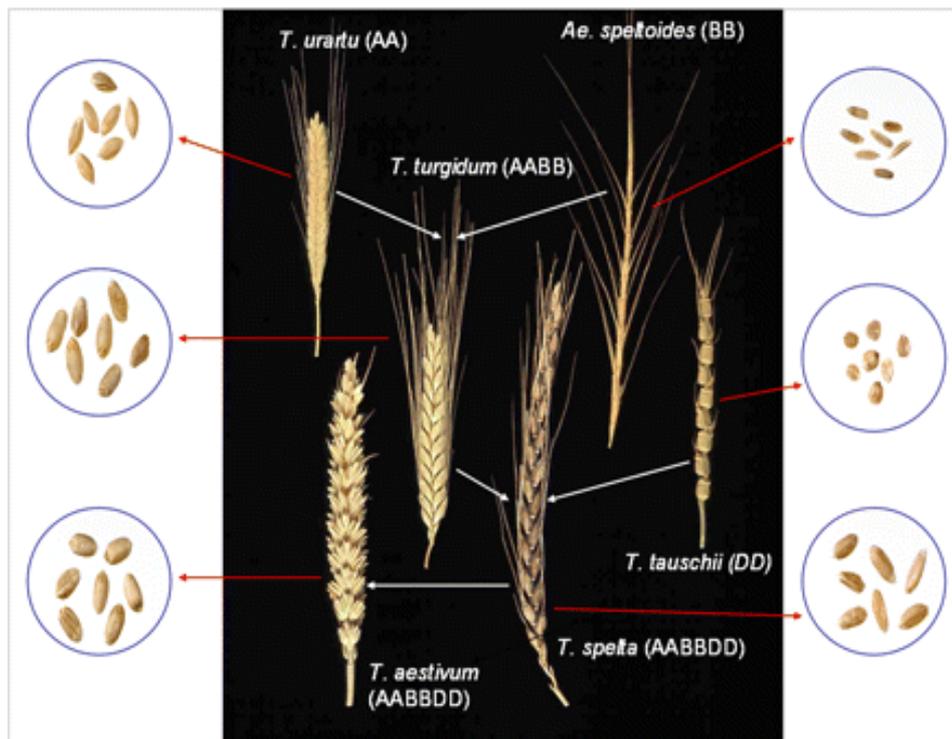


Figure 01. Phylogénie de blé (Shewry, 2009).

Des études ultérieures de cytogénétique mirent en évidence que les différents blés formaient une série allopolyploïde avec $X = 7$ (Feldman *et al.*, 1995). Selon Salamé (2012), des observations cytologiques plus fines, réalisées afin de classer les chromosomes des 3 espèces ont conduit à établir les 3 caryotypes suivants (Figure 2).

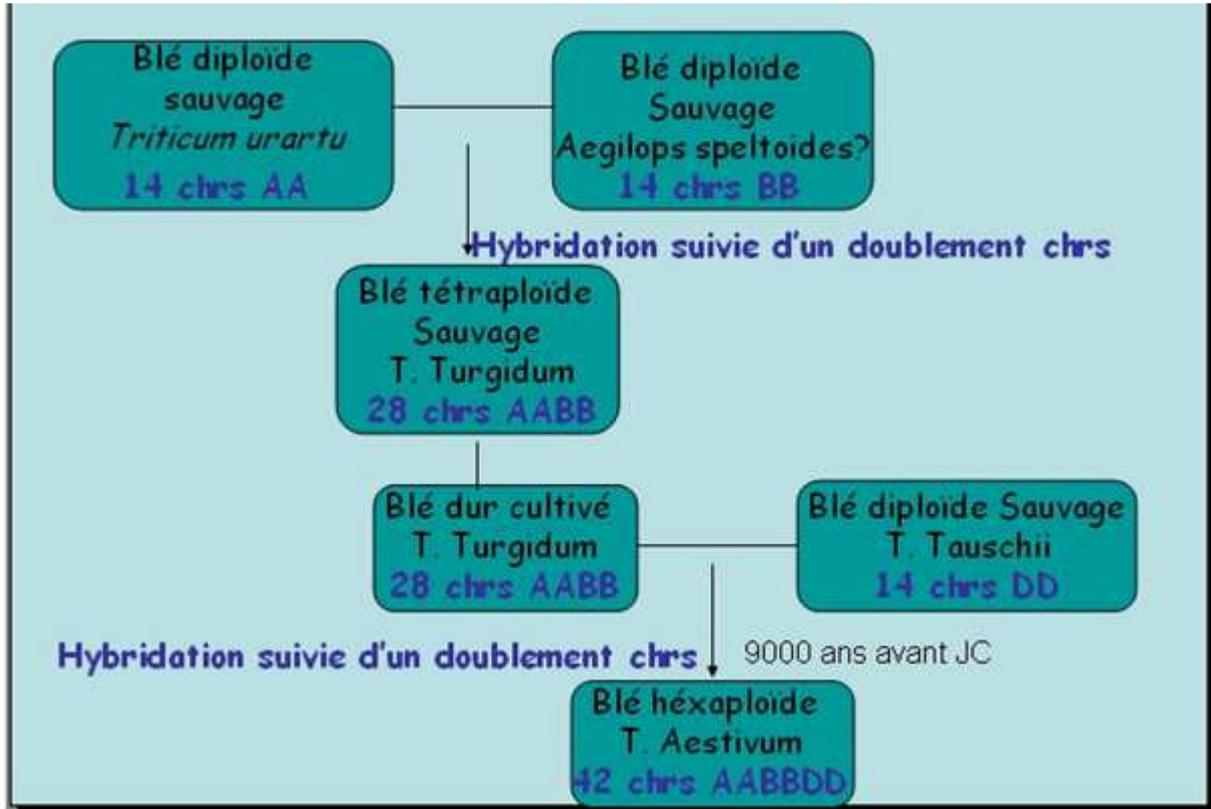


Figure 02 : Caryotypes de trois espèces de blé (Salamé,2012)

I.1.3.Classification du blé dur

La plupart des céréales, herbacée, annuelle, monocotylédone, appartiennent à la famille des Graminées et/ou Poacées. Ce sont: le blé, l'orge, l'avoine, le seigle, le maïs, le riz, le millet, le sorgho. Les unes appartiennent à la sous-famille des Festucoïdées: blé, orge, avoine, seigle; les autres à la sous-famille des Panicoïdées: maïs, riz, sorgho, millet. Le blé dur est une céréale autogame appartenant à l'ordre des Graminales et/ou Poales, famille des Graminae et/ou Poaceae (Rudolphe, 2001). Une classification détaillée est donnée par le tableau ci-dessous (Tableau 2).

Tableau. 2: Classification botanique du blé

Embranchement.....	Spermaphytes
Sous embranchement.....	Angiospermes
Classe.....	Monocotylédones
Ordre.....	Commélimiflorales
Sous ordre.....	Poales
Famille.....	Graminae ou Poaceae;
Genre et espèce.....	<i>Triticum durum</i>

I.2.L'importance de la culture de la blé**I.2.1. En Algérie**

Le total de la production nationale des céréales est de 3,6 millions de tonnes, soit 2 millions de tonnes de blé dur, 1 million de tonnes d'orge et 636 184.9 tonnes de blé tendre.

Quinze (15) wilayas ont enregistré une production dépassant la barre d'1 million de quintaux, les wilayas de Tiaret et Ain Temouchent se classent successivement première et deuxième avec près de 3,5 millions pour la première wilaya et près de 2,5 millions pour la seconde. (ONFAA, 2015)

Tableau 2 : La production nationale des céréales lors de la campagne 2014/2015 (ONFAA, 2015)

	La production(q)	%
Blé dur	2 024 078,98	55%
Orge	1 029 009, 92	28%
Blé tendre	636 184,91	17%

Les rendements en blé dur ont diminué de 1,2% en 2014/2015 (soit 15,4 q/ha) par rapport à la campagne précédente (soit 15,6q/ha). (ONFAA, 2015) .

I.2.2. Dans le monde

L'année 2016 est bonne pour les céréales. Le blé est la deuxième céréale la plus produite au monde, devant le riz et derrière le maïs et Canada, premier pays producteur mondial de blé dur. (FAO, oct. 2016)

Les prévisions de la FAO sont bonnes également pour la campagne 2016-2017. la production mondiale de blé prévue pour 2016-2017 atteint les 742 millions de tonnes, et sa consommation estimée à 730,5 millions de tonnes. elles seraient ainsi en retrait de 1,8 pour cent par rapport au niveau record de 2016, mais resteraient toujours au-dessus de la moyenne des cinq dernières années. (FAO, oct. 2016)

Les stocks mondiaux de blé atteignent un niveau important, estimés à 234 millions de tonnes en 2016/17. D'après la FAO, les prix du blé devraient rester stables et relativement bas en 2016-2017.

Marché mondial du blé						
	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16 Estimation	2016/17 Prévision	
					précédante (02 fév 2017)	dernière (02 mar 2017)
.....millions de tonnes.....)						
Production ¹	654.9	711.5	730.5	735.2	758.1	758.0
Disponibilités ²	851.7	883.7	913.2	943.0	984.5	982.7
Utilisation	684.4	693.8	706.6	714.0	736.5	738.9
Commerce ³	143.5	157.8	156.8	166.8	171.0	172.0
Stocks de clôture ⁴	172.2	182.7	207.7	224.7	245.0	239.6
..... Pour cent.....)						
Rapport stocks mondiaux- utilisation	24.8	25.9	29.1	30.4	33.2	32.4
Rapport stocks des princi- paux exportateurs- utiliza- tion totale ⁵	14.3	14.6	16.8	16.9	18.6	19.2

Source : FAO, oct. 2016

1.3. Description morphologique

1.3.1. Les grains

Le grain de blé est un caryopse, c'est un fruit sec indéhiscent, il est de couleur jaune-ambree à violacée 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 fondue par un sillon qui pénètre profondément dans le grain, cependant la partie dorsale présente une arête plus ou moins prononcée (Gond *et al.*, 1986 in Oudjani, 2009).

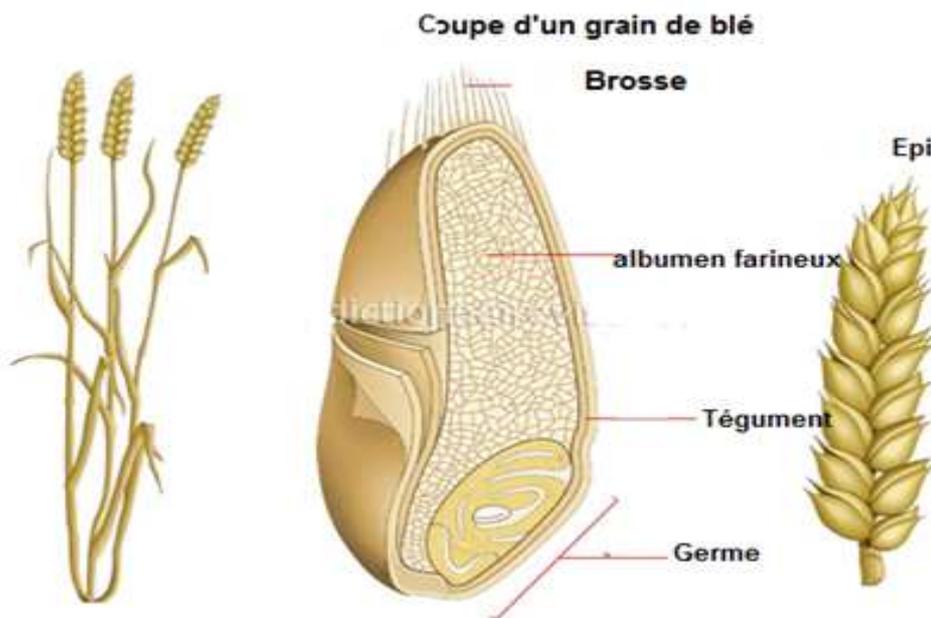


Figure 03 : Anatomie du grain de blé

1.3.2 L'appareil végétatif :

L'appareil végétatif comprend l'appareil aérien et l'appareil racinaire :

1.3.2.1 L'appareil aérien :

Comme pour d'autres graminées, les feuilles de blé dur 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 graine de la feuille se trouve une membrane mince et transparente (ligule) comportant deux petits appendices latéraux (oreillettes) (Bozzinini, 1988). Le blé dur possède : une tige cylindrique, dressée, habituellement creuse et subdivisée en

entre nœuds. Certaines variétés possèdent toute fois des tiges pleines. Le chaume (talles) se forme à partir de bourgeons axillaires aux nœuds à la base de la tige principale (**Bozzini, 1988**). Le nombre de brins dépend de la variété, des conditions de croissance et de la densité de plantation (**Clark et al., 2002 in Aissi et Alouche 2011**).

1.3.2.2. L'appareil reproducteur

La tige principale et chaque brin portent une inflorescence en épi terminal. L'inflorescence du blé dur est un épi muni d'un rachis portant des épillets séparés par de courts entre nœuds (**Soltner, 1998**). A maturité, le grain de pollen fusiforme contient habituellement trois noyaux. Chaque fleur peut produire fruit à une seule gainé, soit le caryopse (**Bozzini, 1988**). Chaque graine contient un large endosperme et un embryon aplati situé à l'apex de la graine et à proximité de la base de la fleur (**Figure 5**) (**Soltner, 1998**).

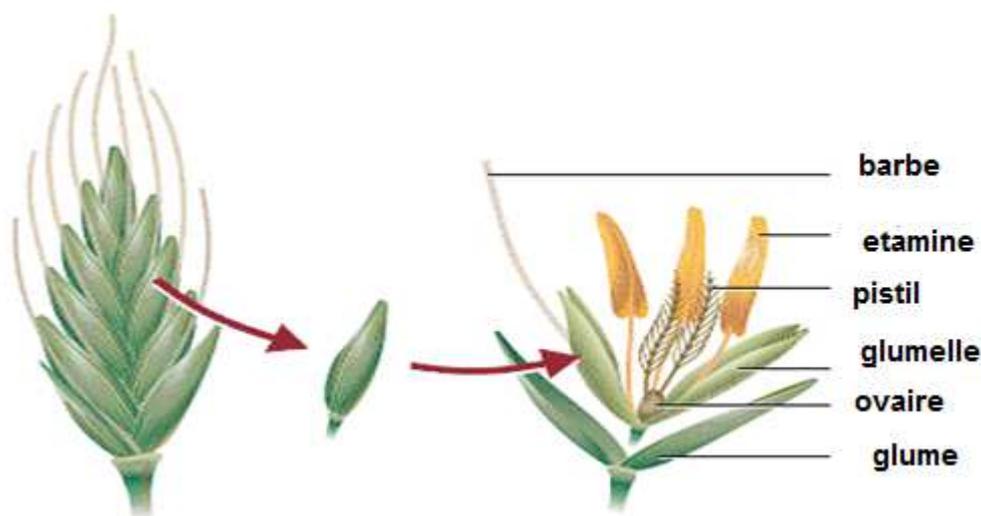


Figure 5 : Structure d'un épi et épillet du blé.

1.3.2.3-L'appareil racinaire

Le système racinaire comprend des racines séminale produites par la plantule durant la levée, ainsi que des racines adventives qui se forment plus tard à partir des nœuds à la base de la plante et constituent le système racinaire permanent (**Bozzini, 1988**) (**Figure 05**).



Figure 06 : Les racines de blé.

1.4. Cycle biologique du blé

De graine à graine, le cycle biologique du blé se divise en trois périodes successives, chacune comporte des phases et des stades (**Figure7**).

1.4.1 Période végétative

1.4.1.1 Phase germination-levée

Cette phase correspond à la mise en place du nombre de pieds/m². Le sol est percé par le coléoptile qui est un étui protecteur de la première feuille (**Hamadache, 2013**). La levée est notée quand 50% des plantes sont sorties de la terre. Pendant cette phase, les jeunes plantes sont sensibles au manque d'eau qui provoque une perte des plantes et au froid qui provoque le déchaussage (**Karou et al., 1998**).

1.4.1.2 Le tallage

Cette phase s'amorce à partir de la quatrième feuille. La formation de la première talle se fait au stade 3 feuilles. La première talle primaire (maitre-brin) apparaît à l'aisselle de la première feuille du blé. La 2ème et la 3ème talle apparaissent à l'aisselle de la 2ème et la 3ème feuille (**Hamadache, 2013**).

La fin tallage est celle de la fin de la période végétative, elle marque le début de la phase reproductive, conditionnée par la photopériode et la vernalisation qui autorisent l'élongation des entre-nœuds (**Gate, 1995**). Cependant, **Longnecker et al., 1993**, suggèrent que le tallage ne s'arrête pas à n'importe quel stade de développement du blé, mais il est plutôt contrôlé par

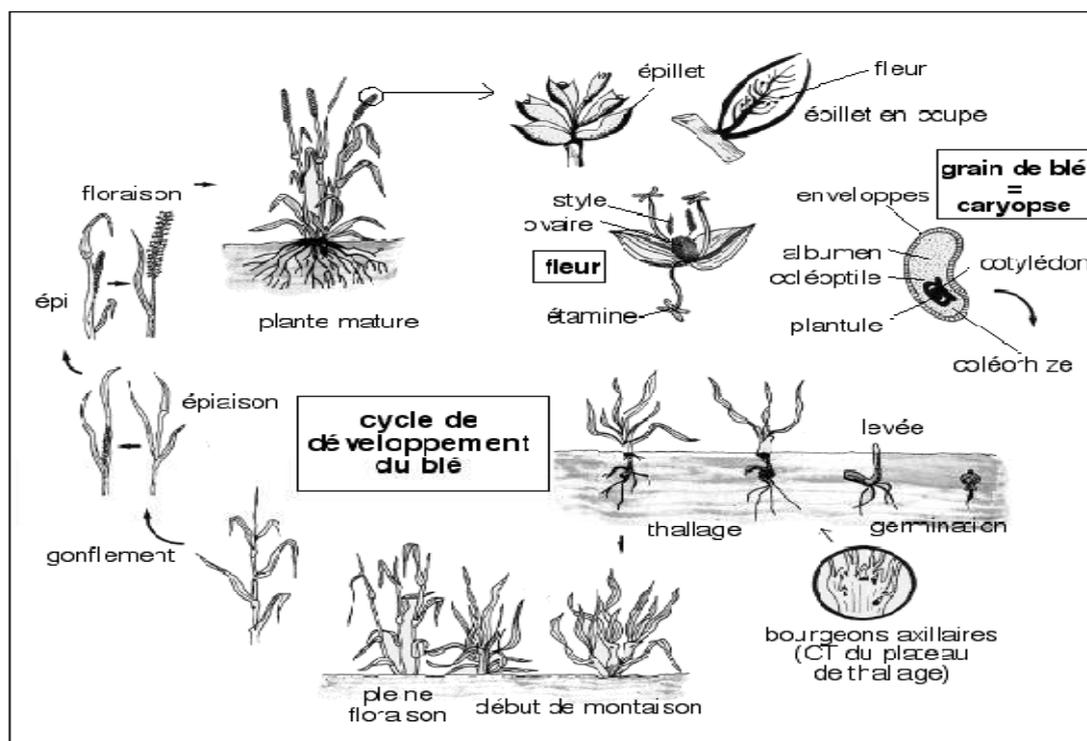
un certain nombre de facteurs génétiques et environnementaux. Le nombre de talles productives dépend du génotype, de l'environnement et est fortement influencée par la densité de peuplement (Acevedo et al., 2002).

1.4.2 Période reproductrice

1.4.2.1 Montaison-floraison

La montaison débute lorsque les entrenœuds de la tige principale se détachent du plateau du tallage (Belaid, 1987). Selon Baldy (1984) la montaison constitue la phase la plus critique du développement du blé. Tout stress hydrique ou thermique au cours de cette phase réduit le nombre d'épis montants par unité de surface (Figure 07).

A l'épiaison, l'épi sort de la dernière feuille. Les épis dégainés fleurissent généralement après quelques jours (moins de 7 jours) après l'épiaison. Les températures élevées et la sécheresse au cours de l'épiaison et de la floraison peuvent réduire la viabilité du pollen et ainsi réduire le nombre de grain (Herbek et Lee, 2009).



Le cycle de développement du blé.

Figure 06. Cycle de développement du blé (Henry et De Buyser, 2000).

I.4.3. Période remplissage et maturité du grain**I.4.3.1. Floraison-maturité**

La période floraison-maturité correspond à l'accumulation des hydrates de carbone et de l'azote dans le grain (**Gallais et Bannerot, 1992**). Cette période correspond à la formation de la 8 dernière composante constitutive du rendement qui est le poids de 1000 grains (**Robert et al.,1993**). Le remplissage du grain, après la floraison, se fait de deux façons :

- Par la migration d'une partie des réserves de la tige.
- Par la photosynthèse des parties de la plante encore vertes (feuilles, épis, barbes).

(Hamadache, 2013).

Le rendement en grains, sous système de culture pluviale et sous environnement contraignant, est la résultante de la durée, de la vitesse de remplissage et de la capacité de translocation des assimilats stockés dans la tige (**Abbassenne et al., 1997**). Les fortes températures au cours de cette période provoquent l'arrêt de la migration des réserves des feuilles et de la tige vers le grain (échaudage du grain). Puis suit le dessèchement du grain, pour atteindre son poids sec final (**Wardlow, 2002**) (**Figure 07**).

Chapitre II Le stress hydrique

II.1. Le stress hydrique

Le manque d'eau ou déficit hydrique représente le stress abiotique le plus sévère auquel la culture du blé dur fait face dans les conditions de productions des zones arides et semi- arides (**Chennafi et al., 2006**). En effet, l'eau joue un rôle essentiel dans la croissance et le développement de la culture du blé dur. Le manque d'eau se traduit par une réduction de la croissance de la plante et de sa production par rapport au potentiel du génotype. Un manque d'eau précoce affecte principalement la croissance des racines, le développement des feuilles et des organes reproducteurs (**Debaeke et al., 1996**). Ceci se répercute sur le rendement économique de la culture, qui peut chuter de plus de 80% (**Chennafi et al., 2006**). Le déficit hydrique à la montaison se traduit par la production très réduite du nombre d'épis par unité de surface. Il induit aussi la réduction du nombre de sites des grains par épi. Vers le stade méiose- épiaison, c'est l'avortement des fleurs qui devient important (**Debaeke et al., 1996**). Le manque d'eau après la floraison, combiné à l'effet des hautes températures, entraînent une diminution du poids moyen du grain. Il affecte, en effet, la vitesse et la durée du remplissage du grain (**Triboi, 1990**). L'adaptation est un mécanisme nécessaire pour les variétés à adopter dans les régions arides et semi- arides, pour tolérer la sécheresse (**Slama et al., 2005**).

II.2. Influence du stress sur le rendement du blé dur et ses composantes

Le déficit hydrique a un effet dépressif sur le rendement et ses composantes (**Kara, 2000; Chennafi et al., 2006**). L'organe qui subit l'effet du déficit hydrique en premier lieu est le limbe foliaire dont la croissance ralentit et la sénescence s'accélère. Le stress hydrique diminue l'indice foliaire et la durée de vie de la feuille, et par voie de conséquence la capacité photosynthétique (**Turner, 1997**). Chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.), la sécheresse est une des causes principales des pertes de rendement, qui varient de 10 à 80% selon les années, en région méditerranéenne (**Nachit et al., 1998**). En effet le rendement est la résultante de trois composantes principales qui sont le nombre d'épis, celui des grains/épi et le poids du grain (**Fellah et al., 2002 ; Benmahammed et al., 2010**). Ces composantes se forment à des différentes phases végétatives réparties tout le long du cycle de la plante. Tout déficit hydrique qui affecte la formation d'une ou plusieurs composantes, affecte le rendement. La phase de maturation correspond à la période de remplissage du grain. L'effet du déficit hydrique, au cours de cette dernière phase, se traduit par une diminution de la taille du grain

(Bahlouli et al., 2005). D'après Grignac (1986), la diminution du poids du grain est liée au dessèchement de la dernière feuille, du dernier entre-nœud, et de l'épi.

Les travaux de Ben Naceur et al., (1999) ont montré qu'une sécheresse survenant au stade jeune (tallage) réduit surtout la croissance en hauteur et le nombre d'épis par unité de surface. Par contre, lorsqu'elle survient aux stades gonflement ou anthèse, elle réduit, plutôt le poids des épis et le rendement en grains. Ainsi, Le stade juste avant épiaison (gonflement) est le stade le plus sensible au déficit hydrique puisqu'une sécheresse survenant à ce stade peut réduire les rendements en grains d'environ 70% par rapport au témoin (Ben Naceur et al., 1999). Ces stress réduisent les assimilats stockés dans les tiges après l'épiaison et affectent l'appareil photosynthétique au cours de la phase de remplissage (Bahlouli et al., 2006). Le nombre d'épillets fertiles est réduit lorsque la sécheresse se produit pendant la phase de différenciation des épillets se traduisant par une réduction du nombre de grains par épi (Bouzerzour et al., 2002). Le manque d'eau après la floraison, combiné à des températures élevées, entraîne une diminution du poids de 1000 grains par altération de la vitesse de remplissage des grains et/ou de la durée de remplissage (Triboï, 1990), provoquant ainsi léchaudage (Benbelkacem et Kellou, 2001), Ce qui entraîne une réduction du rendement. Par ailleurs, et pour bien se développer, la plante doit disposer de mécanismes d'adaptation qui lui permettent de supporter la sécheresse (Slama et al., 2005).

II.3.Mecanismes d'adaptation stress hydrique

La résistance globale d'une plante vis-à-vis du déficit hydrique est la résultante de nombreuses modifications phénologiques, anatomiques, morphologiques, physiologiques et biochimiques. (Passioura, 2004).

II.3.1.Adaptation phénologique

La stratégie appliquée en amélioration variétale, pour réduire les effets des stress, consiste à raccourcir la durée du cycle de la variété. La phénologie rythme le développement de la plante et ajuste le cycle végétatif de manière à l'assortir aux conditions optimales de croissance de l'environnement de production. Pour éviter les périodes difficiles pour la croissance et le développement, certaines variétés accomplissent leur cycle de développement avant l'installation de la contrainte hydrique. La précocité constitue donc un important mécanisme d'évitement de la sécheresse de fin de cycle (Ben Naceur et al., 1999). Les variétés qui pourront s'adapter au climat caractéristique des hauts plateaux doivent se caractériser par une croissance élevée en début du cycle, parce que l'eau est disponible à ce moment-là (Belkharouché et al., 2009), ce qui leur permet d'éviter la période de stress

hydrique de fin de cycle. Par l'évitement de la déshydratation des tissus en maintenant un potentiel hydrique peu variable, à l'aide d'un système racinaire profond et le contrôle des pertes par transpiration. Ainsi que par une tolérance remarquable de l'activité physiologique (**Hayek et al., 2000**). Une croissance rapide en début du cycle améliore l'utilisation des pluies hivernales et permet l'obtention d'une biomasse élevée à maturité (**Cantero et al., 1995**).

Cependant, ce type de croissance entraîne souvent une précocité excessive au stade épiaison et fait donc courir les risques de destruction des organes floraux par le gel tardif en zone d'altitude (**Oosterom et al., 1993**). Comparativement les géotypes qui retardent leur croissance vers le début du printemps, pour des raisons de satisfaction des besoins physiologiques en matière de vernalisation et photopériode souffriront des effets des stress de fins de cycle (**Belkharchouche et al., 2009**). Turner (1979) note que l'amélioration des rendements en conditions sèches est due, pour sa plus grande part, à la précocité. Celle-ci serait responsable de 40 à 60% de la variabilité du rendement. D'après les résultats des essais de **Dekkaki et al., (2000)**, il apparaît qu'une longue période de croissance et une épiaison précoce améliorent le rendement du blé dur. La précocité de l'épiaison est efficacement utilisée comme critère de sélection pour améliorer les productions des zones sèches (**Ali Dib, 1992 ; Ben Salem et al., 1997**).

II.3.2. Adaptations morphologiques

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 talles, enroulement des feuilles et/ou meilleur développement du système racinaire (**Slama et al., 2005**). Un système racinaire capable d'extraire l'eau du sol serait un caractère essentiel pour l'adaptation à la sécheresse. Cette caractéristique revêt une importance particulière pour les cultures qui subissent régulièrement des déficits hydriques durant le cycle de croissance (**El Fakhri et al., 2010**). L'exploitation d'un plus grand volume de sol permet à la plante de satisfaire ses besoins en eau, de maintenir ses échanges gazeux et sa croissance en conditions de sécheresse (**Annerose, 1990**).

La hauteur de la plante apparaît comme un critère de sélection important particulièrement dans les zones semi-arides. **Benmahammed (2005)**, trouve une liaison positive et significative entre le rendement et la hauteur de la paille. Ceci s'expliquerait par le fait qu'une paille haute s'accompagne souvent d'un système racinaire profond ce qui conférerait à la plante une capacité d'extraction de l'eau supérieure (**Bagga et al., 1970**). **Fischer et Maurer**

(1978) mentionnent que les blés hauts ont un indice de sensibilité à la contrainte hydrique plus faible comparativement aux blés nains et semi – nains. La surface foliaire détermine progressivement à la fois les quantités d'eau utilisées par la plante sous forme de transpiration et les quantités de carbone fixées par voie photosynthétique. (Cooper et al., 1983; Benmahammed et al., 2008). Les résultats de Mouellef (2010) montrent que le stress hydrique a entraîné une réduction de la surface foliaire.

En milieux variables, la diminution de la surface foliaire peut avoir des effets bénéfiques en réduisant de la surface évaporante et celle soumise à la radiation solaire. (Cooper et al., 1983 ; Benmahammed et al., 2008 ; Belkherchouche et al., 2009). L'enroulement foliaire, fréquent chez de nombreuses plantes cultivées (blé, sorgho...) peut donc être considéré comme un indicateur de perte de turgescence en même temps qu'un caractère d'évitement de la déshydratation (Monneveux et This, 1997). Chez le blé, l'enroulement foliaire observé chez certaines variétés résistantes relève de ces mécanismes d'économie en eau (Clarke, 1986).

L'inflorescence des céréales est relativement protégée de l'évaporation par des surfaces protectrices comme une cuticule épaisse qui fait que le statut hydrique des inflorescences est meilleur que celui des feuilles (Shepherd et Griffiths, 2006).

De nombreux travaux, réalisés sur une large gamme de génotypes, semblent confirmer le rôle des barbes dans le remplissage du grain en conditions de déficit hydrique (Ali Dib et al., 1992). En effet, les barbes peuvent améliorer le rendement en conditions de sécheresse par augmentation de la surface photosynthétique de l'épi (Slama et al., 2005). En comparant trois variétés de blé dur, la variété ayant la barbe la plus développée sous contrainte hydrique (Razzak) présente le meilleur rendement (Slama, 2002).

II.3.3. Adaptation physiologique

II.3.3.1. La régulation stomatique

Lorsque l'évapotranspiration potentielle, déterminée par les caractéristiques de l'atmosphère, devient supérieure à ses possibilités d'alimentation en eau, la plante réagit en fermant ses stomates pour éviter de se dessécher (INRA, 2000).

Cependant, il faut garder à l'esprit que les stomates sont des cellules isolées au milieu de l'épiderme et qui possèdent leurs propres mécanismes de régulation de la turgescence. Aussi leur fonctionnement peut être relativement indépendant de la turgescence du mésophylle. (Laffray et Louguet, 1991). Ils sont constitués de deux cellules affrontées qui peuvent ainsi se déformer sous l'effet de variations de leur pression hydraulique interne et ouvrir plus ou moins l'ostiole à travers lequel s'échappe l'eau transpirée (Durand, 2007). La fermeture des

stomates est déclenchée par une diminution du potentiel hydrique du mésophylle. Une hormone l'acide abscissique (ABA) semble jouer un rôle important de la fermeture des stomates (**Hopkin, 2003**). L'accumulation d'ABA dans un organe, chez les plantes en conditions hydriques limitantes, est due d'abord à une augmentation de sa synthèse, mais peut être aussi le résultat d'une diminution de sa dégradation ou d'une augmentation de son importation à partir d'un autre compartiment (**Cornic, 2008**). D'après **Tardieu et Simonneau, (1998)** on peut classer les plantes en deux groupes :

- Les plantes dites isohydriques : comme le maïs, ferment rapidement leurs stomates lors d'un déficit hydrique. Ceci conduit à une économie de l'eau du sol disponible, mais entraîne une baisse précoce de la photosynthèse.
- Les plantes dites anisohydriques : comme le tournesol, maintiennent tardivement leurs stomates ouverts. L'état hydrique des tissus de ces plantes tend à suivre celui du sol lorsque ce dernier se dessèche.

La densité stomatique paraît également un autre moyen pour esquiver une sécheresse. En effet, **Miskin et al., (1972)**, en étudiant l'effet de la densité stomatique sur la transpiration, la photosynthèse et la résistance stomatique de 05 variétés d'orge, ont conclu que la sélection des plantes à faible densité stomatique serait un moyen efficace et logique pour trouver des cultivars résistants au stress hydrique.

II.3.3.2. La teneur relative en eau de la feuille

La teneur relative en eau correspond à une signification physiologique directe de l'état hydrique du végétal (**Collinson et al., 1997**). C'est un paramètre physiologique indicateur de la résistance des espèces vis-à-vis d'un stress hydrique (**Berka et Aïd, 2009**). Le maintien d'un potentiel hydrique élevé est lié à l'aptitude à extraire l'eau du sol et à la capacité à limiter les pertes d'eau par transpiration (**Turner, 1986**). Les génotypes qui maintiennent leur TRE élevée lors du stress hydrique seront probablement les plus tolérants et seront les plus productifs (**Sassi et al., 2012**). **Benmahammed et al., (2008)** notent que la corrélation positive entre la teneur relative en eau et la biomasse accumulée indique, qu'en général, l'accumulation de la biomasse sous stress est dépendante du contenu foliaire en eau. Les variétés de blé dur semblent présenter une meilleure résistance à la déshydratation foliaire que les variétés de blé tendre, et cette supériorité se manifeste essentiellement au stade de l'épiaison où la diminution de la teneur foliaire en eau chez le blé dur est significativement moins importante que celle enregistrée chez le blé tendre (**Alem et al., 2002**). **Fahmi et al., (2011)** rapportent qu'en présence d'un stress hydrique,

La teneur en eau relative des feuilles d'*Argania spinosa* augmente de 55.09% à 77.82%, cette augmentation est due à une fermeture graduelle des stomates ; ce qui permet de maintenir la turgescence foliaire de la plante pour tolérer la déshydratation. **Clarke et al., (1991)** suggèrent que la teneur relative en eau comme critère de criblage pour la sélection de lignées tolérantes à la contrainte hydrique.

II.3.3.3. Le maintien de l'intégrité membranaire

D'autres mécanismes encore peuvent intervenir dans le maintien de la turgescence Cellulaire, comme l'élasticité membranaire, la réduction de la taille des cellules (**Tyree et Jarvis, 1982**) et la résistance protoplasmique. Cette dernière dépend de la capacité des cellules à résister à un dommage mécanique et à la dénaturation des protéines au niveau membranaire ou cytoplasmique (**Gaff, 1980**).

Le mécanisme de tolérance des membranes cellulaires s'exprime lorsque ces dispositifs périphériques de protection des cellules ne sont plus efficaces. Le caractère de tolérance sensu stricto le plus connu est la résistance membranaire ou résistance protoplasmique. Elle est le plus souvent mesurée par la méthode des efflux d'électrolytes après choc osmotique au polyéthylène glycol (**Blum et Ebercom, 1981 ; Turner et al., 2001**). La tolérance membranaire s'exprime à un niveau particulièrement important chez les plantes dites de résurrection qui peuvent reconstituer leurs membranes après des périodes de plusieurs semaines de déshydratation (**Gaff, 1980**). Chez le blé dur, la résistance à la sécheresse au sein de la plante entière dépend, du moins en partie, de l'existence de mécanismes opérant au niveau cellulaire (**Bajji et al., 2000**). La tolérance des membranes cellulaires face à la contrainte hydrique est l'un des mécanismes de résistance à la sécheresse les plus efficaces chez les plantes. Il a été mis en relation avec la performance au champ des génotypes sur différentes espèces végétales notamment sur des légumineuses (**Vasquez-Tello et al., 1990 ; Dhanda et Sethi, 2002**). Ces différents résultats montrent bien qu'une appréciation de l'intégrité des membranes en condition de stress constitue une approche indispensable pour l'évaluation de la capacité de tolérance à la sécheresse d'un matériel donné (**Annerose, 1990**). Le maintien de l'intégrité membranaire constitue encore le mécanisme de tolérance à la sécheresse le plus évident et probablement le plus efficace chez l'arachide. Les différences variétales mises en évidence permettent de caractériser les variétés les plus tolérantes par leur capacité à conserver l'intégrité de leurs tissus en condition de sécheresse. L'intérêt de ce comportement n'est pas seulement d'améliorer la capacité de la plante à supporter une déshydratation mais il devrait aussi contribuer à favoriser ses capacités de reprise à l'arrêt de la sécheresse (**Annerose, 1990**).

La prise en compte des résultats obtenus à la fois aux niveaux cellulaire et de la plante entière apparaît nécessaire pour une meilleure compréhension de la complexité des mécanismes permettant à la plante de résister au stress et constitue à nos yeux une stratégie essentielle dans ce type d'étude (**Bajji et al., 2000**).

II.3.3.4. La température de la canopée

La température de surface du couvert végétal est une caractéristique physique de la plante influencée par la contrainte hydrique. Plusieurs méthodes ont été utilisées pour estimer et mesurer la température d'un couvert végétal, cependant l'utilisation de la télédétection infrarouge thermique est celle qui semble offrir des voies prometteuses. Elle présente l'avantage de la rapidité et de la facilité d'acquisition, nécessaire pour un diagnostic hydrique. Ceci a conduit au développement de plusieurs indicateurs de stress hydrique basés sur la relation qui existe entre la température, les propriétés optiques des végétaux et leur état hydrique. Selon **Dakheel et al., (1993)**, la capacité des plantes à maintenir une température foliaire basse est une indication de leur grande capacité à extraire l'eau du sol et à se rafraîchir par transpiration. Ces variétés maintiennent une activité photosynthétique élevée autorisant un rendement plus élevé, sous stress terminal. La mesure de la température de la canopée a bénéficié d'un certain intérêt comme technique de criblage pour la résistance au stress, particulièrement avec l'avènement du thermomètre infrarouge portable. **Dakheel et al., (1993)** trouvent que durant les premiers stades de développement, jusqu'au stade épiaison, quand la température de l'air est relativement basse, la température de la canopée est corrélée positivement avec le rendement en grains. A partir du stade épiaison et durant la période de remplissage du grain, la température foliaire est corrélée négativement avec le rendement en grains. Des températures basses du couvert végétal sont indicatives d'un potentiel hydrique foliaire élevé (**Blum et Pnuel, 1990**).

II.3.4. Adaptation biochimique

II.3.4.1. La teneur en chlorophylle

La diminution de la photosynthèse, qui fait suite à la réduction de la teneur relative en eau et du potentiel hydrique foliaire, est causée par la réduction de la pénétration du CO₂. La diminution de la photosynthèse nette peut être attribuée à la diminution de la concentration interne du CO₂ sans que la capacité photosynthétique des tissus de la feuille ne soit endommagée (**El-jaafari et Paul, 1993**). **Bousba et al., (2009)**, indiquent qu'une diminution de la teneur en chlorophylle est remarquée chez le blé dur sous stress hydrique. **Tahri et al., (1997)** montrent que l'augmentation de la teneur en proline foliaire sous l'effet du stress suivie par un abaissement dans les teneurs en pigments chlorophylliens totaux (Chlorophylles

a et b). Ainsi la variété qui accumule plus de proline est aussi celle qui connaît la plus forte diminution de ses teneurs en pigments chlorophylliens et vice versa (Tahri *et al.*, 1997).

II.3.4.2. Ajustement osmotique

La tolérance est la stratégie qui permet à la plante d'assurer ses fonctions physiologiques malgré une dégradation de son état hydrique (Temagoult, 2009). L'un des principaux caractères physiologiques de tolérance aux contraintes du milieu est l'ajustement osmotique (El Midaoui *et al.*, 2007). L'ajustement osmotique peut aussi jouer un rôle important en aidant des feuilles partiellement flétries à redevenir turgescents lorsque l'apport d'eau reprend. En aidant la feuille à maintenir sa turgescence, l'ajustement osmotique permet aux plantes de garder leurs stomates ouverts et de prélever du CO₂ pour effectuer leur photosynthèse dans des conditions de stress hydriques modérés (Hopkins, 2003). Il peut intervenir à tous les stades du développement (Monneveux *et This*, 1997). Celui-ci est réalisé grâce à une accumulation de composés osmorégulateurs (El Midaoui *et al.*, 2007). Les solutés responsables de la régulation osmotique sont essentiellement des acides organiques, des acides aminés (proline, glycine-bétaine), des sucres solubles et certains constituants inorganiques (Richards *et al.*, 1997). La fonction principale des solutés compatibles est d'empêcher la perte d'eau pour maintenir la turgescence cellulaire et à maintenir le gradient de reprise en eau dans la cellule. Ces accumulations de métabolite dans les cellules conduisent à une augmentation du potentiel osmotique et ont finalement abouti à une plus grande capacité d'absorption d'eau par les racines et l'économie d'eau dans les cellules (Seyed *et al.*, 2012).

L'ajustement osmotique apparaît aujourd'hui comme un mécanisme majeur d'adaptation à la sécheresse (Monneveux *et This*, 1997).

II.3.4.2.1. Accumulation de la proline

Parmi les acides aminés pouvant être accumulés, la proline représente des manifestations les plus remarquables des stress hydriques et osmotiques. Singh *et al.*, (1973) proposent d'utiliser la proline comme critère de sélection pour la tolérance au stress chez l'orge. La proline est l'un des solutés compatibles le plus fréquemment accumulé en réponse à des contraintes environnementales variées et joue un rôle important dans la tolérance des plantes (Ben Rejeb *et al.*, 2012).

L'accumulation de proline est l'une des stratégies adaptatives fréquemment observées chez les plantes pour limiter les effets du stress hydrique. Elle est liée à l'osmorégulation cytoplasmique (Acevedo *et al.*, 1989). Selon Tahri *et al.*, (1997) l'accumulation de la proline, induite par les stress, peut être le résultat de trois processus complémentaires: stimulation de sa synthèse, inhibition de son oxydation et/ou altération de la biosynthèse des protéines. Son

accumulation dans les feuilles de plantes qui souffrent d'un manque d'eau a été décrite très anciennement (**Cornic, 2008**). On pense que l'accumulation se fait dans le cytoplasme où sa concentration atteint parfois 230 à 250 mM. Elle peut à cette concentration participer effectivement à l'ajustement osmotique de la plante (**Samars et al, 1995**). Un déficit hydrique plus grave amplifie davantage l'accumulation de la proline dans les tissus foliaires, atteignant pratiquement le double de celle du témoin (757,15 contre 345,72 µg / 100 mg feuilles, soit 119,01 % d'augmentation) (**Hireche, 2006**). Outre son rôle osmotique, la proline semble aussi avoir un rôle dans l'enroulement foliaire, constituant un mécanisme de limitation de la transpiration chez les céréales, qui serait lié à l'accumulation d'acide abscissique (ABA) au niveau des feuilles. Elle pourrait en outre jouer plusieurs rôles dans le métabolisme intracellulaire, dans la protection des membranes et des systèmes enzymatiques, et favoriserait la reprise après réhydratation (**Lepoivre, 2003**). Plusieurs sélectionneurs et physiologistes ont utilisé la capacité de son accumulation dans le criblage de génotypes résistants au déficit hydrique (**Benlarabi et Monneveux, 1988**) sur le blé dur.

II.3.4.2.2.L'accumulation de sucres solubles

La diminution du potentiel hydrique du sol en conditions de sécheresse provoque une perte importante de la turgescence au niveau de la plante (**Henchi, 1987**). Le potentiel osmotique peut être maintenu pour un stress hydrique de faible ou moyenne intensité, par ajustement osmotique (**Dubos, 2001**). Les sucres peuvent servir de composés solubles compatibles pour cet ajustement osmotique (**Dubos, 2001**). Ils permettent également une préservation de l'intégrité membranaire dans les organes desséchés ainsi qu'une protection des protéines (**Darbyshire, 1974**).

Généralement, on pense que l'accumulation de sucres solubles peut avoir comme origine l'hydrolyse de réserves (en particulier, d'amidon) mais aussi une modification du métabolisme carboné, la dégradation de polysaccharides et une réduction de l'utilisation de carbohydrates plus importante que la réduction de la photosynthèse en conditions de déficit hydrique (**Lepoivre, 2003**).

De nombreuses études ont mis en évidence l'accumulation de sucres solubles lors de la dessiccation. Une idée principale en ressort: différents sucres solubles peuvent être présents dans des tissus bien hydratés, mais le saccharose est préférentiellement accumulé dans les tissus en déshydratation (**Dubos, 2001**). Chez le soja, la teneur foliaire en saccharose contribuerait au maintien d'une pression osmotique élevée limitant les pertes d'eau par transpiration (**Bensari et al., 1990**). **Berka et Aïd, (2009)** montrent que la teneur en sucres solubles des feuilles des plants stressés augmente régulièrement et d'une manière significative

en fonction de la diminution de la teneur relative en eau. Les sucres sont considérés par plusieurs auteurs comme de bons osmorégulateurs (**Kameli et Losel, 1995; Sanchez et al., 1997**) qui peuvent jouer un rôle important dans l'ajustement osmotique et l'adaptation des plantes à la sécheresse (**Morgan, 1984; Zhang et al., 1999**).

Chapitre II : Résultats et discussions

II.1. Résultats

II.1.1. Températures et pluviométrie

II.1.1.1. Les températures : La température moyenne de la saison (2015/16) du site expérimental est de 12.94 C°. Le mois de décembre était le plus frais avec 9.24C° puis la température augmente progressivement jusqu'à 26,97°C au mois de juin; (Tableau 06).

II.1.1.2. La pluviométrie : La quantité des précipitations enregistrée durant les mois du cycle cultural de la saison (2015/16) est de 152.38 mm constituée principalement par les pluies printanière (50,78 mm au mois de mars). A partir du mois de avril, la pluviométrie décroît jusqu'à la fin du cycle, (Tableau 06).

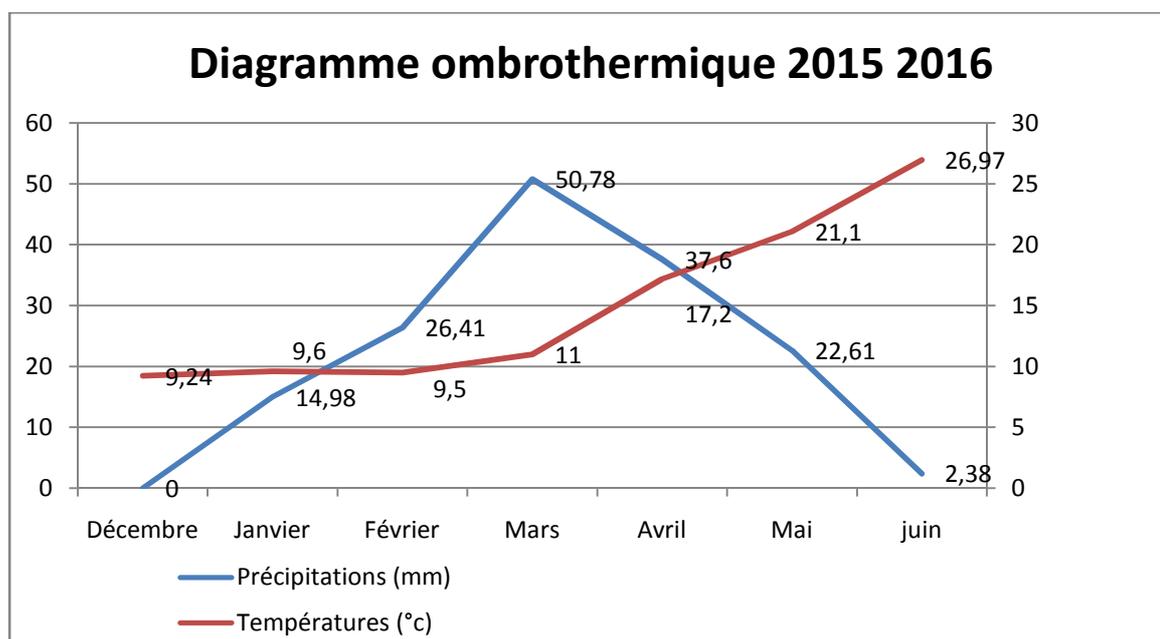


Figure 17 : La variation de la température et pluviométrie durant le cycle culturale.

La saison 2015/2016 été caractérisé par deux périodes sèches, la première s'étend du mois de décembre jusqu'à janvier, la seconde période débute de mois avril et se poursuit à la fin de cycle cultural. La période humide coïncide avec les mois d'hiver

et s'étale de fin janvier au début avril ce qui favorise le développement de la plante (Figure 17).

Tableau 06: La variation de la température et pluviométrie durant le cycle culturale.

Mois	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
Précipitations (mm)	0	14,98	26,41	50,78	37,6	22,61	2.38
Températures (°c)	9,24	9,6	9,5	11	17,2	21,1	26.97

II.1.2.Comportement phénologique de culture

II.1.2.1. Levée : Les variétés (locales) ont été plus précoces à la levée que les variétés introduites. Oued zenati et Polonicum ont levé 28 jours après semis. La levée des variétés introduites à lieu un jour en plus en moyenne 27,72 (Tableau 07).

II.1.2.2.Epiaison : La moyenne de l'épiaison de 50 % des variétés à était relativement enregistrée après 137 jours du semi. Hoggar et Altar sont les plus précoces avec 133 et 134 jours respectivement. Les variétés locales Oued zenati et Polonicum sont les variétés les plus tardives avec 140 et 143 jours respectivement. L'analyse de variance a montré une différence significative et 4 groupes homogènes de moyenne sont observés (Tableau 7).

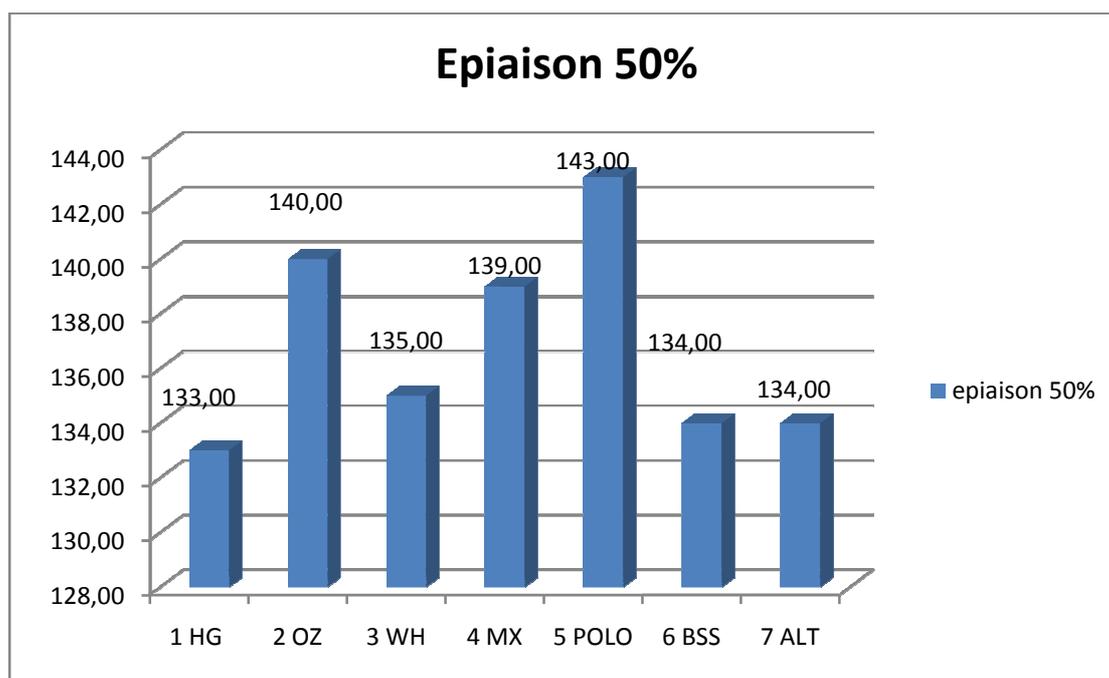


Figure 18 : Histogramme de la date d'épiaison a 50%.

Tableau 07: Les caractéristiques phénologiques (levée et épiaison)

	Levée (jours) 50%	épiaison (jours) 50%
Hoggar	27	133
OuedZenati	28	140
Waha	28	135
Mexicali	27	139
Polonicum	28	143
Bousselem	27	134
Altar	29	134
Moyenne	27,72	136.85

II.1.3.Comportement morphologique

II.1.3.1.Hauteur (barbe incluse) : Les sept variétés semées présentent une hauteur moyenne de 61,80 cm, avec un maximum de 84,66 cm et 81,33 cm pour les variétés locales Polonicum et Oued Zenati respectivement, et un minimum pour la variété mexicali (57,66cm) (**Figure 19**).

L'ANOVA révèle la présence d'une différence significative entre les hauteurs des génotypes, et mis en évidence quatre groupes homogène.

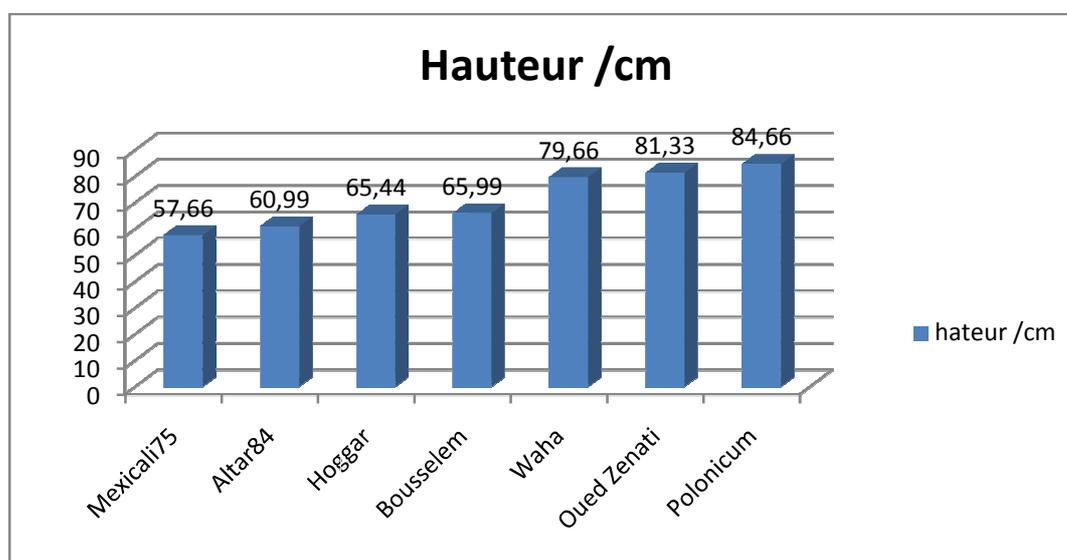


Figure 19 : Histogramme de la hauteur.

II.1.4.Comportement physiologiques

II.1.4.1.Température du couvert végétal (feuille drapeau) :

La température de la canopée varie de 22,33 C° pour à 26,66 C° pour (**Figure20**). La moyenne de température du couvert végétal est de 24,71 C°. L'analyse de variance (ANOVA) a montré un résultat non significatif entre les variétés (**Tableau 08**).

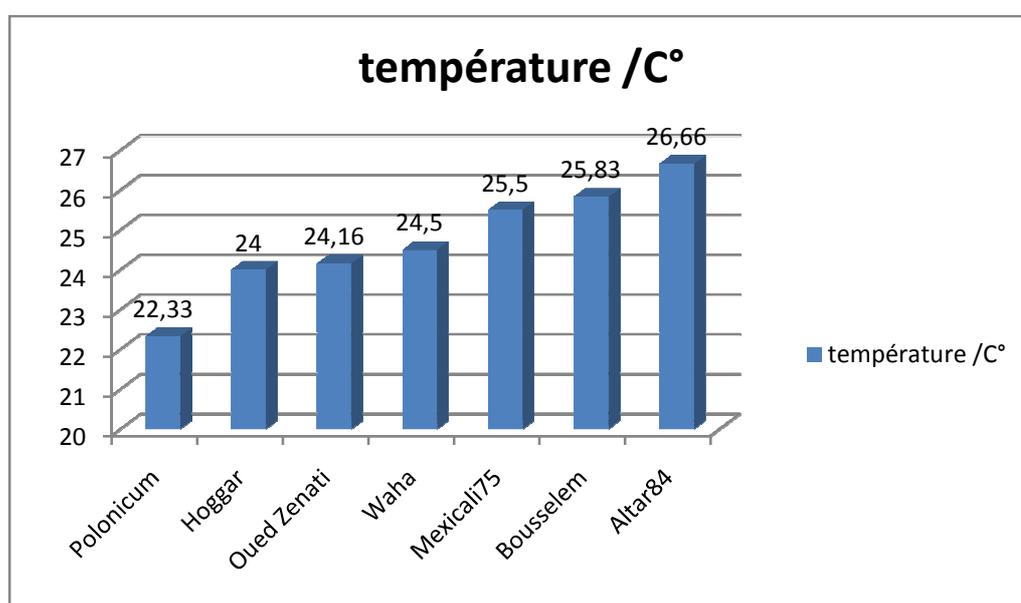


Figure 20 : Histogramme du température de couvert végétal.

II.1.4.2 .Teneur en chlorophylle:

Avec la chlorophylle mètre en a obtenu une moyenne de la teneur en chlorophylle de 42,31 unité SPAD. ont les teneurs les plus faibles avec unité SPAD respectivement et les teneurs les plus élevées sont pour Waha et Oued Zenati avec respectivement 46,29 et 48,42 unité SPAD (**Figure 21**). L'analyse de variance à montré un résultat non significative (**Tableau 08**).

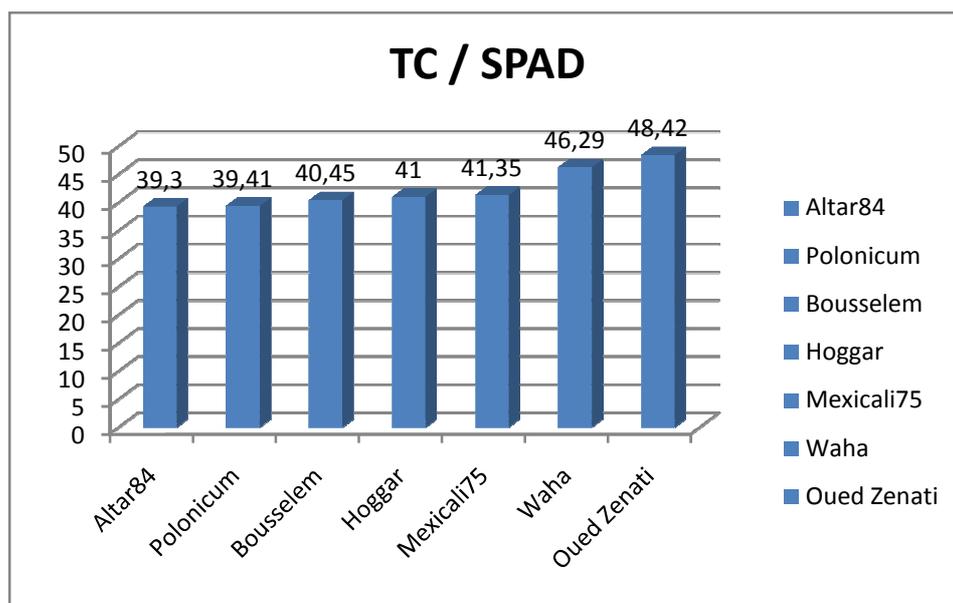


Figure 21 : Histogramme du teneur de chlorophylle en SPAD.

II.1.4.3 .Concentration de la proline :

Les taux de proline estimés varient entre 2,83 μg pour Altar et 7,9 μg pour Hoggar (Figure 22), et la moyenne générale est de 3,41 μg .

L'analyse de la variance(ANOVA) a montré une différence non significative entre les variétés (Tableau 08).

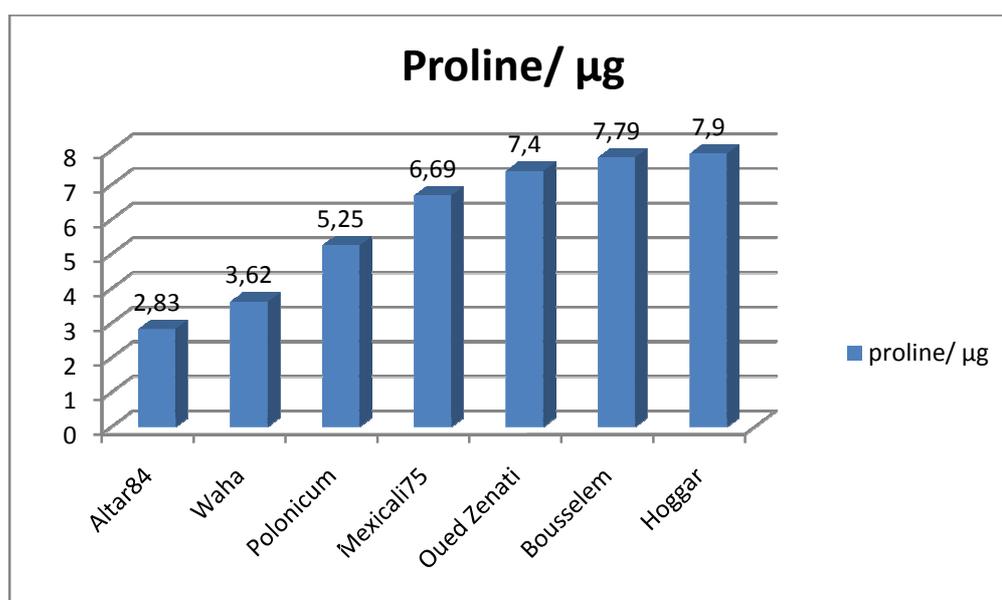


Figure 22: Histogramme de la proline.

Tableau 8 : Les paramètres physiologique mesuré.

Genotypes	C°	TC	Proline/ µg
Hoggar	24 (a)	41 (ab)	7.9 (a)
OuedZenati	24.16 (a)	48.42(a)	7.41(a)
Waha	24.5 (a)	46.29 (ab)	3.62 (a)
Mexicali75	25.5(a)	41.35 (ab)	6.70 (a)
Polonicum	22.33(a)	39,41(b)	5.25 (a)
Bousselem	25.83(a)	40,45 (ab)	7.80 (a)
Altar84	26.66(a)	39.30 (ab)	2.84 (a)
Moyenne	24.71	42.32	5.93

II.1.5 .Évaluation des composantes du rendement

II.1.5.1 .Rendement

La moyenne du rendement est de 19,95 qx/ha, elle varie entre une valeur maximale de 32,02qx /ha (Waha) et une valeur minimale pour la variété Mexicali75 avec 11,83 qx/ha (**Figure 23**). Le rendement graine montre une différence significative entre les génotypes, qui sont répartis en 5 groupes homogènes (**Tableau 09**).

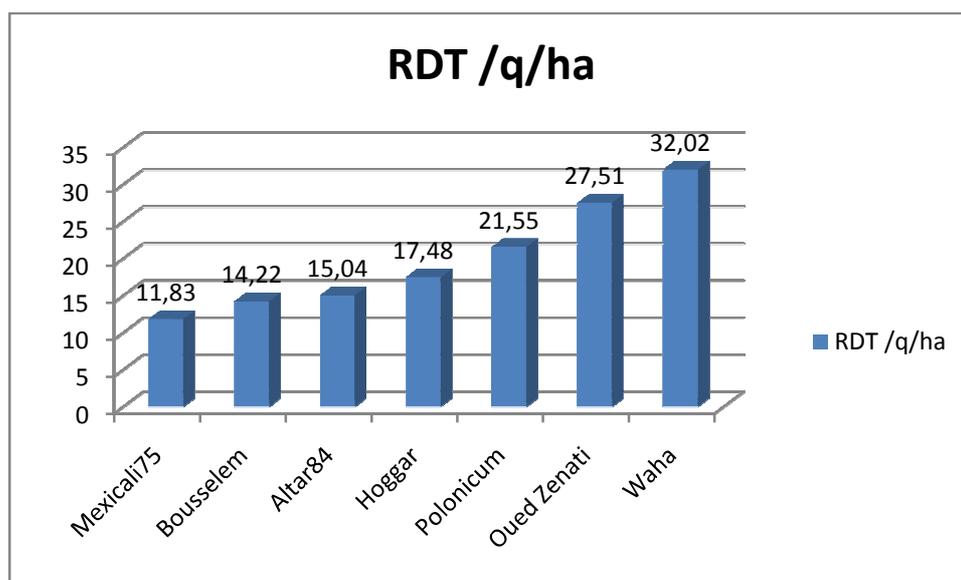


Figure 23 : Histogramme du rendement des variétés.

II.1.5.2 .Nombre d'épis au mètre carré (NE/m²)

Le nombre moyen d'épis par m² est de 125,39 épis/m².L'analyse de variance fait ressortir une différence entre les génotypes (**Tableau 09**). Mexicali produit moins d'épis (75 épis/m²), tandis que, Polonicum a le meilleur peuplement épis avec 182,22 épis/m (Figure24).

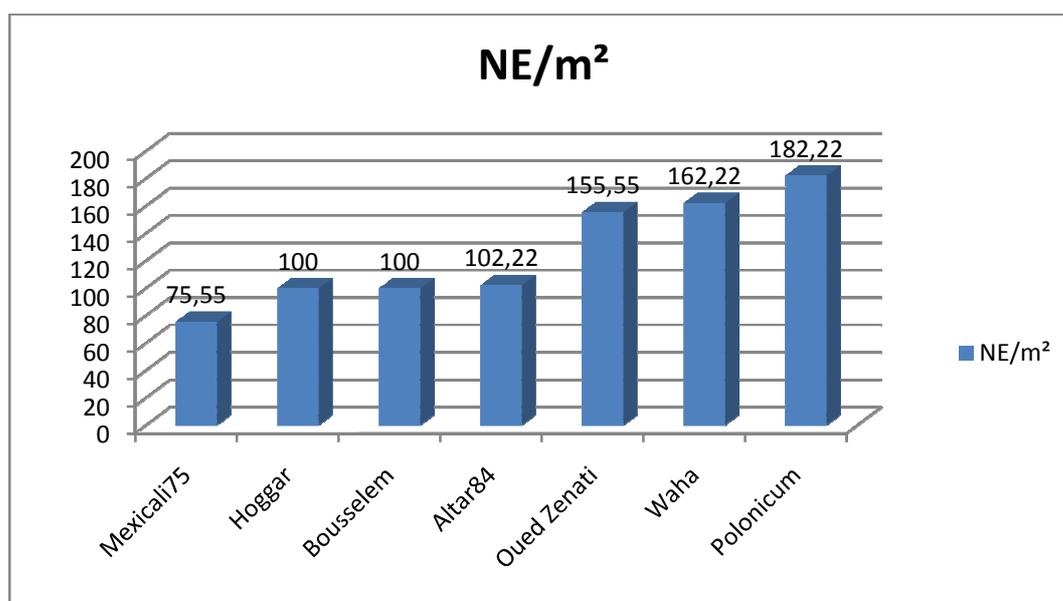


Figure 24 : Histogramme du nombre d'épis par mètre carré.

II.1.5.3. Fertilité ou le nombre de grains par épi (NG/E)

Le nombre de grains par épi des sept génotypes varie de 32,33 pour Bousselem à 45 pour waha, la moyenne est de 38,8 grains par épi (**Figure 25**). L'analyse de variance n'a pas révéler des différences significative (**Tableau 09**).

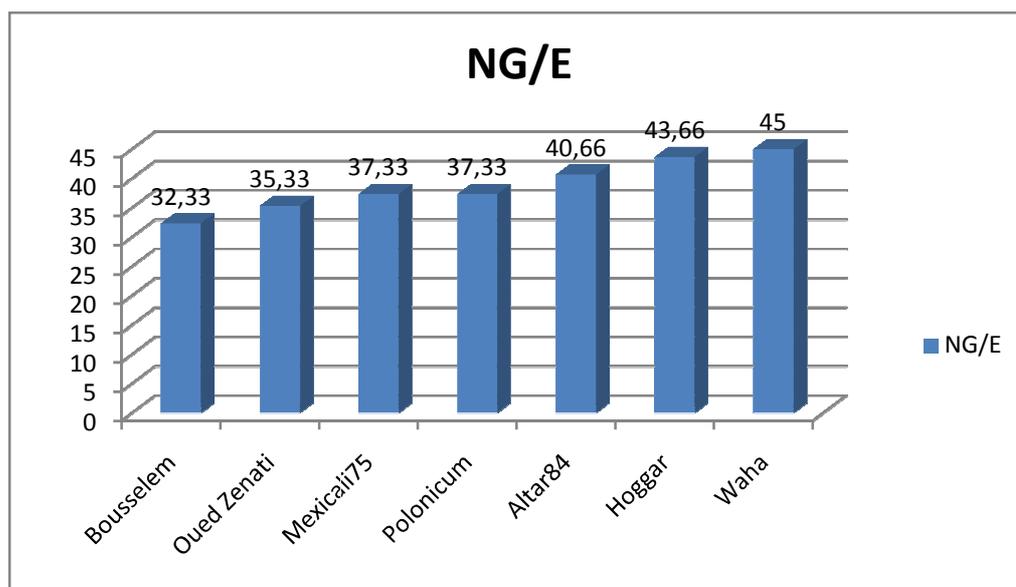


Figure 25 : Histogramme du nombre de grains par épi.

II.1.5.4 .Poids de mille graines PMG

L'analyse statistique a montré des différences hautement significative et le test de comparaison des moyennes a classé chaque variété dans un groupe homogène (07 groupes) (Tableau 09). Le PMG des sept variétés varie de 30,2 g chez Polonicum à 50 g pour Oued Zenati. Leur moyenne est 41,71 g (Figure 26).

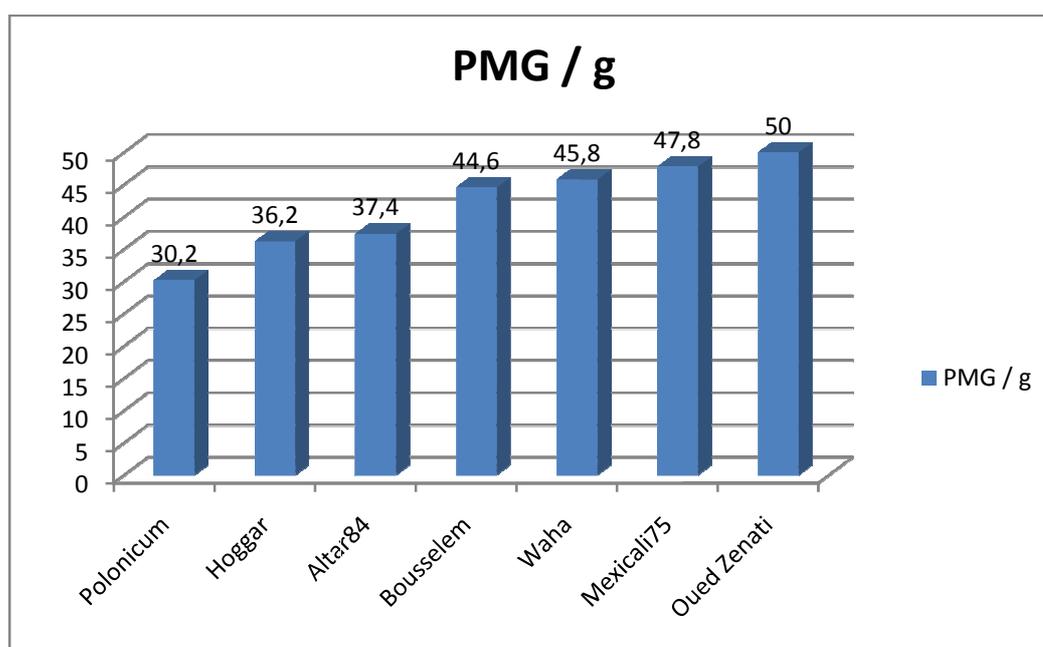


Figure 26 : Histogramme du poids de mille grains.

II.1.5.5. Nombre de grains par mètre carré (NG/m²)

La variété Polonicum a le nombre maximum de 7137,69 grains/m², alors que la variété Mexicali a le nombre minimum 2475,45 grains/m² (**Figure 27**). La moyenne générale est 4878,59 ; L'analyse de variance a montré des différences non significative (**Tableau 09**).

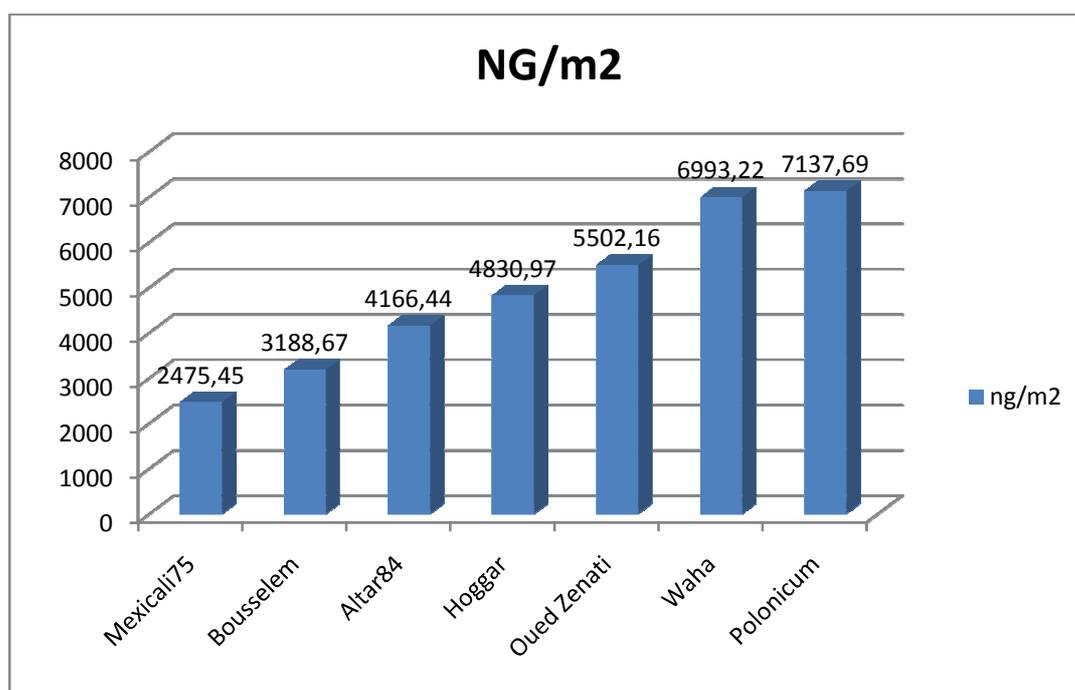


Figure 27 : Histogramme du nombre de grains par mètre carré.

Tableau 09 : Valeur des paramètres composante le rendement.

Genotypes	RDT (q/ha)	NE/m ²	NG/E	PMG (g)	NG/m ²	IR	Biomasse (Ton)
Hoggar	17,48	100 (bc)	43.66(a)	36,2	4830.97 (ab)	49.28 (a)	92.14 (a)
OuedZenati	27,51	155.55 (ab)	35.33(a)	50 (a)	5502.16 (ab)	29.97 (c)	88.32 (ab)
Waha	32,02 (a)	162.22 (ab)	45(a)	45,8 c	6993.22 (a)	38.28 (b)	77.23 (b)
Mexicali75	11,83 (c)	75.55 (c)	37.33(a)	47,8 (b)	2475.45 (b)	38.29 (b)	78.98 (ab)
Polonicum	21,55	182.22(a)	37.33(a)	30,2 (g)	7137.69 (a)	28.66 (c)	79.42 (ab)
Bousselem	14,22	100 (bc)	32,33(a)	44,6 d	3188.67 (b)	44.38 (ab)	78.28 (ab)
Altar84	15,04	102.22(bc)	40.66(a)	37,4 (e)	4166.44 (ab)	44,47	75,07
Moyenne	126,75	790,14	199,45	255,94	30723,36		

II.1.5.6. La Biomasse

Les résultats montrent que la biomasse varie entre 92.14 et 75.03 qx/ha, Hoggar enregistre la valeur la plus grande alors que celle de Altar est la plus faible ; L'analyse de variance a montré des différences non significative (**Figure 28**).

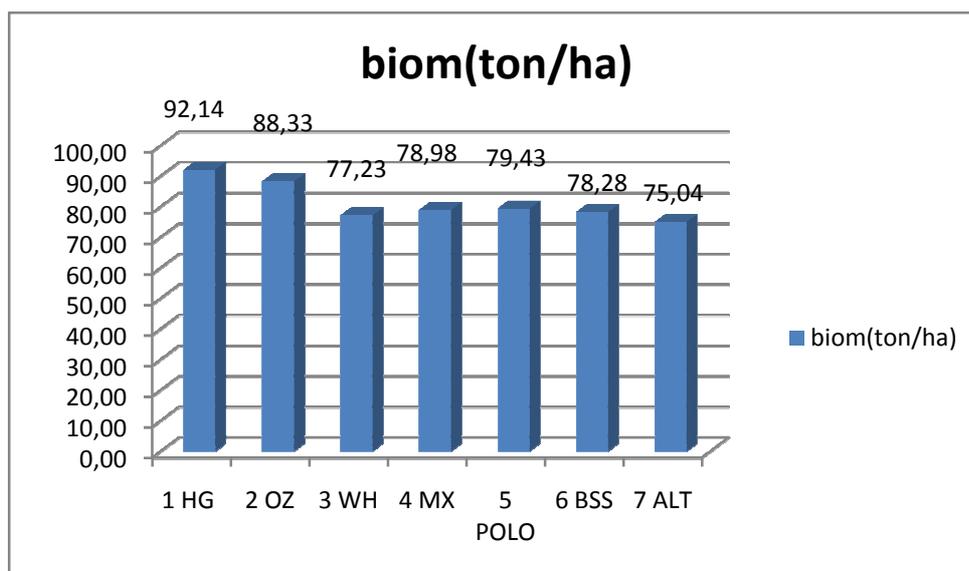


Figure 28 : Histogramme de la biomasse.

II.1.5.7.L'indice de récolte (IH)

Il s'agit du rapport entre le rendement et la biomasse, il est possible de l'améliorer soit par l'augmentation du poids des grains ou avec l'augmentation du nombre de grains par épi. L'indice de récolte (IH) est significativement différent d'une variété à une autre. Les deux variétés Hoggar et Altar ont l'indice de récolte le plus élevé avec respectivement 49,28% et 44,47%. La valeur minimale enregistrée est 28,66% pour la variété Polonicum (**Figure29**). L'analyse de l'indice de récolte a montré une différence très hautement significative entre les génotypes étudiés, qui sont répartis en 4 groupes homogènes

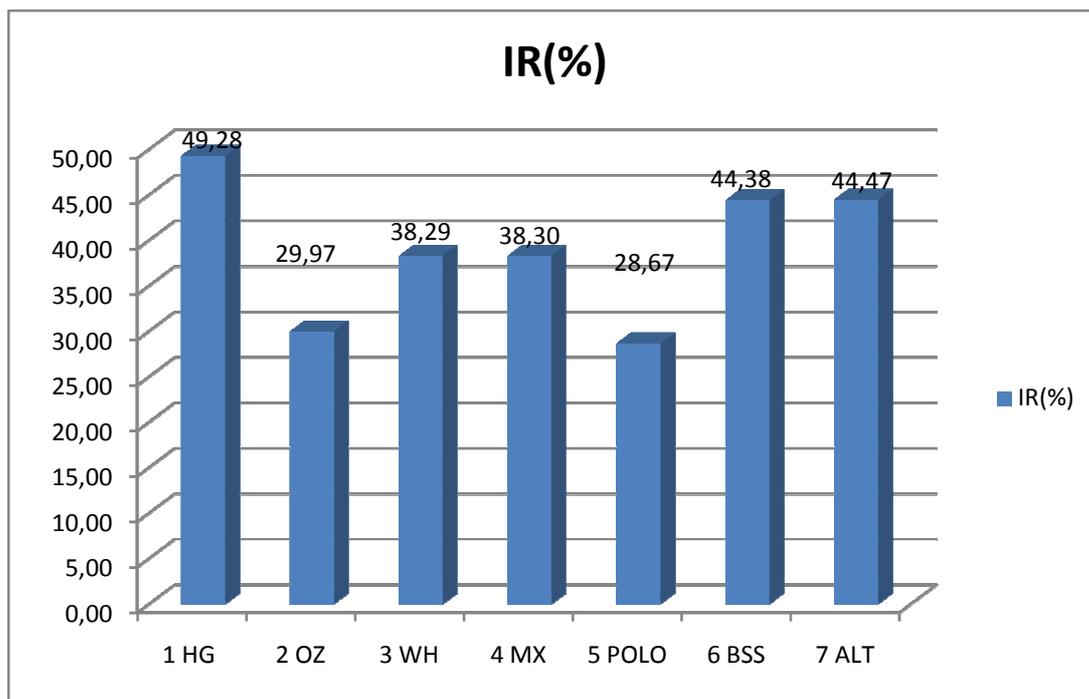


Figure 29 : Histogramme de l'indice de récolte.

II.1.6.Résultats du modèle Aquacrop**II.1.6.1.Simulation du bilan hydrique****II.1.6.1.1.Paramètres de mesures :**

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

Tableau 10.Résultats de la simulation du bilan hydrique

compagne	ETP (mm)	ETR (mm)
2015-2016	137,2	30,76

II.1.6.1.2. Phases de stress hydrique selon la phénologie

Le pourcentage du stress hydrique est calculé par la méthode utilisé par Doorenbos et Kassam (1979).

$$\text{Stress hydrique} = 1 - (\text{ETA} / \text{ETP})$$

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

Tableau 11 : Pourcentage du stress hydrique selon les stades de la campagne 2015-2016

	Jour	ETP	ETR	Stress hydrique
Ouedzenati				
Semi-Levée	28	53,3	15,5	0,46
Levée -Epiaison	139	186,2	56	0,55
Epiaison-maturité	28	156,4	1,05	0,96
Bousselem				
Semi-Levée	27	52,6	14,05	0,10
Levée -Epiaison	130	186,9	57,57	0,47
Epiaison-maturité	38	204,6	3,45	0,47
Altar				
Semi-Levée	29	54,5	26,10	0,45
Levée -Epiaison	130	185	55	0,57
Epiaison-maturité	36	198,3	15,30	0,91
Mexicali				
Semi-Levée	27	52,6	63,20	0,48
Levée -Epiaison	135	208,9	59	0,56
Epiaison-maturité	33	180,1	2,95	0,94
Moyenne				
Semi-Levée	27,75	53,25	29,71	0,37
Levée -Epiaison	133,5	191,75	56,89	0,53
Epiaison-maturité	33,75	166,85	5,69	0,82

Les résultats montrent que les valeurs du stress hydrique entre les variétés sont similaires, dont le stress est fort dans les trois stades (Semi-Levée) (Levée – Epiaison) (Epiaison-maturité), durant la campagne (2015-2016).

a- Semis – Levée

La campagne 2015-2016, a été marqué par :
L'évapotranspiration réelle (ETR) pour ce stade est de 29,71 alors que l'évapotranspiration potentielle de la culture (ETP) est de 53,25

mm, (Tableau 11). 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.

b- Levée – Epiaison

La campagne 2015/2016 enregistre un cumule d'ETR et d'ETP de 56,89mm et 191,75mm respectivement, le coefficient de stress pour ce Stade $K_s=0.53$

c- Epiaison – Maturité

Ce dernier stade de développement, qui va de l'épiaison jusqu'à la maturation, a duré 30 jours. Il se caractérise par : une forte ETP et une faible ETR.

Compagne 2015-2016 enregistre un cumule d'ETR et d'ETP de 5,69mm et 166,85mm respectivement, ce stade a été caractérisé par un stress hydrique de 0.82

II.1.7.Simulation des composants du rendement par Aquacrop

Les composants du rendement, issus de la simulation, à savoir : le rendement grain, la biomasse et l'indice de récolte, présentent d'importantes différences.

Rendement grain

Le modèle a surestimé le rendement de compagne :

- **2015/2016 de 21,47% à 79,11**

La variété Oued Zenati a obtenu la valeur la plus élevée (3,33t/ha avec une surestimation de 31,4), le plus faible rendement est obtenu par la variété Altar (1,83t/ha avec une surestimation de 22,27%).

Biomasse

Le modèle a surestimé la biomasse de compagne :

- 2015-2016 : de 96,23% à 97,56%

Les résultats de la simulation montrent que la valeur de la biomasse la plus élevée est de 13,93t/ha (variété Mexicali), avec une surestimation de 96,67% et la valeur la plus faible est de 12,77t/ha (variété Altar) avec une surestimation de 97,56%.

Indice de récolte (IR)

Le modèle a surestimé l'indice de récolte de compagne :

- Campagne 2015-2016 : de 56,38% à 71,28%

C'est la variété Oued Zenati qui a été bien simulée avec une surestimation de 56,38%

Tableau 12 : Comparaison entre valeurs simulées et observées du rendement, biomasse et de l'indice de récolte de la campagne 2015-2016

Compagne de culture 2015 2016									
Génotype	RDT			Bio			IR		
	Observé	Simulé	Pe (± %)	Observé	Simulé	Pe (± %)	Observé	Simulé	Pe (± %)
Oued Zenati	27,51	3,33	31,4	88,33	13,07	96,23	29,97	25,47	56,38
Bousselem	14,22	2,37	79,11	78,28	12,92	96,97	44,38	18,39	70,88
Altar	15,04	1,83	22,27	75,04	12,77	97,56	44,47	14,37	71,28
Mexicali	11,83	2,63	21,47	78,98	13,93	96,67	38,30	18,87	63,62
Mean	17,15	2,54	38,56	80,16	13,17	96,85	39,28	19,27	65 ,54
Min	11,83	1,83	21 ,47	75,04	12,77	96 ,23	29,97	14,37	56,38
Max	27,51	3,33	79 ,11	88,33	13,93	97,56	44,47	25,47	71,28

II.1.8.Evaluation du modèle

Tableau 13 : Valeurs des paramètres utilisés pour l'évaluation du modèle

		Observé	Simulé	AAE	RMSE	d
2015/2016	RDT	17,15	2,54	14,61	15,68	0,38
	Bio	80,16	13,17	66,98	67,16	0,11
	IR	39,28	19,27	20,005	22,24	0,23

Chapitre I: Matériel et méthodes et présentation de la zone d'étude.

I.1. Localisation des sites expérimentaux

L'étude a été conduite à une ferme au village chania, commune de Belimour dans la wilaya de Bordj-Bou-Argeridj en Algérie (**Figure 8**). Les coordonnées géographiques sont respectivement : Latitude : 35,96 et longitude : 4,91 et altitude GPS 1032 mètres.

La zone se caractérise par un **climat méditerranéen chaud avec été sec (Csa)** selon la classification de Köppen-Geiger. Sur l'année, la température moyenne à Bordj-Bou-Argeridj est de **15.8°C** et les précipitations sont en moyenne de **358.6 mm**.



Figure 8 : Localisation de la commune de Bordj Ghedir dans la wilaya de Bordj Bou Argeridj

I.2. Mise en place de l'essai

L'essai a été mis en place au cours de la saison 2015-2016. Il est constitué de sept géotypes de blé dur de divers origines (local et introduit); le but étant de tester le comportement et les performances de ces géotypes sur champ vis-à-vis les variations climatiques enregistrées durant l'expérimentation (effet du stress hydrique surtout) sur le site.

Le matériel végétal est semé en un dispositif de bloc randomisé avec trois répétitions, chaque bloc comporte des micro-parcelles constituées de deux lignes pour chaque variété ensemencées sur une longueur d'1 m et espacées entre elles de 20 cm (interligne). L'espace entre la micro-parcelle est de 40 cm (**Figure 9**).

Le précédent cultural est une jachère non travaillée et le sol du site expérimental est de type argileux.

Les travaux effectués ont consisté en un labour profond 25/30cm avec une pioche et une machette au mois de novembre suivi d'un passage avec la houe pour réduire et affiner plus la couche arable. Un amendement humifère été apporté pour fertiliser le sol mais aucun épandage d'engrais n'a eu lieu.

Le semis a été réalisé le 21/12/2015, et l'essai a été mené en plein champ, donc l'irrigation est de type pluvial. La lutte contre les adventices est faite grâce à un désherbage manuel.

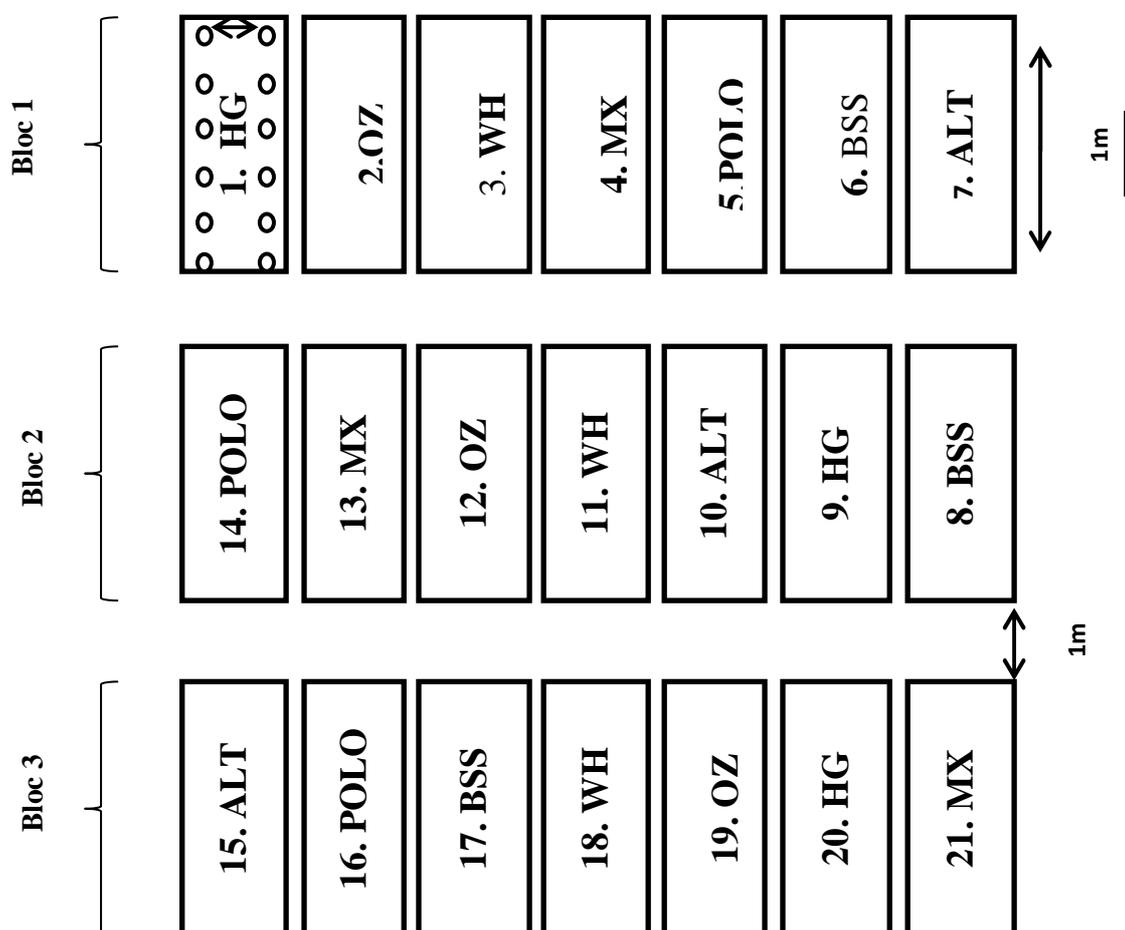


Figure 9 : Schéma du dispositif expérimental de l'essai mis en place au cours de la campagne agricole 2015/2016.

Les données climatiques durant la période de l'expérimentation, sont obtenues à partir de la station météorologique de Bordj Bou Arreridj.

I.3. Matériels végétales

L'expérimentation mise en place au cours de la saison 2015-2016 est constituée de 07 variétés différentes de blés dur, trois issus de sélection CIMMYT/ICARDA et quatre variétés locales. Les principales caractéristiques de ces génotypes sont les suivantes :

Waha : Est une sélection locale faite à l'intérieure du matériel introduit de l'ICARDA. Elle se caractérise par sa précocité, ce qui la rend sensible au gel tardif, très productive avec une stabilité du rendement élevée et tolérance à la sécheresse (**Mziani et al. 1993 ; Nachit, 1994**). C'est une variété qui réussite à échapper aux stress de fin de cycle (**Abassene, 1997**). Elle présente un épi demi-lâche à compact, roussâtre, la paille est courte et demie pleine. Le grain

est moyen, clair ambré à roux. Le PMG est moyen. Le tallage est moyen à fort avec une très bonne productivité. Elle est modérément tolérante aux rouilles, à la fusariose et à la septoriose, sensible au piétin-échaudage. Elle est adaptée aux hauts plateaux et aux plaines intérieures.(**Bouthiba et Debaeke., 2001**).

Mexicali : est une variété CIMMYT, elle est caractérisée par sa précocité et par son grain allongé, qui le rend légèrement sensible à la moucheture et au mitadinage. Elle est très productive avec une stabilité du rendement élevée, adaptée aux Hauts plateaux et zones sahariennes.(**Ait –kaki S., 2008**).

Oued Zenati : est une sélection locale faite à l'intérieure du matériel introduit de l'ITGC (Station de Guelma/1936.). C'est une variété tardive, avec un rendement moyenne. Adapté aux plaines intérieures, son épi est blanc, compact à barbes noirs et longues, sa paille est haute et pleine, le grain est ambré, gros et peu allongé, le PMG est élevé.

C'est une variété tardive dont le tallage est moyen, tolérante à la septoriose sensible aux rouilles brunes et jaunes et à la fusariose.(**Bouthiba et Debaeke., 2001**).

Polonicum : est une sélection locale, elle est caractérisée par sa tardivité de type hiver. Son grain est jaune terne, gros et allongé, avec un rendement moyen. adaptée aux Plaines intérieur et hauts plateaux.(**Ait –kaki S., 2008**).

Hoggar : Est une variété du sud de l'Espagne, sélection (**ITGC de Tiaret/1986**), C'est une variété dont l'épi est demi-lâche et blanc. Le grain moyen est roux, le PMG est élevé. La paille ainsi que le tallage sont moyen. Elle est peu sensible à l'helminthosporiose et moyennement tolérante aux rouilles, tolérantes à la verse. Elle est adaptée aux Hauts Plateaux et les zones Sahariennes.(**Ait –kaki S., 2008**).

Bousselem: Sélectionné localement, à partir de CIMMYT/ICARDA, c'est une variété haute de paille, présentant des épis blancs, barbe noire-grise, demi-lâche, long et robuste et hauteur de la plante moyenne de 90 à100 cm, elle se caractérise par une résistante aux maladies cryptogamiques, mais le traitement des semences aux fongicides est recommandé aussi une résistance au froid, à la verse, à la sécheresse(**Baghem.O.,2012**).

Altar: est une variété CIMMYT mexico 1992 (**Tableau 4**)

Tableau 4: L'origine des variétés

N°	Variété	Origine
1	Oued Zenati	Variété locale ITGC 1936
2	Altar	Variété CIMMYT, mexico 1992
3	Polonicum	Variété Locale
4	Waha	sélection de l'ICARDA (Syrie) ; très bonne productivité ; paille courtelancée en Algérie en 1986
5	Méxicali	Variété CIMMYT lancée en 1975
6	Hoggar	Variété du sud de l'Espagne, sélection (ITGC de Tiaret) seminaire, haute productivité
7	Bousselem	Sélectionné localement, à partir de CIMMYT/ICARDA

I.4.Profil cultural :

I.4.1 Absence de la semelle de labour : Lorsque l'infiltration des racines des mauvaises herbes est profonde, cela signifie l'absence d'une semelle de labour(**Figure10**).



Figure 10 : Infiltration des racines.

I.4.2 Présence du calcaire : Nous devrions ajoutés de l'acide chlorhydrique au sol pour voir si le sol contient du calcaire, il y aura le phénomène d'effervescence. Une effervescence intense signifie l'existence d'un pourcentage élevé en calcaire(**Figure11**).



Figure 11 : Effervescence du calcaire.

I.4.3 Plasticité : le test est basé sur le principe de mélanger une petite quantité du sol entre les doigts de la main (pétrissage par l'eau), durant cette opération le sol a claqué (dégagé un son) donc le sol contient de l'argile(**Figure12**).



Figure12: Test de plasticité (Originale).

I.4.4 Test d'élasticité : Le principe du test est d'enrouler le sol mouillé entre les deux mains et formé avec in cylindre en suit un croisant. La figure ci-dessous nous montre la présence d'un taux assez élevé en argile(**Figure13**).



Figure 13 : Appréciation du taux d'argile (test d'élasticité).

I.4.5 Absence de la croûte de battance : d'après la figure ci-dessous, le sol ne présente pas une croûte de battance(**Figure14**).



Figure 14 : la Croûte de battance.

I.5. Mesures et analyses effectuées

I.5.1. Analyses morphologiques

I.5.1.1. Hauteur du plant: La moyenne arithmétique de 3 mesures prises de chaque micro parcelle (au milieu) a servi à apprécier l'hauteur moyenne du plant de blé barbe incluse

I.5.2. Analyses agronomiques

I.5.2.1. Levée et l'épiaison : Les dates de la levée sont notées pour chaque génotype, à l'apparition de 50% des plants levés ou épiés.

I.5.2.2. Nombre d'épi /m² : on a compté le nombre d'épis par 50 cm linier et à l'aide de la règle de trois on le ramène en m².

I.5.2.3. Nombre de grain par épi : après la récolte on ramène les épis au labo puis en fait un battage manuel d'épi pour récupérer les grains contenues dans chaque épi puis on les compte.

I.5.2.4. Nombre de grain par m² : est estimé par la multiplication du nombre de grains par épi sur le nombre d'épis par m²

I.5.2.5. Poids de mille grains (PMG) : est estimé par la détermination du poids moyen de 250 graines de chaque génotype, en suite on le convertie pour trouve le poids de mille graines en utilisant la règle de trois.

I.5.2.6. Rendements en grains (quintaux par hectare) : est estimé par la relation suivantes :

$$\text{RDT} = \text{NE} \times \text{NG} \times \text{PMG} / 1000.$$

I.5.2.7. Poids de la biomasse

A partir d'un bottillon de végétation récolté d'un rang de 1m par parcelle élémentaire, le poids de la biomasse aérienne accumulée à maturité est déterminé.

I.5.2.8. Indice de récolte

Il est déduit par le rapport du rendement en grain sur le poids de la biomasse aérienne accumulée à maturité :

La formule suivante résume ça

$$HI\% = 100 \times (RDT/BIO)$$

I 5.3. Analyses physiologiques

I.5.3.1. Température du couvert végétal : à l'aide d'un thermomètre infrarouges laser (**tecpel513**) on a mesuré la température de chaque variété en vison la feuille drapeaux, l'unité est en C°(**Figure15**).



Figure15 : thermomètre infrarouge laser

I.5.3.2. Teneur en Chlorophylle (TC) : à l'aide d'un chlorophylle Mètre (**SPAD-502**) on a mesuré la teneur en chlorophylle au stade d'épiaison, sur les feuilles drapeaux (au milieu de la feuille). L'unité est en SPAD(**Figure16**).



Figure16 : chlorophylles mètre.

I.5.3.4. Dosage de la proline

La technique de dosage de la proline utilisée est celle de Troll et Lindsley (1955) simplifiée est mise au point par Dreir et Goring cité par Monneveux et Nemmar (1986).

100 mg de matière végétale fraîche, prélevée sur la dernière feuille à l'épiaison, sont pesée juste après le prélèvement, 2 ml de méthanol à 40% sont ajoutés à l'échantillon et l'ensemble est porté à 85°C dans un bain – marie pendant 1 heure. Après refroidissement, 1 ml est prélevé auquel est ajouté 1 ml d'acide acétique (CH₃ COOH), 25 ml de ninhydrine (H₉ H₆ O₄) et 1 ml de mélange (120 ml d'eau distillée + 300 ml d'acide acétique + 80 ml d'acide orthophosphorique de densité 1.7), le tout est mis à bouillir durant 30 min au bain – marie, la solution vire au rouge, après refroidissement, 5 ml de toluène sont rajoutés à la solution qui est agitée, deux phases se séparent (une phase supérieure à la couleur rouge contient la proline et une phase inférieure transparente sans proline). Après l'agitation on mesure la phase coloré est effectuée à laide d'un spectrophotomètre à 528 nm.

$$\text{Concentration en proline } (\mu\text{g/ g MF}) = X. 2.1000/ (\text{MF} .115.13)$$

MF : Masse de matière fraîche(g)

Masse molaire de proline pure = 115.13

X : quantité de proline de chaque échantillon

$$y = 5,3155x - 0,0139$$

I.5.4. Analyses statistique :

Réalisée par les logiciels suivants :

I .5.4.1. Costate : a été utilisés pour les analyses de variance et la comparaison de moyennes. Costat Version 6.4 (1998-2008) est un programme facile à utiliser pour la manipulation des données et l'analyse statistique (ANOVA)

I.5.4.2. Statistica : a été utilisé pour la création de table de matrice et voir les corrélations entre les paramètres mesurés version 8.0 (2007)

I.5.4.3. Excel : pour la rédaction des tableaux et créations de diagrammes, courbes
Version 2013

I.5.5 L'analyse des données

I.5.5.1 Logiciel AQUA CROP

AquaCrop est un modèle informatique mis au point par la Division des terres et des eaux de l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). La FAO a élaboré AquaCrop dans un effort pour augmenter l'efficacité d'utilisation de l'eau dans la production alimentaire (Araya *et al.*, 2010).

AquaCrop est axé sur la simulation de la biomasse et du rendement avec de l'eau disponible pour la culture (Steduto *et al.*, 2009).

Les fonctions d'AquaCrop comprennent la comparaison entre les rendements possibles et réels, le développement de programmes d'irrigation, des simulations de séquençage des cultures, des scénarios climatiques futurs, et l'interaction des basses eaux et de la fertilité sur les rendements, entre autres (FAO, 2011).

Dans AquaCrop, la transpiration est calculée, et avec l'utilisation de paramètres propres à chaque culture, la biomasse est calculée (Steduto *et al.*, 2009). Le modèle peut être utilisé pour générer des prévisions de rendement et d'améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau des cultures en interaction avec les changements climatiques projetés (Araya *et al.*, 2010).

I.6. Calibration et validation du modèle

Nous avons utilisé principalement la « validation répliquative » qui se base sur une comparaison entre les simulations du modèle et les données expérimentales utilisées pour la calibration (Delécolle *et al.*, 1996). Elle ne permet en aucun cas de caractériser la qualité prédictive du modèle, lorsqu'on utilise le modèle pour des conditions de milieu différentes de celles de la calibration.

Evaluation du modèle AquaCrop :

La période de simulation débute le 21 décembre 2015 et se termine selon le cycle de la variété.

La calibration a porté sur les variables d'entrée relatives au sol et culture.

Pour chacun des paramètres, la valeur retenue est celle qui minimise l'erreur commise.

Les paramètres et réglages retenus de la calibration sont donnés dans le tableau suivant.

Tableau 5 : Paramètres utilisés dans AquaCrop

Paramètres	Valeur
Culture	
Développement	
type de plantation	Semis direct
La densité des jeunes plants	5 cm ² /plants
Densité des plants	200 plants/m ²
La couverture initiale de la canopée	10%
Profondeur d'enracinement maximale	1m
Couverture maximale de la canopée	90%
Declin de la canopée	Very slow decline
Productivité d'eau	13g/m ²
Indice de récolte de référence	45%
Temperature	
Basse temperature	10
Température supérieure	30
Stress hydrique et sols	
Expansion de canopée	Modérément tolérant au stress hydrique
Fermeture des stomates	Modérément tolérant au stress hydrique
Senescence précoce	Modérément tolérant au stress hydrique
Stress d'aération	Modérément tolérant à l'exploitation de l'eau
Soil salinity stress	non considéré
Biomass production affected by soil fertility stress	non considéré

ETo calculator, version 3.2 de la FAO a été utilisé pour calculer l'évapotranspiration de référence avec l'équation de la FAO (Penman-Monteith équation), ETo Calculator, crée les fichiers de l'évapotranspiration (ETo), la température et le CO₂, qui sont utilisés par AquaCrop pour les modélisations. Les données météorologiques utilisées sont :

Les températures journalières maximales et minimales (°C), humidité relative de l'air (%), vitesse du vent (m/s), et la durée de l'insolation (h/jour)

1.6.1. Evaluation du modèle

La performance du modèle a été évaluée par l'utilisation des paramètres statistiques suivants:

AAE (Average Absolute error) erreur absolue moyenne entre données simulées et observées, se calcule par l'équation :

$$AAE = \frac{\sum_{i=1}^n |O_i - S_i|}{N}$$

RMSE (root mean square error) la racine de l'erreur quadratique moyenne.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{N}}$$

L'RMSE est l'un des indicateurs statistiques les plus couramment utilisés (*Jacovides et Kontoyiannis, 1995*), elle mesure l'amplitude moyenne de la différence entre les prédictions et les observations. Elle varie de 0 à l'infini, positif,

d (Willmott's index of agreement)

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|S_i - MO| + |O_i - MO|)^2}$$

L'indice d'agrément (*d*) développé par Willmott cherche à améliorer la sensibilité et l'efficacité des corrélations entre les prédictions (*P*) et les observations (*O*) pour la validation du modèle. L'indice d'agrément varie entre 0 (mauvais) et 1 (parfait) et s'interprète comme le coefficient de détermination, R^2 . Cet indice est représenté par le ratio entre le Mean Square Error (*MSE*) et le Potential Error (*PE*). *PE* est la somme des différences au carré entre les observations et les prédictions et représente la plus grande valeur qui peut être obtenue pour chaque paire modèle-observation. L'indice d'agrément est très sensible aux valeurs extrêmes et permet ainsi d'évaluer les prédictions en fonction des écarts importants et non uniquement de la moyenne.

Ou :

S_i et O_i sont les valeurs simulées et observées (mesurées), qui sont prises à la fin de la saison, N est le nombre d'observation, \bar{O}_i et \bar{S}_i sont les moyennes des valeurs de O_i et S_i .

r (Coefficient de corrélation)

Le coefficient de corrélation est un indicateur du degré de proximité entre les valeurs observées et les valeurs estimées du modèle. Les valeurs observées et simulées sont mieux corrélées si le coefficient de corrélation se rapproche à 1. Si les valeurs observées et prédites sont soit complètement indépendantes elles ne sont pas corrélées alors sera nul (*Mutreja., 1992*). Le coefficient de corrélation a été estimé par l'équation suivante:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(S_i - \bar{S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}}$$

II.2 Discussion

II.2.1 Paramètres morphologiques

II.2.1.1. La hauteur :

Hanson *et al.* (1985) font remarquer que l'augmentation de la biomasse aérienne au stade épiaison peut venir d'une haute paille, comme c'est le cas des variétés anciennes. La hauteur associée à une meilleure répartition de la matière sèche produite conduit le plus souvent à l'amélioration du nombre de grains produits/m² et du rendement.

Dans notre étude, la relation entre la hauteur et le rendement est significativement positive ($r = 0,83$) (**Figure 30**), elle est positivement corrélée avec le nombre de grain /m² ($r = 0,90$) et le nombre d'épis / m² ($r = 0,98$)

Maamri (2010) trouve que la hauteur n'est pas significativement corrélée au rendement mais la relation entre eux est de type négatif ($r = -0,18$) alors qu'elle est positivement corrélée avec le PMG ($r = 0,88$), la précocité ($r = 0,71$) et elle est corrélée négativement au nombre de grains /m² ($r = -0,89$).

Moumni(2013) montre que la hauteur corrélée au rendement positivement ($r = 0,11$) aussi avec le PMG ($r = 0,50$), la surface foliaire ($r = 0,22$) et elle est corrélée négativement au nombre de grains /m² ($r = -0,25$) et à l'indice de récolte ($r = -0,66$).

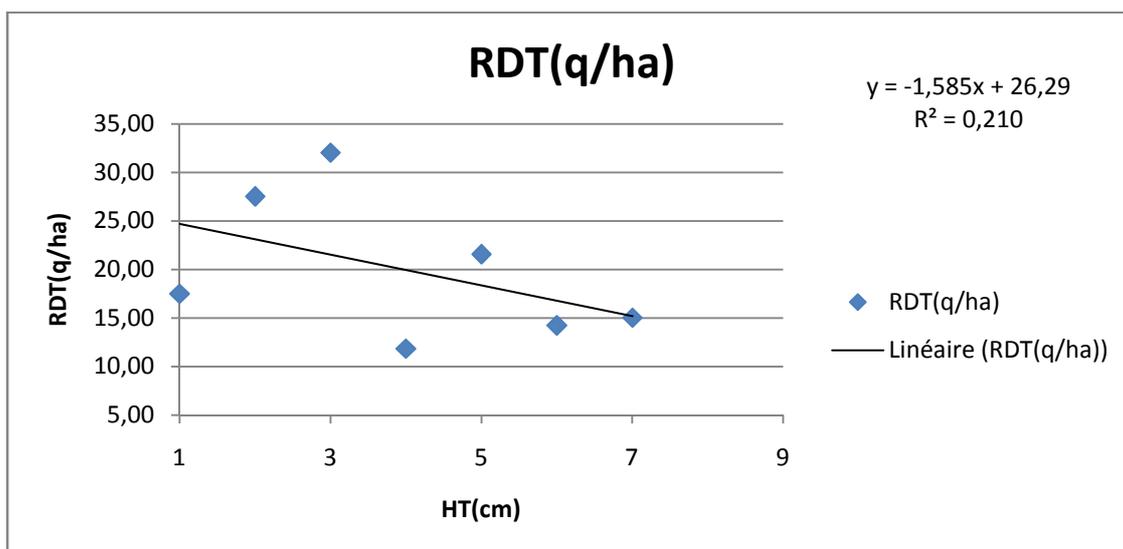


Figure 30: Relation entre le rendement et hauteur.

II.2.2 Paramètres agronomiques:

II.2.2.1 Fertilité

L'itinéraire de formation du rendement suit une cinétique qui débute par la formation des épis, suivi des sites des grains par épi. Il se termine par le remplissage des grains. Les stress précoces affectent la formation des épis et les sites des grains par épi. Alors que les stress les plus tardifs affectent beaucoup plus le poids individuel de grain et le nombre de grains formés par unité de surface ensemencée (**Fischer, 1985**).

L'effet de compensation entre composante du rendement rend souvent l'effet des stress moins visible, ainsi une forte réduction des épis produits par m² et compensée par une augmentation de la fertilité des épis voire par celle du poids du grain, de même une réduction des grains produits par m² est compensée par une augmentation du poids individuel du grain (**Wardlaw, 2002 ; Bahlouli et al., 2005**).

Le rendement en grains intègre deux composantes majeures, le nombre de grains /m² et le poids moyen du grain (**Slafer et Rawson, 1994**). Dans notre essai, on constate que le rendement est corrélé avec le nombre de grains /m² ($r = 0,838$) et avec le nombre d'épi /m² mais il n'est pas corrélé avec le nombre de graine/épi

III.2.2.1.1 Nombre d'épi 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 par (**Moumni, 2013**) entre le rendement grain et le N/épi par m² ($r = 0,07$), alors que dans notre essai, association cette on a enregistrée une corrélation positive ($r = 0,822$) (**Figure 31**).

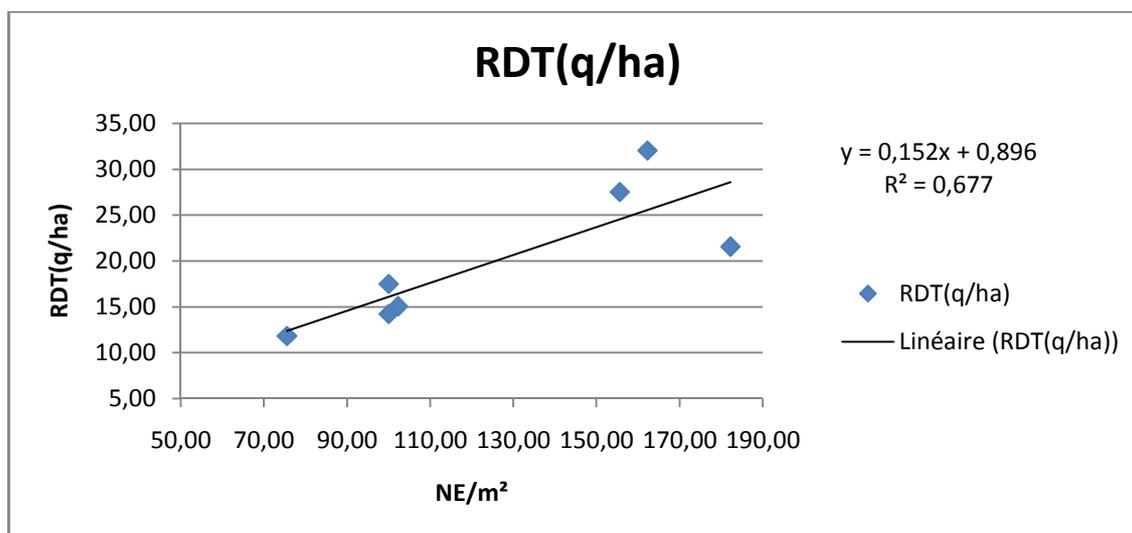


Figure 31 : Relation entre le rendement et le nombre d'épi par m².

III.2.2.1.2 Nombre des grains par m²

Dans notre essai, le nombre des grains par m² a enregistré une corrélation positive avec le rendement ($r = 0,838$), mais Maamri (2010) et Moumni (2013) trouvent une faible association entre le rendement grain et le nombre d'épis par m² ($r = 0.17$) ($r=0.07$) respectivement.

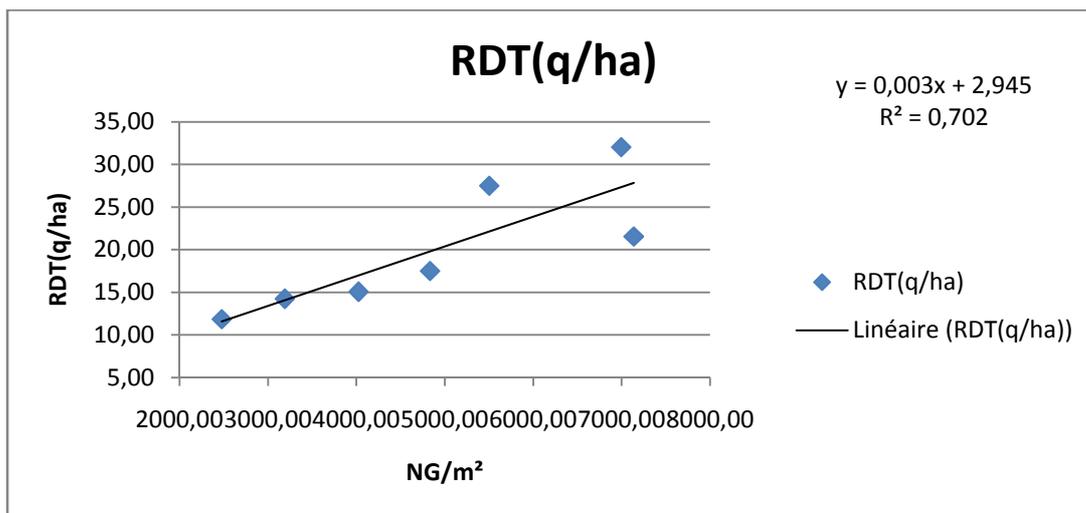


Figure 32 : Relation entre le rendement et le nombre des grains par m².

III.2.2.2 Indice de récolte

Le rendement grain peut être exprimé comme étant le résultat de trois processus physiologiques : les radiations interceptées par les organes photosynthétiques, la conversion des radiations interceptées en matière sèche et la répartition de cette matière sèche sous forme d'un indice de récolte (Harvest Index) (*Hay and Walker., 1989*). Le premier processus est lié à la surface photosynthétique et par conséquent à l'indice foliaire ; le second est lié à l'efficacité photosynthétique. La biomasse totale est le résultat de ces deux processus. L'indice cultural est le ratio entre le rendement grain et la biomasse aérienne (*Donalds et al., 1976*), son amélioration peut être atteinte à travers une amélioration du poids du grain et/ou du nombre de grains/épi (*Passioura.,1977*).

Dans notre essai on trouve que l'indice de récolte est négativement corrélé avec la date d'épiaison ($r = -0,928$) (**Figure 33**).

L'essai de Maàmri (2010) indique que l'indice de récolte n'est pas corrélé ni au rendement grain ($r = 0.43$), ni à la biomasse aérienne ($r = -0,59$), alors qu'il est négativement

corrélé à la hauteur ($r = -0,79$), à la surface foliaire ($r = -0,73$) et à la précocité ($r = -0,76$) pour tout le lot de variétés expérimentées. **Moumni (2013)** a trouvé l'indice de récolte corrélée négativement à la hauteur ($r = -0,66$) et à la surface foliaire ($r = -0,04$).

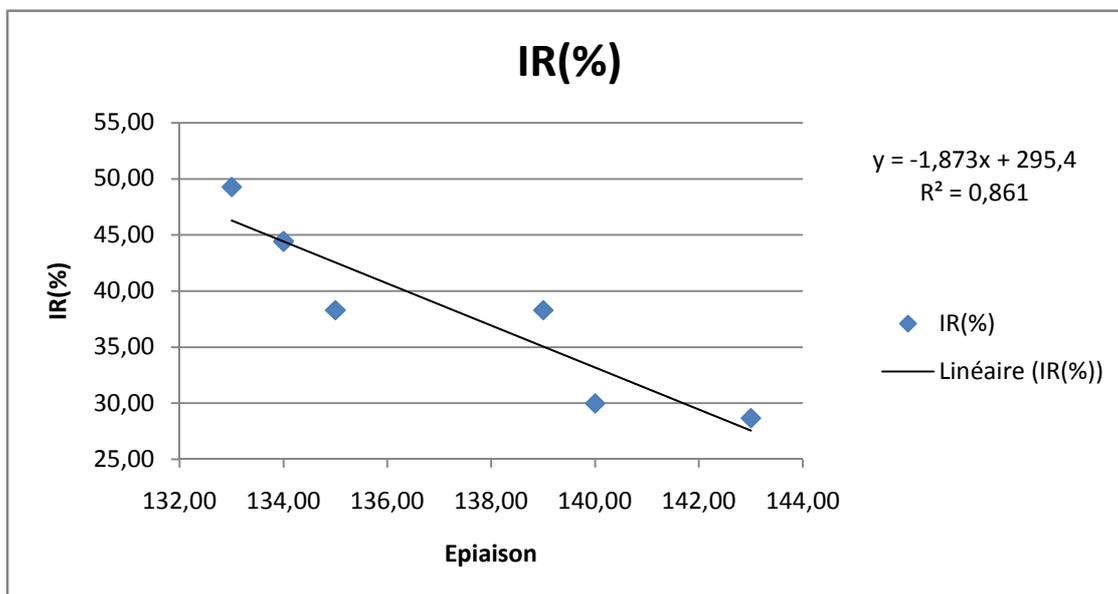


Figure 33 : Relation entre l'indice de récolte et l'épiaison .

III.2.3 Paramètres physiologiques

III.2.3.1 la teneur en chlorophylle

L'augmentation des teneurs en chlorophylle totale est la conséquence de la réduction de la taille des cellules foliaires sous l'effet d'un stress hydrique qui engendre une plus grande concentration (**Siakhène., 1984**). Par contre, la chute des teneurs en chlorophylle est la conséquence de la réduction de l'ouverture des stomates visant à limiter les pertes en eau par évapotranspiration et par augmentation de la résistance à l'entrée du CO₂ atmosphérique nécessaire à la photosynthèse (**Bousba et al., 2009**). La quantité de la chlorophylle des feuilles peut être influencée par beaucoup de facteurs tels que l'âge des feuilles, la position des feuilles, et les facteurs environnementaux tels que la lumière, la température et la disponibilité en eau (**Hikosaka et al., 2006**).

Dans notre cas, la teneur en chlorophylle a une corrélation positive avec le poids de mille grains PMG ($r = 0,827$) (**Figure 34**).

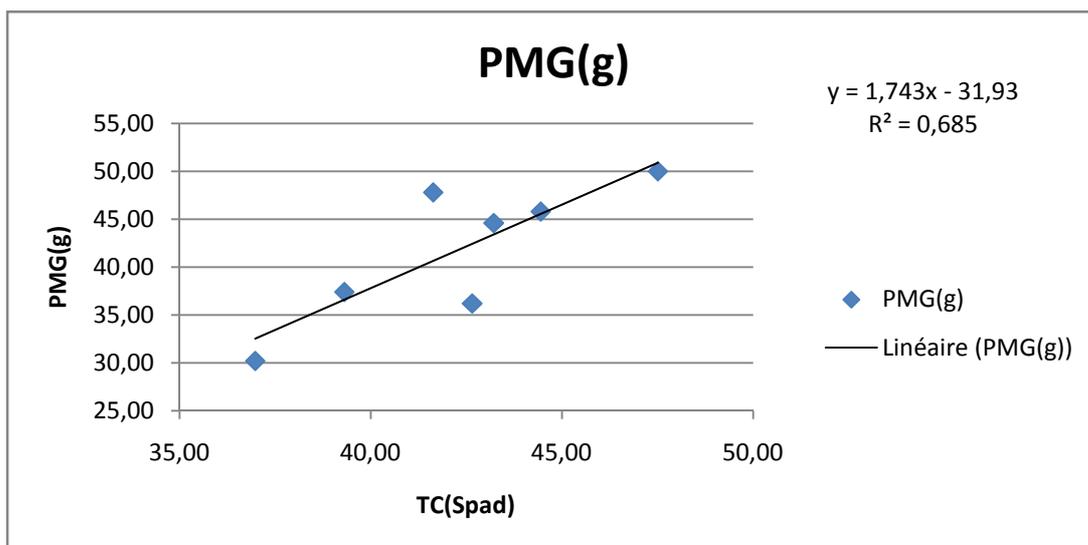


Figure 34 : Relation entre la teneur en chlorophylle et le poids de mille grains.

II.2.4 Stress hydrique

Le stress hydrique est l'un parmi plusieurs stress qui influent sur la production agricole mondiale (Boyer, 1982).

La figure 35, montrent le changement journalier de la pluviométrie et du stress hydrique durant tout le cycle de la culture. La pluviométrie a une influence claire sur le changement du niveau du stress hydrique. La baisse de la pluviométrie fait augmenter le stress hydrique.

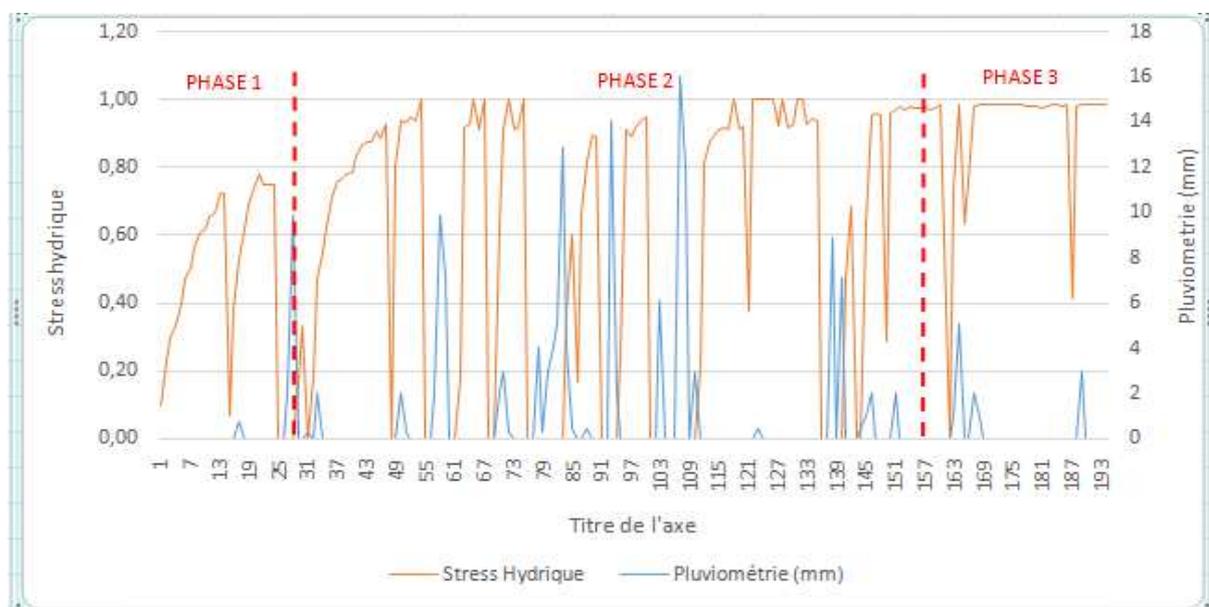


Figure 35 : Changement journalier de la pluviométrie et du stress hydrique durant la campagne 2015/2016

Dans cette campagne Le stress hydrique, est observé sur tout le cycle et beaucoup plus aux stades épiaison- levée

II.2.4.1.L'effet du stress hydrique sur les paramètres du rendement

Le stress hydrique est l'un parmi les paramètres les plus importants qui déterminent le rendement dans les régions méditerranéennes (**Bennet et al., 1998**).

Les 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 (**Debake et al., 1996**).

Pour notre étude, on n'a pas trouvé une corrélation significative entre le stress hydrique et le rendement, ni entre le stress hydrique et la biomasse aérienne.

Par contre, lorsque la sécheresse survient au stade levé-épiaison, il y a eu une corrélation significative et négative entre le stress hydrique et la biomasse aérienne. Nos résultats sont en accord avec les résultats de Moumni (2013)

II.2.5.Simulation des composants du rendement par Aquacrop

L'utilisation des modèles de simulation, peut prédire le rendement en fonction des conditions climatiques et édaphiques (Heinmann *et al.*,2002).

Les prédictions du modèle ont été différentes, selon la campagne.

II.2.5.1.Rendement grain

Les résultats de la simulation pour la campagne 2015/2016 sont présentés dans le tableau13.

A l'égard de rendement, l'indice de corrélation montre que les valeurs simulées et les valeurs observées sont corrélées positivement($r =$). L'indice d'agrément est 0,38.

Les paramètres AAE et RMSE sont de 14,61t/ha et 15,68t/ha indiquant la différence entre les valeurs du rendement simulés et observés et que le modèle a sous estimé le rendement.

Moumni (2013) trouve que Les résultats simulés de la campagne 2012-2013 ne sont pas corrélés avec les résultats observés. Et L'indice d'agrément est 0.34 il montre que le model n'a pas très bien simuler le rendement.

Les paramètres AAE et RMSE sont de 1,57t/ha et 1.85t/ha (2012-2013) indiquant la différence entre les valeurs du rendement simulés et observés et que le modèle a surestimé le rendement de 23,99%.

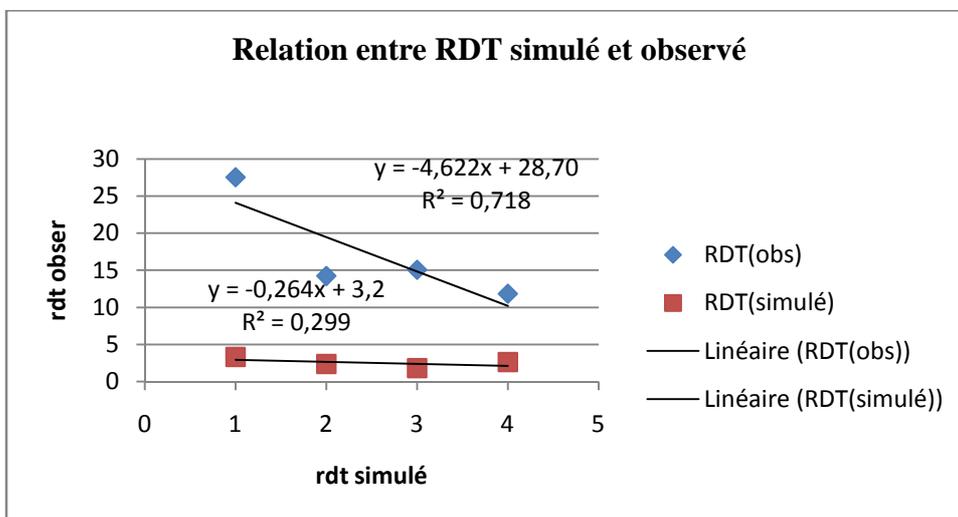


Figure36. Relation entre rendement simulé et observé de la compagne.

II.2.5.2.Biomasse aérienne

Une corrélation négative a été constatée entre les valeurs simulées et observées ($r =$)

L'indice d'agrément est 0,11, qui indiquent que le modelé a réalisé une simulation acceptable de la biomasse aérienne. Les paramètres AAE et RMSE sont de 66,98t/ha et 67,16, donc il y a une différence entre les valeurs simulées et les valeurs observées, Avec une sur estimation de la biomasse. Moumni en 2013 indique qui il y a une corrélation positive entre la biomasse simulée et observée, $r=0.74$, $p<0.30$ (2012-2013). L'indice d'agrément est 0.42 (2012-2013), il montre que le model n'a pas très bien simuler la biomasse aérienne, cela est due à des problèmes de calibration. Les paramètres AAE et RMSE sont de 1.61t/ha et 2.42t/ha (2012-2013), indiquant la différence entre les valeurs du rendement simulés et observés et que le modèle a surestimé la biomasse aérienne de 7.68%. μ

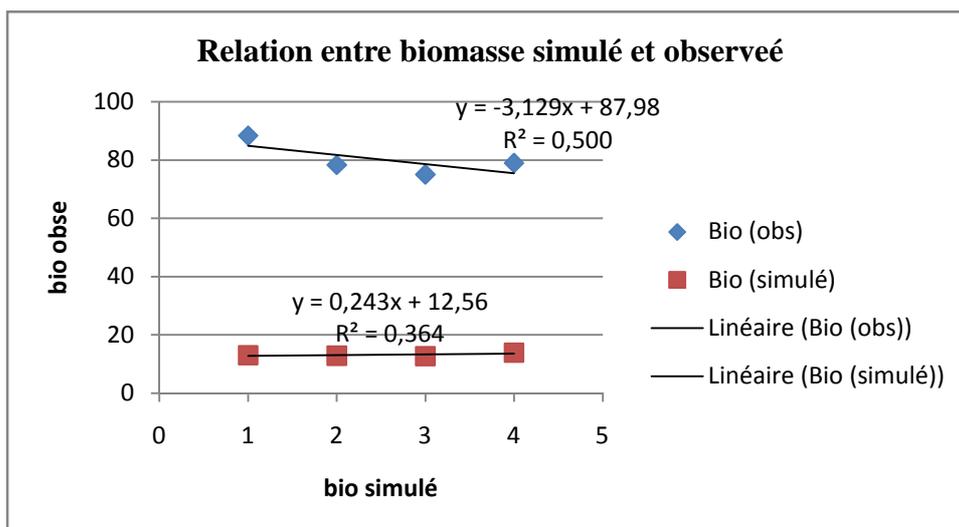


Figure 37: Relation entre la biomasse simulée et la biomasse observée.

II.2.5.3. Indice de récolte :

Une corrélation négative a été constatée entre les valeurs simulées et observées ($r =$)

L'indice d'agrément est 0,23, qui indiquent que le modelé a réalisé une simulation acceptable de L'indice de récolte.

Les paramètres AAE et RMSE sont de 20,005 t/ha et 22,24t/ha, donc il y a une différence entre les valeurs simulées et les valeurs observées, Avec une sur estimation de L'indice de récolte.

Il y a une corrélation significativement positive de l'IR observé avec L'IR simulé, $r = 0.95$, $p < 0.05$ (2012-2013).

L'indice d'agrément est 0.60 (2012-2013), il montre que le model a très bien simuler l'indice de récolte.

Les paramètres AAE et RMSE sont de 7.94t/ha 8.85t/ha (2012-2013), indiquant la différence entre les valeurs du rendement simulés et observés et que le modèle a surestimé la biomasse aérienne de 16.76%.

Moumni II y a une corrélation significativement positive de l'IR observé avec L'IR simulé, $r = 0.95$, $p < 0.05$ (2012-2013).

L'indice d'agrément est 0.60 (2012-2013), il montre que le model a très bien simuler l'indice de récolte.

Les paramètres AAE et RMSE sont de 7.94t/ha 8.85t/ha (2012-2013), indiquant la différence entre les valeurs du rendement simulés et observés et que le modèle a surestimé la biomasse aérienne de 16.76%.

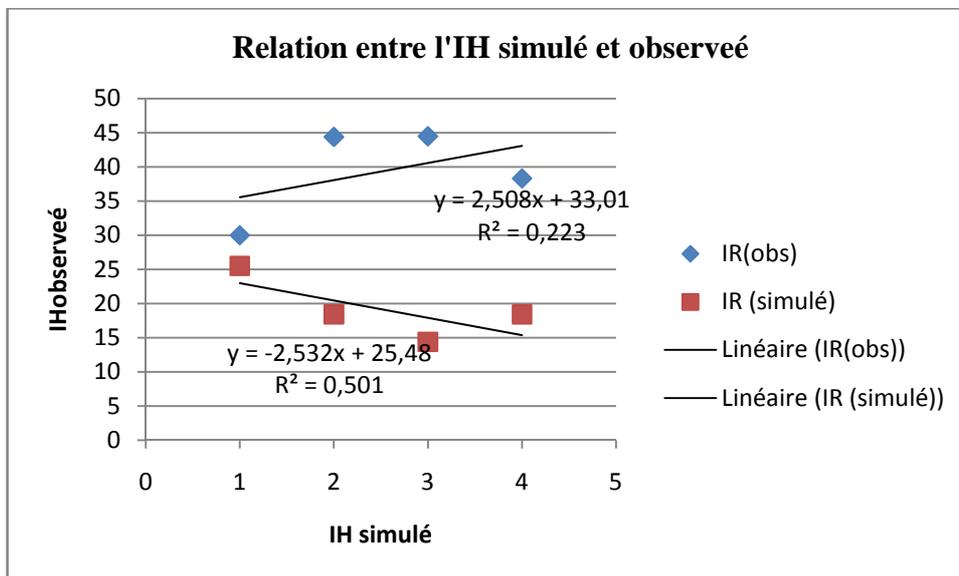


Figure 38: la relation entre l'indice de récolte simulé et observé.

La Liste des Références

- Abbassenne, F., Bouzerzour, H., & Hachemi, L. (1997).** Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride. *Ann. Agron. INA*, El Harrach, 18 :24-36.
- Acevedo, E., Silva, P., & Silva, H. (2002).** Wheat growth and physiology, *In: Curtis, B. C., Rajaram, S., and Macpherson, G. H., Bread wheat. Improvement and Production, Eds. Food and Agriculture Organization, Rome, 30: 34 - 70.*
- Annerose, D. J. M. (1990).** Recherches sur les mécanismes physiologiques d'adaptation à la sécheresse. Application au cas de l'arachide (*Arachis hypogea L.*) cultivée au Sénégal. Thèse de doctorat es Sciences Naturelles, Université Paris VII, 282p.
- Ali Dib, T. (1992).** Contribution à l'étude de la tolérance à la sécheresse de blé dur. Etude de la diversité de caractères physiologiques d'adaptation. Thèse de doctorat, Montpellier, 196p.
- Bagga, A. K., Ruwal, K. N., & Asana, R. D. (1970).** Comparison of some Indian and semi-dwarf Mexican wheat to unirrigated cultivation. *Indian J. agric. Sci.* 40: 421- 427.
- Bahlouli, F., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., & Hassous, A. (2006).** Etude des liaisons entre le rendement, la durée de vie de la feuille étendard, la vitesse de remplissage et la remobilisation des assimilats de la tige du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous climat méditerranéen. *Annales INA*, 27: 15-36.
- Bahlouli, F., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., & Hassous, K. L. (2005).** Selection of high yielding of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under semi arid conditions. *Journal of Agronomy*, 4(4): 360-365.
- Baldy, C. (1984).** Utilisation efficace de l'eau par la végétation en climats méditerranéens. *Bull. Soc. Bot. Fr* 131 (2, 3, 4) (*Actual. Botan.*) 491-499.
- Bassu, S., Asseng, S., Motzo, R., Giunta, F., 2009.** Optimising sowing date of durum wheat in a variable Mediterranean environment. *Field Crops Research* 111, 109-118.
- Barbottin, A., 2004.** Utilisation d'un modèle de culture pour évaluer le comportement des génotypes : pertinence de l'utilisation d'Azodyn pour analyser la variabilité du rendement et de la teneur en protéines du blé tendre. Thèse de doctorat Institut National agronomique Paris-Grignon. 164 pages
- Belaid, D. (2000).** The economics of durum wheat production in WANA: Past trends and future prospects. *In: Proceedings of the symposium blé 2000, enjeux et stratégies*, 49-70.
- Belkharouch, H., Fellah, S., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., & Schellal, N. (2009).** Viguer de croissance, translocation et rendement En grains du blé dur (*Triticum durum* Desf.) Sous conditions semi arides. *Courrier du Savoir*, (09):17-24.
- 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.
- Benbelkacem, A., & Kellou, K. (2001).** Évaluation du progrès génétique chez quelques variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L. var. durum) cultivées en Algérie. *Options méditerranéennes*, 6: 105-10.
- Benmahammed, A. (2005).** Hétérosis, transgressions et efficacité de la sélection précoce et retardée de la biomasse, du nombre d'épis et utilisation des indices chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.). Thèse de Doctorat d'Etat en Biologie végétale, option, Génétique et Amélioration des plantes. Université de Constantine. 125p.
- Benmahammed, A., Bouzerzour, H., Mekhlouf, A., & Benbelkacem, A. (2008).** Variation de la

teneur relative en eau, l'intégrité cellulaire, la biomasse et l'efficacité d'utilisation de l'eau des variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L. var *durum*) conduites sous contraintes hydrique. *Recherche Agronomique, INRA*, 21: 37-47.

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/UREF), Orsay. *Sécheresse*, 2 : 75- 83.

Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Benkharbache, N., & Hassous, K. L. (2002). Contribution de la sélection à l'amélioration et à la stabilité des rendements de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) dans l'étage bioclimatique semi-aride, *Revue Recherche Agronomique de l'INRA*, 10 : 45-58.

Bonhomme R, Drouet JL, Améglio T. ; (1995), Introduction à la modélisation du fonctionnement physiologique d'un couvert. In : Actes de l'école chercheurs INRA en bioclimatologie- Le Croisic 3-7 avril 1995 1 De la plante au couvert végétal, 647-667 Boote KJ, Jones JW, Pickering NB .;(1996) Potential uses and limitations of crop models. *Agronomy Journal* 88, 704-716p

Boote KJ, Jones JW, Pickering NB .;(1996) Potential uses and limitations of crop models. *Agronomy Journal* 88, 704-716p

Bolte et al ., 2006

Brink, M., & Belay, G. (2006). Ressources végétales de l'Afrique tropicale 1. Céréales et légumineuses. Fondation PROTA, Wageningen, Pays-Bas/Backhys Publishers, Leiden, Pays/Bas/CTA, Wageningen, Pays-Bas, 328pp.

Brisson, N., Juin, S., Desfonds V, García de Cortázar Atauri I., Lebonvallet S., Ripoche D., Sappe G., Bes B., Bruchou C., Guerif M., Durr C., Launay M., 2005 Quelles composantes environnementale et génétique pour l'élaboration de la qualité du blé dur en région PACA? Approche couplée expérimentation – modélisation. Bilan d'un programme de recherche 2001-2005 1, 57 pages.

Brisson, N., Wery, J., Boote, K., 2006. Fundamental concepts of crop models illustrated by a comparative approach. In: Wallach, D., Makowski, D., and Jones, J.W. (Eds.), *Working with dynamic crop models*. Elsevier, Amsterdam, pp 257-280.

Brisson N, King D, Nicoullaud B, Ruget F, Ripoche D, Darthout R.; (1992) ,A crop model for land suitability evaluation: a case study of the maize crop in France. *European Journal of Agronomy* 1, 163-175p

Brisson, N., Gary, C., Justes, E., Roche, R., Mary, B., Ripoche, D., Zimmer, D., Sierra, J., Bertuzzi, P., Burger, P., Bussiere, F., Cabidoche, Y.M., Cellier, P., Debaeke, P., Gaudillere, J.P., Henault, C., Maraux, F., Seguin, B., Sinoquet, H., 2003. An overview of the crop model. *European Journal of Agronomy* 18, 309-332. J.R., Rayner, J.H., 1984. A winter-wheat crop simulation-model without water or nutrient

Brisson, N., Launay, M., Mary, B., Beaudoin, N., 2008, Conceptual basis, formalisations and parameterization of the STICS crop model, first ed. Quae, Versailles. 297 pages

Bruckler, L, Lafolie, F, Ruy, S, Granier, J, Beaudequin, D. ; (2000), Modelling the agricultural and environmental consequences of non-uniform irrigation on a maize crop. 1. Water balance and yield. *Agronomie* 20, 609-624p.

C. Baron, 2013. In Moumni

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

- Canterro-Martinez, C., Villar, J. M., Romagosa, I., & Fereres, E. (1995).** Growth and yield responses of two contrasting barley cultivars in a Mediterranean environment. *Eur. J. Agron.*, 4: 317-323.
- Cooper, P. J. M., Keating, J. D. H., & Hughes, G. (1983).** Crop evapotranspiration - technique for calculation of its components by field measurements. *Field Crops Res*, 7: 299-312.
- Coquillardet Hill, 1997 In Chourgal**
- Childs SW, Gilley JR, Splinter WE. ;(1977),** A simplified model of corn growth under moisture stress. Transactions of the ASAE 20, 858-865p
- David, C., Jeuffroy, M.H., 2009.** A sequential approach for improving AZODYN crop model under conventional and low-input conditions. *European Journal of Agronomy* 31, 177-182.
- David, C., Jeuffroy, M.H., Laurent, F., Mangin, M., Meynard, J.M., 2005.** The assessment of Azodyn-Org model for managing nitrogen fertilization of organic winter wheat. *European Journal of Agronomy* 23, 225- 242
- Debaeke, P., Puech, J., & Casals, M. L. (1996).** Elaboration du rendement du blé d'hiver en conditions de déficit hydrique. I. Etude en lysimètres. *Agronomie*, 16 : 3-23.
- Dekkaki, M., Amsa, M., & Qariani, L. (2000).** Identification des critères agro-physiologiques d'adaptation du blé dur aux basses températures et à la sécheresse. CIHEAM. Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens, 40 : 245-249.
- Dubcovsky, J., & Dvorak, J. (2007).** Genome plasticity a key factor in the success of polyploid wheat under domestication. *Science*, 316 (5833) :1862.
- El fakhri, M., Mahboub, S., Benchekroun, M., & Nsarellah, N. (2011).** Effet du stress hydrique sur la répartition ionique dans les feuilles et les racines du blé dur (*Triticum Durum*). *Nature & Technologie*, 05: 66-71.
- Eckersten H, Jansson PE.; (1991),** Modelling water flow, nitrogen uptake and production for wheat. *Fertilizer Research* 27, 313-329p
- Ferrise, R., Triossi, A., Stratonovitch, P., Bindi, M., Martre, P., 2010.** Sowing date and nitrogen fertilization effects on dry matter and nitrogen dynamics for durum wheat: An experimental and simulation study. *Field Crops Research* 117, 245-257.
- F., Donatelli, M., Flichman, G., Olsson, L., Rizzoli, A.E., van der Wal, T., Wien, J.E., Wolf, J., 2008.** Integrated assessment of agricultural systems - A component-based framework for the European Union (SEAMLESS). *Agricultural Systems* 96, 150-165.
- Fellah, A., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Djekoun, A. (2002).** Sélection pour améliorer la tolérance aux stress abiotiques chez le blé dur (*Triticum turgidum* L. var. *durum*). Actes de l'I'AV, Hassan II (Maroc), 22: 161-170.
- Feillet, P. (2000).** Le grain de blé : composition et utilisation. INRA. Paris.
- Feldman, M. 2001.** « Origin of Cultivated Wheat ». Dans Bonjean A.P. et W.J. Angus (éd.) *The World Wheat Book: a history of wheat breeding*. Intercept Limited, Andover, Angleterre, p3-58.
- Feldman, M., & Sears, E. R. (1981).** The wild gene resources of wheat. *Sci. Am*, 244 : 98-109.
- Feldman, M., Lupton, F. G. H., & Miller, T. E. (1995).** Wheats. In J. Smartt, N.W. Simmonds : Evolution of crop plants. Longman Group Ltd., London, 184-192.
- Fischer, R. A., & Maurer, R. (1978).** Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Aust. J. Agric. Res*, 29: 897-912.

- Gallais, A., &Bannerot, H. (1992).** Amélioration des espèces végétales cultivées : objectifs et critères de sélection. *INRA éditions*. 759 p.
- Gate, P. H. (1995).** Ecophysiologie du blé ; Technique et documentation : Lavoisier, Paris, 429 p.
- Grignac, P. (1986).** Contraintes de l'environnement et élaboration du rendement dans la zone méditerranéenne française. In : l'élaboration du rendement des cultures céréalières. Colloque Franco-Romain, Clermont-Ferrant, 17-19 Mars, 196-207.
- Hamadache, A. (2013).** Eléments de phytotechnie générale : Grandes Culture- Tom I : Le blé. 1ère édition. Mohamed Amrani. 49-69.
- Hammer, G.L., Kropff, M.J., Sinclair, T.R., Porter, J.R., 2002.** Future contributions of crop modelling – from heuristics and supporting decision making to understanding genetic regulation and aiding crop improvement. *European Journal of Agronomy* 18, 15-31.
- Hayek, T., Ben Salem, M., &Zid, E. (2000).** Mécanisme ou stratégie de résistance à la sécheresse: Cas du blé, de l'orge et du triticale. *CIHEAM-IAMZ, Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens*, 40: 287-290
- Hansen S, Jensen HE, Nielsen NE, Swenden H.; (1990),** DAISY - Soil Plant Atmosphere System Model S NP0 Research in the NAEP report The royal veterinary and agricultural
- Hakanson, 1995**
- Herbek, J., & Lee, C. (2009).** Growth and development. In: A comprehensive guide to wheat management in Kentucky. The Univ. of Kentucky. <http://www.uky.edu/Ag/GrainCrops/ID125Section2.html> (accessed 29 Nov. 2012).
- Jamieson, P.D., Semenov, M.A., Brooking, I.R., Francis, G.S., 1998.** Sirius: a mechanistic model of wheat response to environmental variation. *European Journal of Agronomy* 8, 161-179.
- Jeuffroy, M.-H., Bergez, J.-E., David, C., Flénet, F., Gate, P., Loyce, C., Maupas, F., Meynard, J.M., Reau, R., Surleau-Chambenoit, C., 2008.** Utilisation des modèles pour l'aide à la conception et à l'évaluation d'innovations techniques en production végétale : bilan et perspectives. In: Reau, R. and Doré, T. (Eds.), *Systèmes de culture innovants et durables : Quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer?* Educagri, Dijon, pp 110-128.
- Jeuffroy, M.-H., Recous, S., 1999.** Azodyn: a simple model simulating the date of nitrogen deficiency for decision support in wheat fertilization. *European Journal of Agronomy* 10, 129-144.
- Jones, J.W., Luyten, J.C., 1998.** Simulation of biological processes. In: Peart, R.M. and Bruce Curry, R. (Eds.), *Agricultural systems modeling and simulation*. Marcel Dekker, New York, pp 19-62
- Kara, Y. (2000).** Etude des caractères morpho-physiologiques d'adaptation à la sécheresse du blé dur et de quelques espèces apparentées, intérêt potentiel de ces espèces pour l'amélioration de ces caractères. Thèse de Doctorat. Université de Constantine.
- 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. *Agronomy*, 18: 181-186.
- Keating, B.A., Carberry, P.S., Hammer, G.L., Probert, M.E., Robertson, M.J., Holzworth, D., Huth, N.J., Hargreaves, J.N.G., Meinke, H., Hochman, Z., McLean, G., Verburg, K., Snow, V., Dimes, J.P., Silburn, M., Wang, E., Brown, S., Bristow, K.L., Asseng, S., Chapman, S., McCown, R.L., Freebairn, D.M., Smith,**

C.J., 2003. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *European Journal of Agronomy* 18, 267-288

Latiri-Souki, K., Aubry, C., Doré, T., Sébillotte, M., 1992. Elaboration du rendement du blé dur en conditions semi-arides en Tunisie: relation entre composantes du rendement sous différents régions de nutrition azotée et hydrique. *Agronomie* 12, 31-43.

Lal H, Hoogenboom G, Calixte JP, Jones JW, Beinroth FH.; (1993), Using Crop Simulation Models and Gis for Regional Productivity Analysis. *Transactions of the ASAE* 36,175-184p

Levy, A. A., & Feldman, M. (2002).The impact of polyploidy on grass genome evolution.*Plant*

Longnecker, N., Kirby, E. J. M., & Robson, A. (1993).Leaf emergence, tiller growth, and apical development of nitrogen-deficient spring wheat. *Crop Sci*, 33: 154- 160.

Physiol, 130: 1587-1593.

Mac Key, J. (2005).Wheat: Its concept, evolution, and taxonomy. In: Conxita

Mavromatis, T., Boote, K.J., Jones, J.W., Irmak, A., Shinde, D., Hoogenboom, G., 2001.Developing genetic coefficients for crop simulation models with data from crop performance trials.*Crop Science* 41, 40-51

Martre, P., Jamieson, P.D., Semenov, M.A., Zyskowski, R.F., Porter, J.R., Triboi, E., 2006. Modelling protein content and composition in relation to crop nitrogen dynamics for wheat. *European Journal of Agronomy* 25, 138-154

Maas SJ.; (1993), Parameterized Model of Gramineous Crop Growth 1 Leaf Area and Dry Mass Simulation. *Agronomy Journal* 85, 348-353p

Meynard, J.M. and Sébillotte, M., 1994.L'élaboration du rendement du blé, base pour l'étude des autres céréales à talles. In: Combe, L. and Picard, D. (Eds.), *Elaboration du rendement des principales cultures annuelles*. INRA, Paris, pp 31-51

Moen TN, Kaiser HM, Riha SJ .;(1994), Regional yield estimation using a crop simulation model: Concepts methods and validation. *Agricultural Systems* 46, 79-92p

Nachit, M. M., Picard, E., Monneveux, P., Labhili, M., Baum, M., &Rivoal, R. (1998).

Présentation d'un programme international d'amélioration du blé dur pour le bassin méditerranéen.*Cahiers Agric*, 7 : 510-515.

Oosterom, V. E., Ceccarelli, S., & Peacock, J. M. (1993).Yield response of barley to rainfall and temperature in Mediterranean environments, *J. Agri. Sci*, 121: 307-313.

Passioura, J.B., 1996. Simulation models: Science; snake oil, education, or engineering? *Agronomy Journal* 88, 690-694

Passioura, J. (2004). Increasing crop productivity when water is scarce : From breeding to field management In : *Proceedings of the 4th International Crop Science Congress "New*

Pala, M., Stockle, C.O., Harris, H.C., 1996. Simulation of durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. Durum) growth under different water and nitrogen regimes in a Mediterranean environment using CropSyst. *Agricultural Systems* 51, 147-163. www.regional.org-au/au/cs.

Pecetti, L., Hollington, P.A., 1997. Application of the CERES-Wheat simulation model to durum wheat in two diverse mediterranean environments. *European Journal of Agronomy* 6, 125-139.

Porter, J.R., Jamieson, P.D., Wilson, D.R., 1993. Comparison of the wheat simulation models, -wheat and for non-limiting conditions of crop growth. *Field Crops Research* 33, 131-

P.L. Toutain ; A. Bousquet-Mélo., 2007

Rao NH, Rees DH.; (1992) Irrigation Scheduling of Rice with a Crop Growth Simulation Model. *Agricultural Systems* 39, 115-132p

Ritchie JT, Otter S. ;(1984), Description and performance of CERES-Wheat a user-oriented wheat yield model USDA-ARS-SR Grassland Soil and Water Research Laboratory Temple TX, 159-175p157.

Richter, G.M., Acutis, M., Trevisiol, P., Latiri, K., Confalonieri, R., 2010. Sensitivity analysis for a complex crop model applied to durum wheat in the Mediterranean. *European Journal of Agronomy* 32, 127-136

Robert, D., Gate, P., & Couvreur, F. (1993). Les stades du blé. *Editions ITCF*. 28 p.

Ruel, T.; (2006), Document sur la culture du blé, édition Educagri.

Salamé, N. (2012). Evolution : accompagnement pédagogique. **Caryotypes des 3 mêmes espèces de blé.** www.acces.ens-lyon.fr.

Sanchez et Prieur., 2005. In Moumni

Slama, A., Ben Salem, M., Ben Naceur, M., & Zid, E., (2005). Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance (*Inrat*), 16 (3) : 225-229

Shewry, P. (2009). Wheat. *Journal of experimental botany*, 60 (6): 1537

Sinclair TR, Seligman NG. ;(1996), Crop modeling : from infancy to maturity *Agronomy Journal* 88 698-704

Stutzel H.; (1995), A simple model for simulation of growth and development in faba beans (*Vicia faba* L) .1. Model description. *European Journal of Agronomy* 4, 175-185p

Stöckle, C.O., Donatelli, M., Nelson, R., 2003. CropSyst, a cropping systems simulation model. *European Journal of Agronomy* 18, 289-307

Triboï, E. (1990). Modèle d'élaboration du poids du grain chez le blé tendre. *Agronomie*, 10 : 191-200.

Turner, N. C. (1979). Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plant. In: "stress physiology in crop plants", (H.W. Musseland et, R.C Staples, ed, Wiley,(interscience) New York, 343-372.

Thornley JHM (2001). Modelling grassland ecosystem .In: Proceedings of the 19th International Grassland Congress (Mattos WRS, dailvaSc (Eds.). Sao Paulo, Brazil, 1029-1035

Van Diepen CA, Wolf J, Van Keulen H, Rappoldt C.; (1989), WOFOST : a simulation model of crop production *Soil Use and Management* 5, 16-24

- Varcoe V.J.; (1990)**, A Note on the Computer Simulation of Crop Growth in Agricultural Land Evaluation. Soil Use and Management 6, 157-160p
- Wardlaw, I. F. (2002)**. Interaction between drought and chronic high temperature during kernel filling in wheat in a controlled environment. Annals of Botany, 90: 469-476.
- Wang, E., Engel, T., 2002**. Simulation of growth, water and nitrogen uptake of a wheat crop using the SPASS model. Environmental Modelling & Software 17, 387-402
- Wallach, D., 2006**. Evaluating crop models. In: Wallach, D., Makowski, D., and Jones, J.W. (Eds.), Working with dynamic crop models. Elsevier, Amsterdam, pp 11-53.
- Weir, A.H., Bragg, P.L., Porter, J.R., Rayner, J.H., 1984**. A winter-wheat crop simulation-model without water or nutrient limitations. Journal of agricultural Science 102, 371-382 .
- Yves, H et Buyer, J.; (2000)**, l'origine des blés. Pour les sciences hors série n° 26,60 - 62 pp

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01 : Classification botanique du blé.....	6
Tableau 02 : La production nationale des céréales lors de la campagne 2014/2015.....	6
Tableau 03 : Le marché mondial du blé.....	7
Tableau 04 : L'origine des variétés.....	31
Tableau 05 : Paramètres utilisés dans AquaCrop.....	37
Tableau 06 : La variation de la température et pluviométrie durant le cycle culturale.....	41
Tableau 07 : Les caractéristiques phénologiques (levée et épiaison).....	42
Tableau 08 : Les paramètres physiologique mesuré.....	45
Tableau 09 : Valeur des paramètres composante le rendement.....	49
Tableau 10 : Résultats de la simulation du bilan hydrique.....	52
Tableau 11 : pourcentage du stress hydrique selon les stades de la campagne 2015/2016....	53
Tableau 12 : Comparaison entre valeurs simulées et observées du rendement, biomasse et de l'indice de récolte de la campagne 2015/2016.....	55
Tableau 13 : Valeurs des paramètres utilisés pour l'évaluation du modèle.....	55

LISTE DES FIGURES

Figure 01 : Phylogénie de blé (Shewry, 2009).....	4
Figure 02 : Caryotypes de trois espèces de blé (Salamé,2012)	5
Figure 03 : Anatomie du grain de blé.....	8
Figure 04 : Structure d'un épi et épillet du blé.....	9
Figure 05 : Les racines de blé.....	10
Figure 06 : Cycle de développement du blé (Henry et De Buyser, 2000).....	11
Figure 07 : Les principales étapes de la modélisation. L'élaboration d'un modèle.....	25
Figure08 : Localisation de la commune de Bordj Ghedir dans la wilaya de Bordj Bou Arreridj.....	28
Figure 09 : Schéma du dispositif expérimental de l'essai mis en place au cours de la campagne agricole 2015/2016.....	29
Figure 10 : Infiltration des racines.....	31
Figure 11 : Effervescence du calcaire.....	32
Figure 12 : Test de plasticité (Originale).....	32
Figure 13 : Appréciation du taux d'argile (test d'élasticité).....	32
Figure 14 : La Croute de battance.....	33
Figure 15 : Thermomètre infrarouge laser.....	34
Figure 16 : Chlorophylles mètre.....	35
Figure 17 : La variation de la température et pluviométrie durant le cycle culturale.....	40

Figure 18 : Histogramme de la date d'épiaison a 50%.....	41
Figure 19 : Histogramme de la hauteur.....	42
Figure 20 : Histogramme du température de couvert végétal.....	42
Figure 21 : Histogramme du teneur de chlorophylle en SPAD.....	44
Figure 22 : Histogramme de la proline.....	44
Figure 23 : Histogramme du rendement des variétés.....	45
Figure 24 : Histogramme du nombre d'épis par mètre carré.....	46
Figure 25 : Histogramme du nombre de grains par épi.....	47
Figure 26 : Histogramme du poids de mille grains.....	47
Figure 27 : Histogramme du nombre de grains par mètre carré.....	48
Figure 28 : Histogramme de la biomasse.....	50
Figure 29 : Histogramme du indice de récolte.....	51
Figure 30 : Relation entre le rendement et hauteur.....	56
Figure31 : Relation entre le rendement et le nombre d'épi par m ²	57
Figure 32 : Relation entre le rendement et le nombre des grains par m ²	58
Figure 33 : Relation entre l'indice de récolte et l'épiaison.....	59
Figure 34 : Relation entre la teneur en chlorophylle et le poids de mille grains	60
Figure 35 : Changement journalier de la pluviométrie et du stress hydrique durant la compagne 2015 /2016.....	60
Figure 36 : Relation entre rendement simulé et observé de la compagne 2015/2016.....	62
Figure37 : Relation entre la biomasse observée et simulée la compagne 2015/2016.....	63
Figure 38 : Relation entre l'indice de récolte observé et simulée la compagne 2015/2016...	64

La liste des annexes

Annexe 01

Des tableaux d'Analyse de variance(ANOVA) :

Tc

Source	df	Type III SS	MS	F	P
Blocks	2	18.29658095	9.1482905	0.3268245	.7274 ns
Main Effects					
G notype	6	211.2495333	35.208256	1.257822	.3451 ns
Error	12	335.8973524	27.991446<-		
Total	20	565.4434667			
Model	8	229.5461143	28.693264	1.0250726	.4677 ns

C

Source	df	Type III SS	MS	F	P
Blocks	2	103.2380952	51.619048	5.4689931	.0205 *
Main Effects					
G notype	6	22.30952381	3.718254	0.3939458	.8691 ns
Error	12	113.2619048	9.4384921<-		
Total	20	238.8095238			
Model	8	125.547619	15.693452	1.6627076	.2059 ns

Pr ug

Source	df	Type III SS	MS	F	P
Blocks	2	68.46312056	34.23156	2.5625826	.1184 ns
Main Effects					
G notype	6	76.53778902	12.756298	0.9549395	.4934 ns
Error	12	160.2987245	13.358227<-		
Total	20	305.2996341			
Model	8	145.0009096	18.125114	1.3568502	.3056 ns

HT

Source	df	Type III SS	MS	F	P
Blocks	2	803.0653238	401.53266	3.8685694	.0505 ns
Main Effects					
G notype	6	2106.141314	351.02355	3.381939	.0344 *
Error	12	1245.522943	103.79358<-		
Total	20	4154.729581			
Model	8	2909.206638	363.65083	3.5035966	.0252 *

NE /m

Source	df	Type III SS	MS	F	P
Blocks	2	33909.94498	16954.972	10.73593	.0021 **
Main Effects					
G notype	6	29419.29953	4903.2166	3.1047288	.0449 *
Error	12	18951.28475	1579.2737<-		
Total	20	82280.52927			
Model	8	63329.24451	7916.1556	5.0125291	.0065 **

NG/ E

Source	df	Type III SS	MS	F	P
Blocks	2	8.666666667	4.3333333	0.043722	.9574 ns
Main Effects					
G notype	6	371.2380952	61.873016	0.6242793	.7085 ns
Error	12	1189.333333	99.111111<-		
Total	20	1569.238095			
Model	8	379.9047619	47.488095	0.47914	.8487 ns

NG /m

Source	df	Type III SS	MS	F	P
Blocks	2	53811895.58	26905948	6.9450842	.0099 **
Main Effects					
G notype	6	57992954.12	9665492.4	2.4949003	.0838 ns
Error	12	46489195.1	3874099.6<-		
Total	20	158294044.8			
Model	8	111804849.7	13975606	3.6074463	.0227 *

PMG

Source	df	Type III SS	MS	F	P
Blocks	2	0	0	0	1 ns
Main Effects					
G notype	6	936.9257143	156.15429	1.3186e16	.0000 ***
Error	12	1.42109e-13	1.184e-14<-		
Total	20	936.9257143			
Model	8	936.9257143	117.11571	9.8895e15	.0000 ***

RDT q/ ha

Source	df	Type III SS	MS	F	P
Blocks	2	836.0754114	418.03771	7.6093155	.0073 **
Main Effects					
G notype	6	1003.499161	167.24986	3.0443592	.0477 *
Error	12	659.251475	54.937623<-		
Total	20	2498.826047			
Model	8	1839.574572	229.94682	4.1855983	.0132 *

Levé 50 %

Source	df	Type III SS	MS	F	P
Blocks	2	0	0		
Main Effects					
G notype	6	10.28571429	1.7142857		
Error	12	0	0<-		
Total	20	10.28571429			
Model	8	10.28571429	1.2857143		

Epiaison

Source	df	Type III SS	MS	F	P
Blocks	2	7.714285714	3.8571429	1	.3966 ns
Main Effects					
G notype	6	260.5714286	43.428571	11.259259	.0003 ***
Error	12	46.28571429	3.8571429<-		
Total	20	314.5714286			
Model	8	268.2857143	33.535714	8.6944444	.0006 ***

IR %

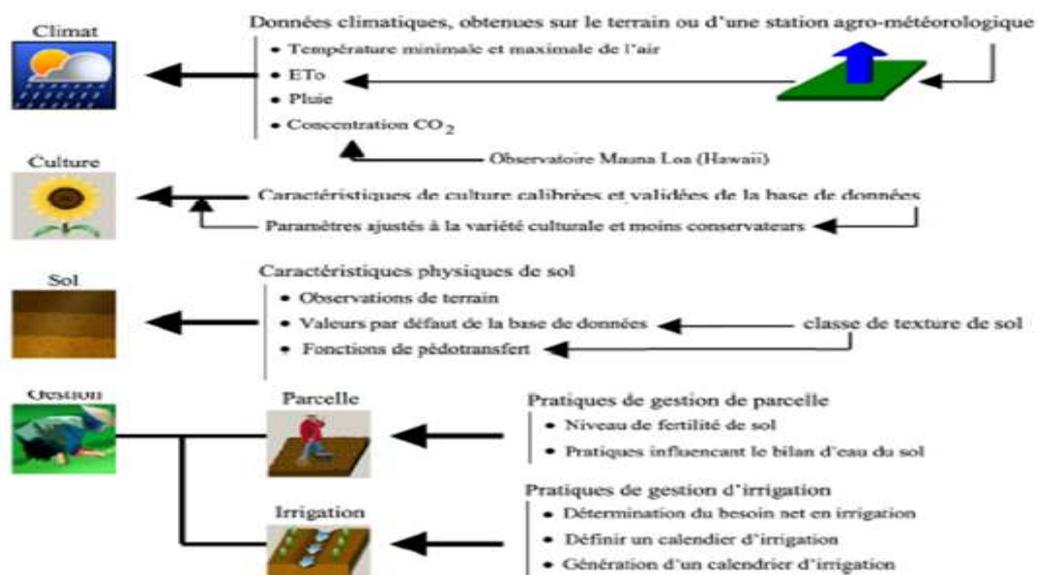
Source	df	Type III SS	MS	F	P
Blocks	2	25.66502857	12.832514	0.7079495	.5121 ns
Main Effects					
G notype	6	1061.578657	176.92978	9.760935	.0005 ***
Error	12	217.5157714	18.126314<-		
Total	20	1304.759457			
Model	8	1087.243686	135.90546	7.4976886	.0011 **

Biom ton/ h

Source	df	Type III SS	MS	F	P
Blocks	2	65595.59853	32797.799	527.16333	.0000 ***
Main Effects					
G notype	6	722.0771698	120.34619	1.9343402	.1558 ns
Error	12	746.5875739	62.215631<-		
Total	20	67064.26327			
Model	8	66317.6757	8289.7095	133.24159	.0000 ***

Annexe 02

Logiciel AQUA CROP



Donné d'entrée définissant l'environnement dans lequel la culture va se développer.

Conclusion

Cette étude a permis de décrire le comportement agronomique et physiologique de quelques variétés de Blé dur.

L'analyse du rendement à travers ses composantes a mis en évidence diverses associations, signalées dans des études antérieures.

Le model AquaCrop a été utilisé pour simuler les composants du rendement pour le blé dur en conditions semi- arides, une expérimentation au champ a été conduite pour le compagne (2015-2016), les résultats ont montré que le rendement grain, la biomasse aérienne et l'indice de récolte peuvent être simulés avec une précision acceptable, avec une bonne corrélation entre les valeurs observées avec les valeurs simulées.

AquaCrop peut être utilisé pour estimer l'évapotranspiration qui permet de quantifier le stress hydrique durant le cycle du blé dur et avec une bonne précision. A partir des résultats obtenus, on peut dire que les estimations du stress hydrique sont acceptables.

LISTE DES ABREVIATIONS

AAE : Average Absolute error.

ABA : Acide abscissique.

ANOVA : Analyse De Variance

BIO : Biomasse aérienne à maturité.

CC : Canopy cover.

Cm : Centimètre.

CO₂ : Carbone oxygéné .

K_{sat} : Conductivité hydraulique à saturation K_{sat}.

D : Willmott's index of agreement.

Ddl : Degré de liberté.

ET₀ : Evapotranspiration de référence.

ETR : Evapotranspiration réelle.

FAO : Organisation mondiale de l'agriculture et de l'alimentation.

Ha : Hectare.

HI(%) : Indice de récolte.

HT : Hauteur .

INRAA : Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie.

ITGC : Institut Technique des Grandes Cultures.

M /S :Mètre par second.

MF : Masse de matière fraîche.

Min :Minute.

ML :Millilitre.

MSE : Mean Square Error.

NE : Nombre d'épis par plante.

NGE : Nombre de grain par épi.

Nm :Nanomètre.

O NFAA :Observatoire National des Filières Agricole et Agroalimentaire.

PE : Potential Error.

PMG : Poids de mille grains.

Q/ha : Quintaux par hectar.

r : Coefficient de corrélation.

RDT : Rendement grain par plante.

RMSE : Root mean square error.

TC : Teneur en chlorophylle .

T°C : Température en degré Celsius

Tm : Temperature minimaux

TRE : Teneur Relative en Eau.

Tx : Temperature maximaux.

SF : Surface foliaire.

SPAD :

X : Quantité de proline de chaque échantillon .

µg : microgramme.

Résumé

Le manque d'eau ou déficit hydrique représente le stress abiotique le plus sévère auquel la culture du blé dur fait face dans les conditions de productions des zones arides et semi- arides.

Cette étude a été réalisée durant la saison agricole 2015-2016, avec une collection de sept génotypes pour l'évaluation de leurs paramètres agronomiques et physiologiques d'une part, et la simulation de leurs composants du rendement en conditions semi- arides avec le modèle de culture « **AquaCrop** » d'autre part.

L'utilisation de ce modèle de culture a permis de déterminer des paramètres climatiques tels que l'évapotranspiration et la transpiration de la culture. Le modèle a également permis d'estimer le rendement en grain, la biomasse et l'indice de récolte. Le calcul des différents coefficients et ratio utilisés par le modèle, confère une souplesse d'analyse, tel que le facteur de stress, la simulation de la dynamique de l'état hydrique du sol relativement à différents stades phénologiques.

Mots clé : blé dur, semi aride, stress hydrique, modélisation, Aquacrop.

المخلص

الإجهاد المائي يؤثر سلبا على محاصيل القمح الصلب في المناطق القاحلة وشبه القاحلة

هذه الدراسة التي اجريت خلال الموسم الفلاحي 2015-2016 على مجموعة من سبعة انماط جينية لتقييم المعايير الزراعية والفيزيولوجية من جهة ومحاكاة عناصر الانتاج في ظروف شبه قاحلة مع النموذج Aquacrop من جهة اخرى استخدام هذا النموذج يسمح بتحديد المعايير المناخية مثل التبخر والنتح للمحصول

تم استخدام النموذج ايضا لتقدير محصول الحبوب و الكتلة الحيوية ودليل الحصاد

حساب مختلف المعاملات والنسب باستعمال نموذج **Aquacrop** يعطي مرونة للتحليل مثل عامل الجهاد محاكاة ديناميكية الوضع في التربة

الكلمات المفتاحية : القمح الصلب , الاجهاد المائي, النموذج Aquacrop , النمذجة

Summary

The Lack of water or water deficit is the most severe abiotic stress Which is faced by the cultivation of durum wheat under the conditions of arid and semi-arid zone production.

This study was realized during the agricultural season 2015-2016, With a collection of seven genotypes For the evaluation of their agronomic and physiological parameters on the one hand ,And the simulation of their yield composants in semi-arid conditions using the culture model (Aquacrop) on the other hand.

The use of this culture model allowed to determine climatic parameters such as évapotranspiration and the culture transpiration The model was also used to estimate grain yield, biomass and harvest index. The calculation of the various coefficients and ratio used by the model, Provides flexibility of analysis, such as the stress factor The simulation of the dynamics of the soil water state in relation to different phenological stages.

Key words: durum wheat, semi arid, water stress, modeling, Aquacrop.