



## REMERCIEMENTS

*Louange à ALLAH, le tout puissant et miséricordieux  
De nous avoir donné la force, la volonté et le courage  
Pour réaliser ce mémoire.*

*Au terme de la réalisation de ce mémoire, nous Tenons s à  
exprimer notre profonde gratitude à monsieur MAAMRI  
KHLIFA Maître assistant au département d'Agronomie biologie  
de l'université El-bachir El-ibrahimi d'avoir accepté de diriger ce  
modeste travail, et pour son aide, et ses conseils précieux et sa  
disponibilité entière toute au long de la réalisation de ce travail.*

*Nos remerciements s'adressent aussi aux membres de jury, qui ont  
accepté de juger et valoriser notre modeste travail.*

*Nous tenons également à adresser nos vifs remerciements à Mm  
CHOURGHAL NASIRA notre jury présidente Mr OULD  
KIAR Rida pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant  
d'examiner ce mémoire.*

*Nous exprimons notre plus vif remerciement à mon binôme  
MERIEM MEBERKIA pour sa patience, son aide, ses conseils  
et encouragements, pour le temps qu'il nous avons consacré pour  
réaliser ce travail.*

*Tous ceux et celles qui ont contribué de loin ou de près à  
l'élaboration de ce travail, trouvent ici mes sincères  
remerciements.*

# ***DEDICACE***

***Je dédie ce travail à:***

***Mes très chers parents SACI et NOURA  
pour leurs encouragements  
Et pour leurs énormes sacrifices durant  
mes études, je les remercie ;***

***Mon frère : IMAD***

***Mes sœurs : NESSRINE, FARAH;***

***Ma grande mère MALIKA et Ma grande père  
IBRAHIM***

***A mes amis Hanane, Soumia, Seddik, Samir,  
Halim, Amine, Youness, Ilyes, Nasro, Youcef je  
n'oublierai jamais leur encouragement***

***A tous ceux qui m'ont aidé lors de la réalisation  
de ce travail, merci à tous***

## Liste abréviation

**ALT 84** : Altar 84

**Bio** : Biomasse aérienne

**BSS** : Bousselem

**DSA** : Direction des services agricoles

**ET** : Evapotranspiration

**ETc** : Evapotranspiration de culture.

**ETm** : Evapotranspiration maximale.

**ETo** : Evapotranspiration de référence

**ETP** : Evapotranspiration potentielle

**ETP** : Evapotranspiration réelle

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

**Ha** : Hectare

**ICARDA** : Centre international de recherche agricole dans les zones arides

**HG** : Hoggar

**HT** : Hauteur

**IR** : Indice de récolte

**Ks** : Coefficient de stress

**Mm** : Millimètre

**MX 75** : Mexicali 75

**NE/m<sup>2</sup>** : Nombre d'épis par mètre carré

**NG/E** : Nombre de grains par épi

**NG/m<sup>2</sup>** : Nombre de grains par mètre carré

**OZ** : Oued Znati

**PMG** : Poids de mille grains

**POLO** : Polonicum

**qxs**: quintonx

**Rdt** : Rendement grains

**SH** : stress hydrique

**T** : Transpiration

**TC** : Teneur en chlorophylle

**WH** : Waha

### Synthèse bibliographique

<b>Figure 01</b> : Origine et diffusion de <i>Triticum turgidum</i> .....	<b>03</b>
<b>Figure 02</b> : Origines et généalogie du blé.....	<b>04</b>
<b>Figure 03</b> : Anatomie du grain de blé.....	<b>09</b>
<b>Figure 04</b> : Le cycle de développement de blé.....	<b>12</b>

### Matériels et Méthodes

<b>Figure 05</b> : Situation du site de l'expérimentation.....	<b>30</b>
<b>Figure 06</b> : Localisation de la commune de Bordj Ghedir (Chenia) dans la wilaya de Bordj Bou Arreridj.....	<b>31</b>
<b>Figure 07</b> : Schéma du dispositif expérimental de l'essai en plein champ de région d'INRAA Sétif.....	<b>34</b>
<b>Figure 08</b> : Schéma du dispositif expérimental de l'essai en plein champ de région Chania.....	<b>34</b>
<b>Figure 09</b> : Le thermomètre infrarouge.....	<b>37</b>
<b>Figure 10</b> : chlorophylle-mètre digital de type SPAD 502 de Minolta.....	<b>38</b>
<b>Figure 11</b> : Organigramme d'AquaCrop indiquant les principales composantes de la relation sol-eau-plante.....	<b>40</b>
<b>Figure 12</b> : les fenêtres d'AquaCrop.....	<b>41</b>
<b>Figure 13</b> : Données d'entrée définissant l'environnement dans lequel la culture va se développer.....	<b>43</b>

### Résultats

<b>Figure 14</b> : Diagramme représentant les Pluviométries et les températures moyennes enregistrées sur le site INRAA de Sétif.....	<b>47</b>
<b>Figure 15</b> : Diagramme représentant les Pluviométries et les températures moyennes enregistrées sur le site de la région 2 (Chania).....	<b>48</b>
<b>Figure 16</b> : Histogramme de poids de milles grains des sept variétés dans la région (l'INRAA et Chania).....	<b>51</b>
<b>Figure17</b> : Histogramme de nombre des grains par épi (NG/E) de sept variétés dans les deux régions (l'INRAA et Chania).....	<b>51</b>
<b>Figure 18</b> : Histogramme du nombre de grains par mètre carré des 7 vérités dans les deux régions (l'INRAA et Chania).....	<b>52</b>
<b>Figure 19</b> : Histogramme du nombre d'épis par mètre carré (NE/m <sup>2</sup> ) dans les deux régions (l'INRAA et Chania).....	<b>53</b>
<b>Figure 20</b> : Histogramme de rendement des 7 variétés dans les deux régions (l'INRAA et Chania).....	<b>53</b>
<b>Figure 21</b> : Histogramme de la biomasse des 7 variétés dans les deux régions (l'INRAA et Chania).....	<b>54</b>
<b>Figure 22</b> : Histogramme de l'indice de récolte (IR) des sept variétés dans les deux régions (l'INRAA et Chania).....	<b>55</b>
<b>Figure 23</b> : Histogramme de l'hauteur (HT) des sept variétés dans les deux régions (l'INRAA et Chania).....	<b>57</b>
<b>Figure 24</b> : Histogramme de la température de couvert végétal des sept variétés dans les deux régions (l'INRAA et Chania).....	<b>58</b>
<b>Figure 25</b> : Histogramme du teneur de chlorophylle en SPAD des sept variétés dans	

les deux régions (l'INRAA et Chania).....	58
<b>Figure 26:</b> Histogramme de la proline des sept variétés dans les deux régions (l'INRAA et Chania).....	59
<b>Discussion</b>	
<b>Figure 27 :</b> Relation entre le rendement et la hauteur .....	68
<b>Figure 28 :</b> Relation entre le rendement et le nombre des grains par m <sup>2</sup> .....	70
<b>Figure 29 :</b> Relation entre le rendement et le nombre d'épis par m <sup>2</sup> .....	71
<b>Figure 30 :</b> Relation entre la température et la biomasse.....	72
<b>Figure 31 :</b> Relation entre le stress hydrique de la phase 1 (semi-levé) avec le rendement.....	73
<b>Figure 32 :</b> Relation entre le stress hydrique de la phase 2 (levé-épiaison) avec le rendement.....	74
<b>Figure 33 :</b> Relation entre le stress hydrique de la phase 3 (épiaison-maturation) avec le rendement.....	74
<b>Figure 34 :</b> Relation entre le rendement observée et simulée par Aquacrop dans les deux régions (INRAA, Chania).....	76
<b>Figure 35:</b> Relation entre la biomasse observée et simulée par Aquacrop en les deux régions (INRAA, Chania).....	77
<b>Figure 36 :</b> Relation entre l'indice de récolte observée et simulée par Aquacrop pour les deux régions (INRAA, Chania).....	78



**Etude bibliographique**

<b>Tableau I :</b> Le marché mondial du blé .....	06
<b>Tableau II :</b> Bilan des importations de l'Algérie des principales céréales.....	07

**Matériels et Méthodes**

<b>Tableau III :</b> L'origine les sept variétés de blé dur.....	32
<b>Tableau IV:</b> Paramètres utilisés dans AquaCrop.....	45

**Résultats**

<b>Tableau V:</b> les caractéristiques phénologiques de sept variétés pour les deux régions (l'INRAA et Chania).....	
<b>Tableau VI:</b> les paramètres agronomique de sept variétés mesuré dans la région 1 l'INRAA.....	51
<b>Tableau VII :</b> Les paramètres agronomique de sept variétés mesurés dans la région 2 Chania.....	56
<b>Tableau VIII :</b> Les paramètres physiologiques de sept variétés mesuré dans les deux régions (l'INRA A et Chania).....	57
<b>Tableau IX:</b> Résultats de la simulation du bilan hydrique des quatre variétés dans les deux régions (l'INRA et Chania).....	61
<b>Tableau X :</b> Pourcentage du stress hydrique selon les stades des régions (l'INRAA et Chania).....	62
<b>Tableau XI:</b> Comparaison entre valeurs simulées et observées du rendement, des deux régions (l'INRAA et Chania).....	63
<b>Tableau XII :</b> Comparaison entre valeurs simulées et observées la biomasse aérienne des deux régions (l'INRAA et Chania).....	66
<b>Tableau XIII :</b> Comparaison entre valeurs simulées et observées l'indice de récolte des deux régions (l'INRAA et Chania).....	66
<b>Tableau XIV :</b> Valeurs des paramètres utilisés pour l'évaluation du modèle .....	67
	68

# Sommaire

Liste des Abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction

## Partie 01 : Etude bibliographique

### Chapitre I : Généralité sur le blé

I.1. Histoire et l'origine géographique de blé dur.....	03
I.2. Origine génétique de blé dur .....	04
I.3. Classification botanique .....	05
I.4. Importance et production du blé .....	05
I.5. Les caractères et le cycle de développement de blé .....	07
I.5.1. Caractères morphologiques .....	07
I.5.1.1. L'appareil végétatif.....	07
I.5.1.2. L'appareil reproducteur .....	08
I.5.1.3. Le grain de blé .....	08
I.5.2. Le cycle de développement du blé dur .....	09
I.5.2.1. La période végétative .....	09
I.5.2.2. La période reproductrice .....	10
I.5.2.3. La période de maturation .....	12
I.6. Les exigences pédoclimatiques du blé dur.....	13
I.7. Principales variétés de blé dur cultivées en Algérie .....	14

### Chapitre II : Les contraintes biotiques, abiotiques et les effets du stress hydrique sur le blé dur

II.1. Les stress .....	15
II.2. Les catégories de stress .....	15
II.2.1. Stress biotique .....	15

II.2.1.1. Les maladies principales du blé dur .....	15
II.2.2. Stress abiotique .....	15
II.2.2.1. Les type de stress abiotique.....	16
II.2.2.1.1. Le stress thermique .....	16
II.2.2.1.2. Le stress salin .....	16
II.2.2.1.3. Le stress hydrique .....	17
II.2.2.1.3.1. Les effets de stress hydrique .....	17
II.2.2.1.3.2. Les stratégies d'adaptations au stress hydrique .....	19
II.2.2.1.3.2.1. La stratégie d'esquive .....	19
II.2.2.3.2.2. La stratégie d'évitement .....	20
II.2.2.3.2.3. La stratégie de tolérance .....	22

### **Chapitre III : Modélisation et les modèles de culture**

III.1. Modèle et modélisation.....	24
III.1.1. La modélisation.....	24
III.1.2. Le modèle .....	24
III.1.3. L'objectif de modèle .....	24
III.1.4. Les étapes de la modélisation .....	25
III.1.5. La modélisation agronomique .....	25
III.2. Modèle de culture .....	25
III.2.1. Définition .....	26
III.2.2. Les groupes majeurs de modèle .....	26
III.2.3. La structure générale des modèles de culture .....	27
III.2.4. Les domaines d'utilisation des modèles de culture.....	27

## **Partie II : Etude expérimentale**

### **Chapitre I : Matériel et méthodes**

I.1. Les sites de l'expérimentation .....	29
I.2. Présentation des régions d'étude .....	29

I.3. Matériels végétales .....	31
I.4. La description des variétés .....	32
I.5. Dispositif expérimental .....	33
I.6. Les paramètres étudiés.....	35
I.6.1. Les paramètres climatiques .....	35
I.6.1.1. Température et pluviométrie.....	35
I.6.2. Les paramètres phénologiques .....	35
I.6.2.1. La levée .....	35
I.6.2.2. L'épiaison .....	35
I.6.3. Les paramètres agronomiques.....	35
I.6.3.1. Poids de mille grains .....	35
I.6.3.2. Nombre d'épi par m <sup>2</sup> .....	36
I.6.3.3. Nombre de grains par épi .....	36
I.6.3.4. Nombre de grains par m <sup>2</sup> .....	36
I.6.3.5. Rendement en grains .....	36
I.6.3.6. La biomasse aérienne .....	36
I.6.3.7. L'indice de récolte .....	36
I.6.4. Les paramètres morphologiques .....	37
I.6.4.1. La hauteur de la plante .....	37
I.6.5. Les paramètres physiologiques .....	37
I.6.5.1. Température de couvert végétale .....	37
I.6.5.2. Teneur en chlorophylle .....	37
I.6.5.3. Dosage de proline .....	38
I.7. Analyse statistique .....	39
I.8. AquaCrop.....	39
I.8.1. Description de l'AquaCrop .....	39
I.8.2. La structure d'AquaCrop .....	40

I.8.3. Les données d'entrée du modèle AquaCrop.....	41
I.8.4. Les données sorties du modèle AquaCrop.....	43
I.8.5. Calibration et validation du modèle .....	43
I.8.6. Evaluation du modèle .....	45

## **Chapitre II : Résultats et discussion**

### **II.1. Résultats**

II.1.1. Les paramètres climatiques.....	47
II.1.2. Les paramètres phénologiques .....	49
II.1.3. Les paramètres agronomiques .....	50
II.1.4. Les paramètres morphologiques .....	56
II.1.5. Les paramètres physiologiques.....	57
II.1.6. Résultats du modèle AquaCrop .....	60
II.1.6.1. Simulation du bilan hydrique .....	60
II.1.6.1.1. Paramètres de mesures .....	60
II.1.6.1.2. Phases de stress hydrique selon la phénologie .....	61
II.1.6.2. Simulation et evaluation des composants du rendement par AquaCrop ...	64
II.1.6.2.1. Le rendement grain .....	64
II.1.6.2.2. La biomasse aérienne .....	65
II.1.6.2.3. L'indice de récolte .....	66

### **II.2. Discussion**

II.2.1. Paramètre morphologique .....	68
II.2.1.1. La hauteur .....	68
II.2.2. Paramètres agronomiques .....	69
II.2.2.1. Les interactions entre le rendement et ses composants .....	69
II.2.3. Paramètres physiologiques .....	71
II.2.3.1. La relation entre la température et la biomasse .....	71
II.2.4. Stress hydrique .....	72

II.2.4.1. L'effet du stress hydrique sur les paramètres du rendement .....72

II.2.5. Simulation des composants du rendement par AquaCrop.....75

**Conclusion** .....79

**Références bibliographiques**

**Annexes**

# *Introduction*

Depuis leur découverte et leur domestication par les cultivateurs des premières civilisations, les céréales ont toujours été au cœur d'enjeux politiques, économiques et sociaux de premier rang (**Roudart, 2006**). Le blé est aujourd'hui considéré parmi les récoltes les plus avancées dans le monde, avec une production annuelle excédant les 606 millions de tonnes pendant la dernière décennie (**FAO, 2009**). Cette importance s'explique par deux aspects différents, l'un économique et l'autre culturel (**Hawkes, 2004**).

En Algérie la production des céréales, occupe environ 80% de la superficie agricole utile (SAU) du pays, La superficie emblavée annuellement en céréales se situe entre 3 et 3,5 million d'hectares. Les superficies annuellement récoltées représentent 63% des emblavures. Elle apparait donc comme une spéculation dominante (**Djermoun, 2009**). Le blé dur y occupe une superficie prépondérante dans l'agriculture, cette espèce considérée comme une culture stratégique.

La multiplication de blé reste tributaire par des stress biotiques et abiotiques qui représentent de réelles contraintes affectent les rendements (**Turki et al., 2014**). Hormis les stress abiotiques, tel le stress hydrique, le stress salin et le stress thermique; les stress biotiques exercés notamment par les maladies sur les plantes cultivées représentent l'une des contraintes majeures qui caractérisent le milieu de la production végétale à l'échelle mondiale (**Noir, 2002 ; Benmahammed et al., 2010**).

La production agricole dans le monde est fortement limitée par le stress hydrique, qui devient de plus en plus contraignant pour la croissance et le développement des plantes notamment dans les zones semi-arides et arides (**Belkhodja et al., 2004**). Il provoque une instabilité de la production suite aux fluctuations qui touchent surtout les cultures pluviales et plus particulièrement les céréales, qui restent faibles et très irrégulières dans l'espace et le temps (**Annichiarico et al., 2005 ; Kadi et al., 2010**).

Des travaux réalisés depuis plusieurs décennies sur l'effet de stress hydrique et l'efficacité d'utilisation de l'eau, s'orientent essentiellement, soit vers des approches expérimentales, soit vers des approches basées sur des modèles (**Aouade Ghizlane, 2001**). Ces modèles peuvent être classés en deux groupes : des modèles

complexes comme SISPAT (Braud et al., 2004) et des modèles simples et opérationnels comme FAO-56 (Erraki, 2007) et STICS (Hadria, 2006) et AquaCrop (Andarzian et al., 2011). Dans ce travail, nous proposons d'utiliser le modèle AquaCrop développé par La FAO.

Cette étude a pour premier but de comparer le comportement des paramètres agronomiques, physiologiques, morphologiques de sept variétés de blé dur, quatre géotypes locaux (Oued Zeneti, Waha, Polonicum, Bousselem) et trois autres introduites (Hoggar, Mexicali 75, Altar 84). Le Deuxième but est la validation du modèle de culture « AQUACROP » testé sur les quatre variétés du blé dur (Oued Zeneti, Bousselem, Altar 84, Mexicali 75) cultivées dans deux régions différentes semi-aride (INRAA de Sétif et Chania à Bordj Bou Arreridj).

Ce mémoire comporte deux parties, **une partie théorique** qui se divise en trois chapitres, **dans le premier chapitre** on aborde des généralités sur le blé, **au deuxième chapitre** on parle sur les contraintes de production de blé dur et les effets de stress hydrique et on évoque la modalisation et les modèles de culture **au chapitre trois**.

**La partie pratique** comporte deux chapitres, le premier concerne le matériel utilisé, les méthodes suivies durant le travail. Le second chapitre comporte les résultats obtenus et leurs discussions.

Partie 01  
Etude  
bibliographique

## I. Généralités sur le blé

Le blé (*Triticum*) fait partie des trois grandes céréales avec le maïs (*Zea*) et le riz (*Oryza*). C'est la troisième espèce par importance de la récolte mondiale, et la plus consommée par l'homme. En Algérie, le blé est cultivé pour son grain. On distingue deux espèces de blé: Le blé tendre et le blé dur essentiellement cultivé pour la semoulerie, en vue de la fabrication des pâtes alimentaires, couscous et pain (Bataillon et al., 2006).

### I.1. Histoire et l'origine géographique de blé dur

La saga du blé accompagne l'histoire de l'homme et l'agriculture (Feillet, 2000 ; Mouellef, 2010). Selon Henry et De Buyser (2001), Naville (2005) la culture de l'engrain est attestée, au septième millénaire avant J.-C., au Kurdistan irakuien, dans le sud-est de la Turquie et dans le sud des Balkans. L'amidonnier était la principale céréale cultivée par les premiers agriculteurs du proche orient (Figure 01).

C'est probablement par l'intermédiaire des régions montagneuses du croissant fertile qu'il est parvenu dans les plaines de Mésopotamie au sixième millénaire avant J.C., d'où il était introduit en Egypte, en Europe, en Asie centrale et en Inde au cinquième et quatrième millénaires (Figure 01). L'épeautre aurait été cultivé dans la région du Haut-Rhin au cours du deuxième millénaire avant J.C (Verville, 2003).

En Algérie, selon Pictav, (1856) le Blé dur (*T. durum*) était la seule variété connue de la population autochtone avant la colonisation française. Léon Ducellier (1878-1937), découvrit et analysa les nombreuses variétés, qui peuplaient les champs cultivés recueillit les échantillons les plus caractérisés, les plus productifs (Lery, 1982).

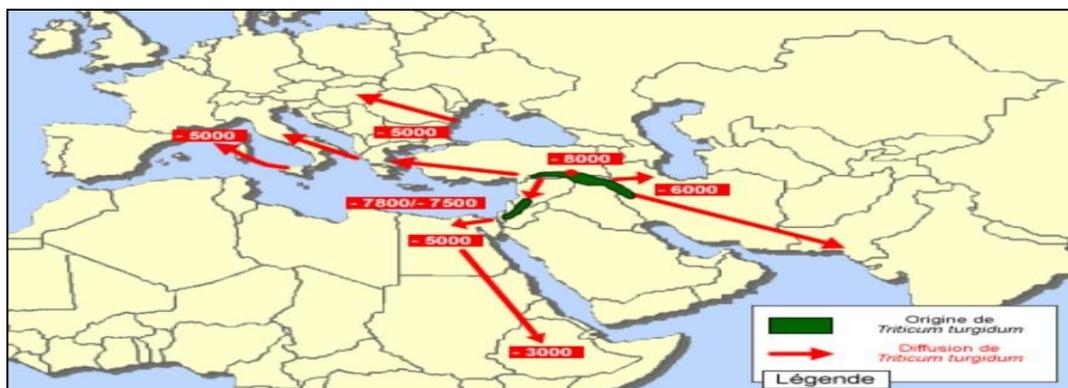


Figure 01 : Origine et diffusion de *Triticum turgidum* (Bonjean, 2001).

## I.2. Origine génétique de blé dur

Selon Cook *et al.*, (1991), Boulal *et al.*, (2007) et Salamé (2012) certains premiers blés cultivés constituent le genre *Triticum*, qui comporte un certain nombre d'espèces cultivées. Du point de vue génétique on peut les classer :

- Le groupe diploïde ( $2n = 14$  chromosomes) ou groupe de *Tritium monococcum*.
- Le groupe tétraploïde ( $2n = 28$  chromosomes) ou groupe de *Triticum dicoccum*.
- Le groupe hexaploïde ( $2n = 42$  chromosomes) ou groupe de *Triticum sativum*.

Ainsi l'origine du blé dur est issue de deux hybridations interspécifiques suivies d'un doublement chromosomique. Le croisement entre *Triticum monococcum* (A) et un *Aegilops* (B) a donné un individu de structure génomique (AB) avec 14 chromosomes (figure 02). Après doublement chromosomique est apparu *Triticum turgidum ssp.dicoccoides* (AA BB) ancêtre du blé dur, qui a ensuite progressivement évolué vers *Triticum turgidum ssp.dicoccum* puis vers *Triticum durum* (blé dur cultivé) (Chapman, 2009).

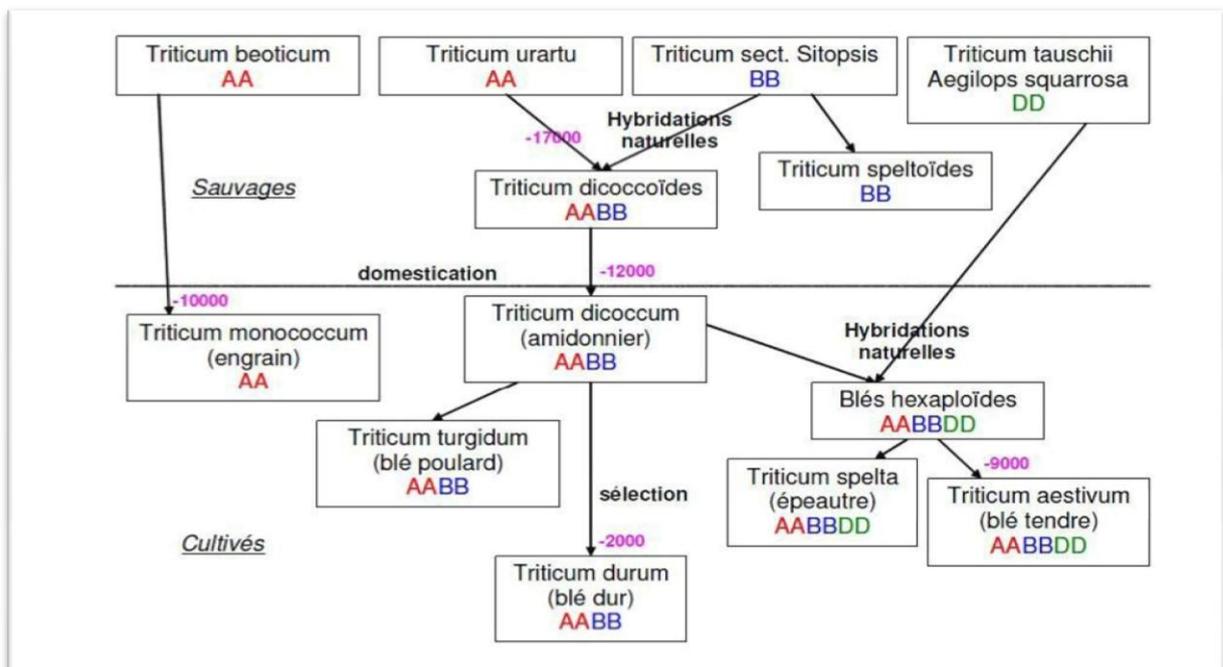


Figure 02 : Origines et généalogie du blé (Naville, 2005).

## I.3. Classification botanique

Le blé dur (*Triticum turgidum durum*) est une plante annuelle de la classe monocotylédone, la famille des Graminées (Gramineae = Poaceae). La classification du genre *Triticum* a connu plusieurs controverses (**Caligari et Brandham, 2001**). Le nombre exact d'espèces du genre *Triticum* n'est pas définitivement déterminé puisqu'il existe de nombreuses propositions de classification dont les unes considèrent certains taxons comme des espèces (**Khalighi et al., 2008**).

Selon **Clech (2000)**, **Feillet, (2000)** et **Naville (2005)** la taxonomie de blé dur est établie comme suit :

**Règne :** plante

**Embranchement :** Spermaphytes

**Sous-embranchement :** Angiospermes

**Classe:** Monocotylédones

**Ordre :** Poales

**Famille :** Poacées (Gramineae)

**Genre :** *Triticum sp*

**Espèce :** *Triticum turgidum sub sp. durum*

**Nom commun :** Blé dur

## I.4. Importance et production du blé

### ➤ Dans le monde

Le blé est cultivé largement dans le monde sous des conditions climatiques diverses et a été la denrée alimentaire de base pour la plupart des civilisations en Europe, Asie et Afrique du Nord pendant 8 000 ans.

La production mondiale de blé pour 2016-2017 est 759.6 millions de tonnes par conter 734.1 millions de tonnes à compagne 2015-2016 (**FAO, mai 2018**).

Selon les statistiques de FAO, l'estimation de la demande mondiale de blé dur pour la campagne 2017-2018 est 757.9 million de tonne. Les dernières prévisions pour la production mondiale de blé en 2018-2019 s'établissent à 746.6 millions de tonnes. Les stocks, utilisation, production et commerce du blé au niveau mondial sont résumés en le tableau I suivant :

**Tableau I:** Le marché mondial du blé. Source : FAO, mai 2018.

<b>Marché mondial du blé</b>					
	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18 estimation	2018/19 prévision (03 mai 2018)
(..... millions de tonnes .....)					
<b>Production1/</b>	732.0	734.1	759.6	757.9	<b>746.6</b>
<b>Disponibilités2/</b>	928.7	950.6	995.9	1 015.5	<b>1 023.3</b>
<b>Utilisation</b>	712.5	709.2	734.5	737.7	<b>743.3</b>
<b>Commerce3/</b>	156.8	166.7	176.5	173.6	<b>174.1</b>
<b>Stocks de clôture4/</b>	216.5	236.3	257.6	276.7	<b>279.0</b>
(..... pour cent .....)					
<b>Rapport stocks mondiaux- utilisation</b>	30.5	32.2	34.9	37.2	<b>36.9</b>
<b>Rapport stocks des principaux exportateurs- utilisation totale5/</b>	17.9	17.8	20.0	20.9	<b>19.2</b>

## ➤ En Algérie

La céréaliculture constitue en Algérie la principale activité, notamment dans les zones arides et semi arides, le blé dur occupe une place centrale dans l'économie Algérienne (Cadi, 2005). Les superficies emblavées en céréales ont été de 3,44 millions d'hectares pour la campagne labours-semailles 2017-2018. Ces superficies emblavées se répartissent entre 1,6 million d'hectares (ha) de blé dur, 480.000 ha de blé tendre, 1,28 million ha d'or (FAO, 2017).

Durant la saison 2017/2018, l'Algérie devrait produire un volume total de blé et l'orge de 3.5 MT, 2.5 millions de tonnes de blé et 1 MT d'orge, indique le Département américain de l'agriculture (USDA). Le besoins de consommation en blé, le pays devrait compter sur des importations de 8,2 MT de la céréale, ce qui confirmera son rang de troisième importateur mondial, derrière l'Egypte et l'Indonésie.

Algérie a importé de l'Europe : 32 546 tonnes de blé dur durant la campagne 2017/2018, selon les services douaniers français. Les importations au cours des dix premiers

mois de l'année 2017 ont atteint 1.39 MT (404.20 M USD) contre 1.40 MT (435.80 M USD) en 2016, soit une diminution de 2 en quantité et 7 en valeur. Pour le Blé tendre, l'Orge et le Mais, leur données figurent sur le tableau II (CNIC, 2017).

**Tableau II :** Bilan des importations de l'Algérie des principales céréales. Source : ONFAA à partir des données CNIS, (2017).

	Millions Tonnes (janvier-septembre)		Evolution en quantité % T	Millions USD (janvier-septembre)		Evolution en valeur %  USD	
	2016	2017		2016	2017		
Blé dur	1,40	1,39	-2	Blé dur	435,80	404,20	-7
Blé tendre	4,57	4,64	2	Blé tendre	875,00	828,70	-5
Orge	0,76	0,42	-45	Orge	134,70	76,29	-43
Mais	3,20	3,04	-6	Mais	600,40	579,00	-4

## I.5. Les caractères et le cycle de développement de blé

### I.5.1. Caractères morphologiques

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

#### I.5.1.1. L'appareil végétatif

Le blé dur est une graminée annuelle de hauteur moyenne (Bozzini, 1988). Son appareil végétatif herbacé est composé de :

##### ➤ Le système racinaire

Le blé dur dispose de deux systèmes racinaires successifs :

❖ Le système racinaire primaire ou séminale, fonctionnel dès la germination. Il ne se forme en général que de 6 racines séminales (Monneveux, 1992).

❖ Le système racinaire secondaire ou racines adventices, de type fasciculé, qui apparaît au tallage et se substitue progressivement au précédent. Le nombre des racines est d'autant plus

important que la phase de tallage est plus longue. Très actives jusqu'à la floraison, les racines adventives rentrent ensuite en sénescence (**Boulal et al., 2007**).

## ➤ Le système aérien

Le système aérien est formé d'un certain nombre d'unité biologique, les talles, les feuilles et les graines. Le talle est formé d'une tige feuillée ou chaume portant à son extrémité une inflorescence (**Clarke et al., 2002**).

Les feuilles sont alternes, distiques, simples et entières, avec une gaine arrondie (**Belay, 2006**). Chaque feuille prend naissance à l'aisselle d'un nœud. La feuille du blé se compose de quatre parties : la gaine, les stipules ou oreillettes, la ligule et le limbe (**Boulal et al., 2007**). Le limbe est linéaire à nervures parallèles, plat et légèrement poilu (**Belay, 2006**).

### I.5.1.2. L'appareil reproducteur

L'appareil reproducteur (l'inflorescence) est un épi muni d'un rachis portant des épillets séparés par de courts entre-nœuds (**Bozzini, 1988**). Chaque épillet est une petite grappe de une à cinq fleurs bisexuées (**Anonyme, 2003 ; Boulal et al., 2007**). Chaque fleur peut produire un fruit à une seule graine (**Bozzini, 1988**).

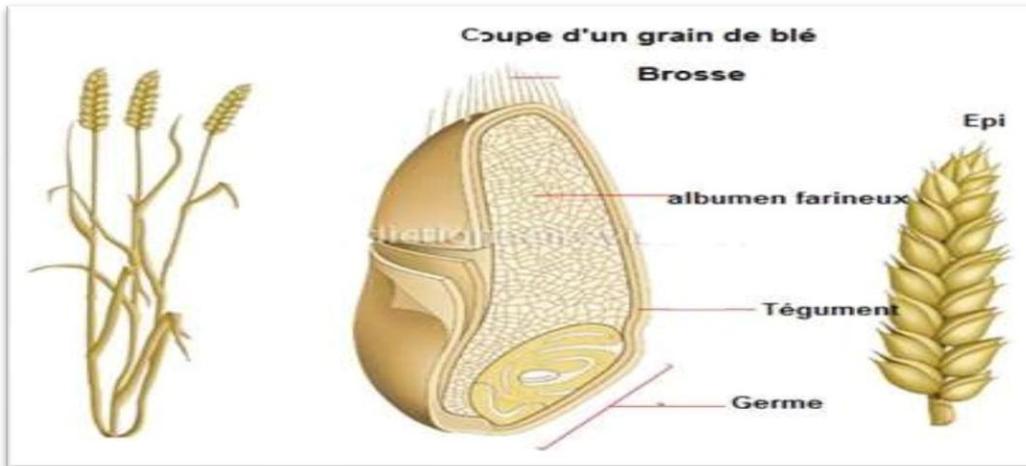
### I.5.1.3. Le grain de blé

Sur le plan morphologique, le grain a une forme ovoïde de coloration blanchâtre à brunâtre avec un sillon sur la face ventrale, il est de taille de 6.5 à 8.5 mm de long et son diamètre de 3 à 4mm (**Belay, 2006**). Selon **Feillet (2000)**, **Fredot (2005)** histologiquement du grain de blé dur est formé de trois types de tissus (Figure 03) :

➤ **Le germe** : (3%), composé d'un embryon (lui-même formé de la coléoptile, de la gemmule, de la radicule, du coléorhize et de la coiffe) et du scutellum.

➤ **Les enveloppes** : de la graine et du fruit, formées de six tissus différents : épiderme du nucelle, tégument séminal ou testa (enveloppe de la graine), cellules tubulaires, cellules croisées, mésocarpe, épicarpe (13-17%).

➤ **L'albumen** : constitué de l'albumen amylicé et de la couche à aleurone (80-85% du grain).



**Figure 03** : Anatomie du grain de blé (Feillet, 2000).

## I.5.2. Le cycle de développement du blé dur

En général, toutes les céréales ont le même cycle de développement. Selon **Soltner (1987)** ; **Bouffenaar et al., (2006)** le développement représente l'ensemble des modifications phénologiques qui apparaissent au cours du cycle de la culture. Trois périodes repères caractérisent le développement du blé à savoir : la période végétative, reproductrice et période de formation du grain et maturation (Figure 04).

### I.5.2.1. La période végétative

Elle débute par le passage du grain de l'état de vie ralentie à l'état de vie active au cours de la germination qui se traduit par l'émergence de la radicule et des racines séminales et celle de l'élongation de la coléoptile (**Bouffenaar et al., 2006**).

Elle se caractérise par un développement strictement herbacé et s'étend du semis jusqu'à fin tallage avec une croissance complètement végétative. Elle se divise en trois stades :

#### ➤ **Stade de semis**

L'installation d'une culture de blé est très importante puisqu'elle conditionne le développement et la croissance des plantes. Le succès de cette installation dépend: du choix de la variété, adaptée au climat et au sol de la zone, de la date du semis, de la densité de semis et de la profondeur de semis. Les systèmes de cultures ont favorisé divers types de blé:

❖ Le blé d'hiver est semé à l'automne. Il caractérise les régions méditerranéennes et tempérées;

❖ Le blé de printemps est semé au printemps dans les pays à hiver plus rude.

## ➤ **Stade germination – levée**

La germination, la levée de dormance ou l'embryogénèse tardive, est la première phase du développement d'une plante (**Tourte et al., 2005**), dans laquelle la graine retourne à la vie active après une période de dormance (**Soltner, 2005**).

Lors de la germination, l'embryon augmente dans le volume par le phénomène d'hydratation et l'utilisation des réserves qui dégagent progressivement les enveloppes qui l'entourent (**Binet et Brunel, 1999**).

## ➤ **Stade levée-tallage**

Dès que la première feuille a percé la coléoptile, ce dernier s'arrête de croître et se dessèche. La première feuille fonctionnelle s'allonge, puis la deuxième, la troisième et la quatrième toutes en positions alternées (**Boulal et al., 2007**).

Le tallage est un mode de développement propre aux graminées, il débute à la troisième feuille lorsqu'un renflement apparaît à 2 cm de la surface du sol (Figure 04), c'est le futur plateau de tallage (**Grandcourt et Prats, 1970 ; Hamadache, 2013**).

A partir du stade 3-4 feuilles, une première tige (talle) apparaît à l'aisselle de la première feuille de la tige principale (**Boulal et al., 2007**).

### **I.5.2.2. La période reproductrice**

C'est la formation et la naissance de l'épi. Le début de cette phase est marqué par une différenciation de l'ébauche d'épillet sur l'apex. Ce stade marque la fin de la période végétative et l'acheminement vers la fonction de reproduction (**Bouffenaar et al., 2006**).

## ➤ **Stade montaison - gonflement**

La montaison débute à la fin du tallage, elle est caractérisée par l'allongement des entre nœuds et la différenciation des pièces florales (Figure 04).

À ce stade, un certain nombre de talles herbacées commence à régresser alors que, d'autres se trouvent couronnées par des épis. Pendant ce stade de croissance active, les besoins en éléments nutritifs notamment en azote sont accrus (**Mazouz, 2006**).

La montaison s'achève à la fin de l'émission de la dernière feuille et des manifestations du gonflement que provoquent les épis dans la gaine (**Clement et al., 1970**).

## ➤ **Stade épiaison – floraison**

Durant l'épiaison, les épis apparaissent à l'extérieur des tiges. Ce stade est terminé lorsque l'épi du maître brin est complètement sorti hors de la gaine. La fécondation et l'anthèse suivent de quelques jours l'épiaison (Figure 04). Les épis dégainés fleurissent généralement entre 4 à 8 jours après l'épiaison (**Bahlouli et al., 2005**).

La précocité de l'épiaison et de la floraison sont un facteur très recherché dans les environnements où les facteurs limitant hydriques et thermiques sont souvent une contrainte pendant la période de remplissage des grains (**Boulal et al., 2007**).

## ➤ **Stade de remplissage du grain**

Après la fécondation, l'évolution du poids du grain se fait en trois étapes

❖.La première est une phase de multiplication des cellules du jeune grain encore vert, dont la teneur en eau est élevée.

❖ La phase de remplissage actif du grain avec les assimilats provenant de la photosynthèse de la feuille étendard et du transfert des hydrates de carbones non structuraux stockés dans le col de l'épi. La quantité d'eau contenue dans le grain tend à se stabiliser : c'est le pallier hydrique. 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 : c'est l'échaudage du grain (**Hamadache, 2013**).

❖ La phase de dessèchement du grain, qui perd de son humidité pour atteindre son poids sec final (**Wardlaw, 2002**).

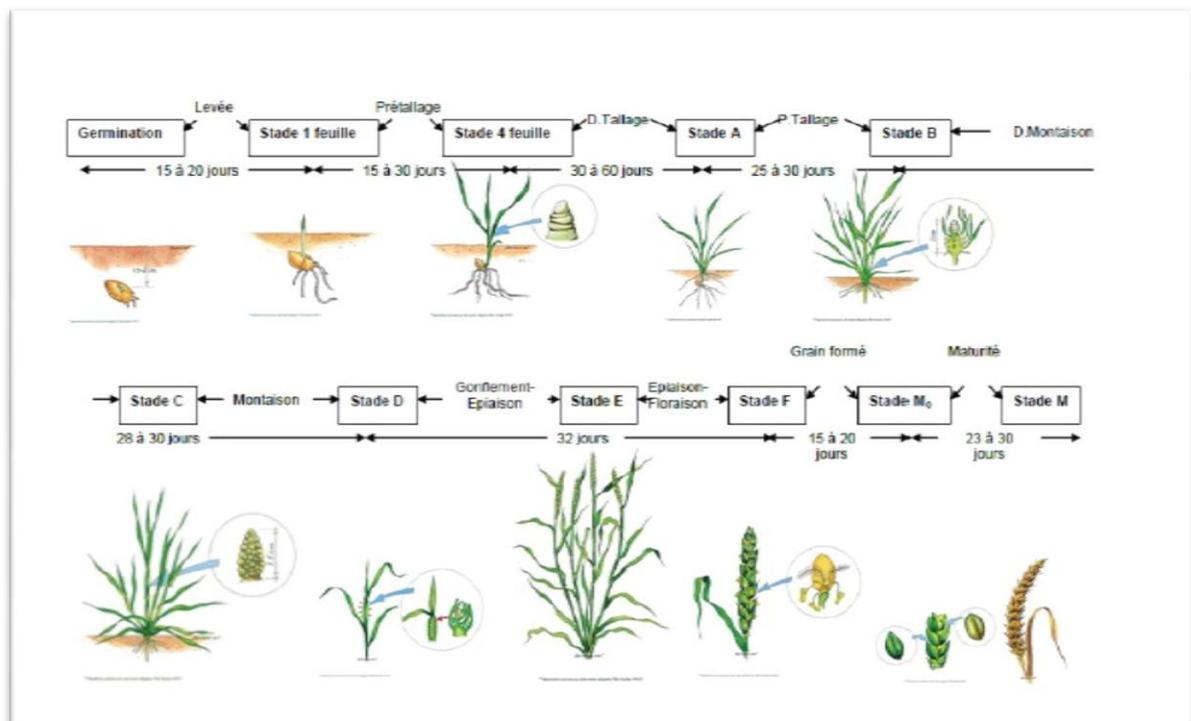
## I.5.2.3. La période de maturation

### ➤ Stade de grossissement du grain

Durant cette phase, l'embryon se développe et ainsi l'albumen se remplit par des substances de réserve, c'est la phase laiteux dont le grain s'écrase facilement (**Bouffenaar et al., 2006**).

### ➤ Stade de Maturation

C'est la dernière phase du cycle végétatif, la maturation correspond à l'accumulation de l'amidon dans les grains puis à leur perte d'humidité (**Soltner, 2005**). Le poids des grains continue d'augmenter contrairement au poids des tiges et feuilles (Figure 04). Elle se termine par le stade pâteux des grains (l'écrasement du grain à ce stade formant une pâte) (**Bouffenaar et al., 2006**). En fin le stade de maturité physiologique dont le grain devient dur et accepte leur couleur jaunâtre (**Boulal et al., 2007**).



**Figure 04** : Le cycle de développement de blé (**Soltner, 2005**).

## I.6. Les exigences pédoclimatiques du blé dur

### ❖ Le sol

Selon **Soltner (2000)**, **Bennasseur (2003)**, **Boulal et al., (2007)** le blé dur préfère les sols du type argilo-calcaire ou limoneux à limono-argileux à cause de son système racinaire fasciculées. Les sols qui conviennent le mieux au blé dur sont :

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

### ❖ Le climat

Les facteurs climatiques ont une action prépondérante sur les différentes périodes de la vie du blé. Ils imposent une limite à l'expression du potentiel de production des cultivars utilisés (**Amokrane et al., 2002**).

Le climat algérien se caractérise principalement par la variabilité intra et inter-annuelle des précipitations et du régime thermique (**Mekhlouf et al., 2006**).

### ❖ La température

La température est un facteur important pour la nitrification et l'activité végétative du blé. Selon **Ezzahiri (2001)**, **Boulal et al., (2007)** le zéro de germination très bas de blé est de 0 °C et la température optimale à partir de laquelle, la croissance est considérée comme maximale pour le blé est généralement de 20 °C.

En outre, le blé dur est moins sensible à la température durant sa phase végétative par rapport à sa phase reproductrice (**Boulal et al., 2007**).

### ❖ La lumière

La lumière est le facteur qui agit directement sur le bon fonctionnement de la photosynthèse et le comportement du blé (**Bennasseur, 2003**). En effet, un bon tallage est

garanti, si le blé est placé dans les conditions optimales d'éclairement (**Soltner, 1990**). Une certaine durée du jour (photopériodisme) est nécessaire pour la floraison et le développement des plantes.

## ❖ L'eau

L'eau constitue le véhicule des éléments nutritifs et avec lequel s'effectuent les différentes réactions métaboliques, ce qui le rend par conséquent indispensable pour le développement et la croissance de la plante. D'après **Moule (1980)** pour assurer un rendement intéressant le blé a besoin de 550 à 600 mm de pluie, selon le climat et la longueur du cycle végétatif.

Selon **Bonnefoy et Moynier (2014)** les besoins en eau de la culture du blé varient comme suit :

- ✓ Durant la phase (épis 1 cm – 2 nœuds), d'une durée de 20 à 25 jours, elle est de 60 mm.
- ✓ Durant la phase (2 nœuds – floraison), d'une durée de 30 à 40 jours, elle est de 160 mm.
- ✓ Durant la phase (floraison - grain laiteux), d'une durée de 20 à 25 jours, elle est de 140 mm.
- ✓ Durant la phase (grain laiteux – maturité), d'une durée de 15 à 20 jours, elle est de 90 mm.

## I.7.Principales variétés de Blé dur cultivées en Algérie

Les variétés de blé dur homologuées dont les semences peuvent être produites et commercialisées en Algérie sont éditées par le CNCC sur le bulletin des variétés 'céréales' de l'année 2009, on compte au total 29 variétés à savoir : les variétés locales et les variétés introduites. Les variétés les plus cultivées en Algérie, sont : les variétés locales : Bidi17, Cirta, Gloire de Montgoflier , Guemgoum R'khem, Mohamed ben Bachir, Raouia, Hadba 3, Taslemt et les variétés introduites : belikh02, Bolenga, Bousseleme, Cannizo, Capieti cham 3, chen's Ciccio, Colesseo, Crioca, Durbel, Eider, GTA dur kebir ,Ofanto , Orjaune, Oum Rabi ,Poggio, Polonicom, Sebaou, Siméto, Tassili ,vitron et waha (**CNCC, 2009**).

## II.1. Les stress

Le stress est un ensemble de condition qui provoque des changements de processus physiologique résultant éventuellement en dégâts dommages, blessures, inhibition de croissance ou de développement de la plante (Menacer, 2007 ; Kherfi et Brahmi, 2011).

## II.2. Les catégorie de stress

### II.2.1. Stress biotique

La culture de blé est exposée à différentes contraintes biotiques causées par les organismes vivants. Le stress biotique contribue dans la situation diminution la productive de la plante (Kazi et al., 2013).

#### II.2.1.1. Les maladies principales du blé dur

Le blé peut être attaquée par de multiple maladies durant son cycle de développement, et peut subir des pertes de rendement importantes, surtout lorsque la variété utilisée est sensible et que les conditions de l'environnement sont favorables au développement des agents pathogènes et particulièrement les agents cryptogamiques qui causent des dégâts importants (Aouali et Douici-Khalfi, 2013).

Amrani (2013), Brunner et al., (2013) les principales maladies du blé dur sont :

- ✓ L'Oïdium (*Erysiphegraminisf.sp.tritici*).
- ✓ La Fusariose (*Fusarium roseum* et *Microdochium nivale*).
- ✓ La Septoriose (*Septoria tritici* et la *Septoria nodurum*).
- ✓ Piétin verse (*Tapesia yallundae* et *Tapesia acuformis*).
- ✓ La Rouille jaune (*Puccinia striiformis f.sp. Tritici*).
- ✓ La Rouille brune (*Puccinia recondita f.sp.tritici*).

### II.2.2. Stress abiotique

Les plus importantes de ces contraintes , suite aux rôles majeurs qu'elles jouent dans les fonctions essentielles de la plante, sont la variation de la précipitation , de la température , de l'humidité du sol et de l'air ambiant, de la salinité, certains stades végétatifs sont particulièrement sensibles à ces contraintes abiotiques donc les stress se traduisent chez les

plantes par des changements morphologiques, physiologiques et moléculaires qui affectent leur croissance et leur productivité (**Wangxia et al., 2003**).

## II.2.2.1. Les type de stress abiotique

### II.2.2.1.1. Le stress thermique

La variation des températures affecte, au même titre que le manque d'eau, la croissance et le développement de la plante. Certains stades végétatifs et périodes du cycle de développement sont particulièrement plus sensible à ces événements climatiques (**Gate et al ; 1997 ; Mekhlouf et al., 2006**).

Le stress thermique est défini par un déséquilibre physiologique suite à la hausse ou la baisse de températures, ces dernières lorsqu'elles durent a un temps suffisant endommagent irréversiblement la croissance ou le développement des plantes. Les plantes peuvent être endommagées de différentes manières, soit par des températures basses ou élevées du jour ou de nuit, par l'air chaud ou froid ou par les températures élevées du sol.

La contrainte thermique est une fonction complexe qui varie selon l'intensité, la durée et les taux d'augmentation ou de diminution de la température (**Oukarroum, 2007**). La température optimale pour le développement et le remplissage du grain des céréales d'hiver varie de 12 à 15 C° (**Wardlawet al., 1994**). Une diminution de 3 à 5% du poids du grain pour chaque degré centigrade d'augmentation de la température à partir de la base des 15°C, est notée.

### II.2.2.1.2. Le stress salin

Selon **Munns et al., (2006)** la salinité représente l'accumulation des sels dissous dans la solution du sol à un niveau qui inhibe la croissance et le développement des plantes. On compte généralement deux formes de salinité : primaire et secondaire.

Le stress salin est une brusque augmentation de la concentration en sels qui conduit d'un part, un afflux plus élevé d'ions dans la cellule suite à la chute de la concentration du milieu externe, d'autre part, à une perte d'eau par voie osmotique. Une abondance de sels dissous s'observe bien sur en milieu marin, mais aussi dans beaucoup de milieux terrestres (**Ben Hebireche et Djafour, 2011**).

## II.2.2.1.3. Le stress hydrique

Le manque d'eau, déficit hydrique ou la sécheresse 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**).

Le stress hydrique peut se définir comme le rapport entre la quantité d'eau nécessaire à la croissance de la plante et la quantité d'eau disponible dans son environnement, sachant que la réserve d'eau utile pour la plante est la quantité d'eau du sol accessible par son système racinaire (**Laberche, 2004**).

La demande en eau de la plante est quant à elle déterminée par le niveau de transpiration ou évapotranspiration, ce qui inclut les pertes d'eau tant au niveau des feuilles qu'au niveau du sol (**Laberche, 2004**). 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.2.2.1.3.1. Les effets de stress hydrique

Ce stress se traduit par une série de modification qui touche les caractères morphologiques, physiologiques et biochimiques, à partir du moment où les besoins en eau de la plante sont supérieurs aux quantités disponibles (**Mefiti et al., 2000**).

L'effet de ce stress dépend de son degré, sa durée, du stade de développement de la plante, du génotype et son interaction avec l'environnement (**Yokota et al., 2006**).

#### ❖ La photosynthèse

Parmi les modifications physiologiques liées au stress hydrique, la régulation stomatique qui influe sur la photosynthèse et la respiration, est la plus importante. Plusieurs travaux permettent de voir comment les organes végétaux sont affectés par le manque d'eau.

La baisse du potentiel hydrique de la plante se traduit principalement par une diminution de la pression de turgescence puis une régulation stomatique. Donc un stress hydrique, en provoquant la fermeture des stomates se traduit par un ralentissement de la photosynthèse en même temps que la transpiration (**Teulat et al., 1997**). La sécheresse menace la capacité de la plante à maintenir sa photosynthèse (**Escalona et al., 2012**).

## ❖ L'alimentation minérale

Le déficit hydrique induit un déficit de nutrition azotée qui provient principalement des réductions de flux d'azote au niveau des racines et de la réduction des échanges entre les parties aériennes et racinaires du fait de la chute de la transpiration (**Dugo, 2002**).

Le facteur d'aridité peut affecter la nutrition phosphatée dans les zones semi-arides en réduisant de manière drastique les possibilités de désorption des ions phosphate depuis la phase solide du sol et de leur transfert vers la racine. En effet 95% du phosphore prélevé doit être désorbé avant d'être transféré vers la plante (**Dugo, 2002**).

## ❖ La croissance des organes reproducteurs

De la même manière que pour les organes végétatifs, la croissance des jeunes organes reproducteurs (ovules, fleurs puis graines) ainsi que leur nombre (défini par des processus de ramification) sont limités en cas de déficit hydrique. Il en résulte une réduction du nombre de grains, qui aura un effet sur le rendement même si les conditions hydriques redeviennent favorables (**Sahraoui, 2011**).

## ❖ La croissance végétative

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 (**Sahraoui, 2011**).

Un manque d'eau précoce affecte principalement la croissance importante de la taille, de la longueur des entre nœuds, du nombre de feuilles voire de la surface foliaire et des racines (**Attia, 2007**). Les plantes soumises à un déficit hydrique voient généralement leur sénescence foliaire s'accélérer; et une perte trop importante d'eau peut conduire à la mort des cellules (**Bouchabke et al., 2006**).

## ❖ Le rendement et la composition du grain

Selon le positionnement dans le cycle de développement et l'intensité de la contrainte hydrique, les stress hydriques influencent les rendements ainsi que la composition biochimique des graines. Un déficit hydrique après la fécondation réduit la taille des organes et s'il se poursuit pendant la phase de remplissage, il affecte leur composition.

Les différents métabolismes étant inégalement affectés par le déficit hydrique (le métabolisme carboné l'est davantage que le métabolisme azoté), les concentrations relatives des différents composés sont modifiées : un manque d'eau induit généralement une baisse des teneurs en amidon et en huile des graines, et une augmentation des teneurs en protéines (**Hireche, 2006**).

Le déficit hydrique, de nature intermittente, est une des principales causes des pertes de rendement du blé dur, pouvant aller jusqu'au sinistre total. Il affecte toutes les composantes du rendement et en particulier le nombre de grains par épi et le poids moyen du grain (**Chennafi et al., 2006**). Ceci se répercute sur le rendement économique de la culture, qui peut baisser de plus de 80% (**Sahraoui, 2011**).

### II.2.2.1.3.2 Les stratégies d'adaptations au stress hydrique

L'adaptation d'une plante à une contrainte hydrique peut être définie, du point de vue physiologique, par sa capacité de survivre et à s'accroître et du point de vue agronomique, par l'obtention d'un rendement plus élevée que celui des plantes sensibles (**Madhava et al., 2006**).

Pour lutter contre le manque d'eau, les plantes développent plusieurs stratégies adaptatives qui varient en fonction de l'espèce et des conditions du milieu par plusieurs mécanismes de résistances Esquive, évitement et tolérance (**Bennaceur et al., 2001 ; Bouatrous et al., 2009**). Ces dernières interagissent pour permettre le maintien de la croissance, du développement et de la production (**Passioura, 2004**).

#### II.2.2.1.3.2.1. La stratégie d'esquive

L'esquive du stress, la plus rencontrée et utilisée en amélioration des plantes, est certainement la précocité ou le raccourcissement de la durée du cycle de développement, qui est d'un avantage certain dans les milieux où le stress est plus intense vers la fin du cycle de la

culture (Richards et al., 2002 ; Mekhlouf et al., 2006 ; Rebetzke et al., 2007 ; Hadad, 2009).

L'exploitation de l'esquive comme stratégie d'adaptation aux stress s'est faite dans le contexte agricole en cherchant à faire coïncider le développement de la culture ou du moins les phases les plus sensibles avec les périodes où le stress est moins intense (Witcombe et al., 2009).

Ceci s'est fait par des études de l'influence de la variabilité de la durée des phases de développement sur la productivité de la plante, dans le but de déduire la durée la plus optimale pour que les stades sensibles puissent se réaliser à des périodes où les risques de stress sont moins pénalisants (Witcombe et al., 2009).

## II.2.2.1.3.2.2. La stratégie d'évitement

Cette stratégie consiste à empêcher que la plante soumise à des conditions hydriques défavorables ne subisse un stress hydrique trop important. Ces adaptations réduisent le risque de perte de rendement, mais ont le plus souvent un coût en terme de rendement maximum (Jean-pierre et al., 2006). Les mécanismes d'évitement sont de type morphologique et physiologique :

### ➤ Adaptation morphologiques

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

### ❖ Réduction de la croissance foliaire

Les plantes adaptent leur architecture pour tolérer le stress hydrique, cela se réalise par un ralentissement de la croissance des feuilles ou bien par réduction de la surface foliaire. Il s'est avéré que ces deux mécanismes sont plus importants que la réduction de la photosynthèse (Hervieu et Guillou, 2001).

Chez le blé, l'enroulement foliaire observé chez certaines variétés résistantes peut être considéré comme un indicateur de perte de turgescence en même temps qu'un caractère d'évitement à la déshydratation, il entraîne une diminution de 40 à 60 % de la transpiration (**Amokrane *et al.*, 2002**).

Du fait que le grandissement cellulaire intervenait suite à une entrée d'eau qui, après la relaxation du stress de la paroi cellulaire, provoquait la pleine turgescence des cellules, donc un apport réduit de l'eau se traduit par la réduction de la croissance (**Hopkinsw, 2003**).

### ❖ Développement racinaire accru :

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'augmentation de l'absorption peut être due à l'extension de l'absorption en profondeur et en surface, à la vitesse de croissance et de ramification des racines (**Laurent et Sané, 2007**). L'absorption d'eau est maximisée par un ajustement autrement dit, un investissement élevé au niveau des racines (**Jackson *et al.*, 2000**).

### ➤ Adaptation physiologique

#### ❖ L'état hydrique de la plante

La caractérisation du statut hydrique d'une plante pourrait passer par la seule évaluation de la teneur relative en eau. **Clarke et Craig (1982)** attirent l'attention sur l'utilisation de la teneur relative en eau comme indicateur de l'état hydrique de la plante sous stress.

La diminution du potentiel hydrique du sol en conditions de sécheresse ou de salinité provoque une perte importante de la turgescence au niveau de la plante (**Benderradji *et al.*, 2010**). L'augmentation de la production, dans ces conditions, dépend des mécanismes de tolérance qui assurent l'hydratation cellulaire et diminuent la perte en eau en maintenant un statut hydrique favorable au développement foliaire (**Bouatrous *et al.*, 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 (Sorrells *et al.*, 2000 ; Bousba *et al.*, 2009).

## ❖ Fonctionnement stomatique

Dans le cas du blé, de nombreux auteurs ont mis en avant l'intérêt d'une stratégie de conservation de l'eau, basée notamment sur un mécanisme de régulation stomatique permettant d'économiser l'eau, pour allonger la durée effective de photosynthèse et de fonctionnement du couvert (Slama, 2002).

La fermeture stomatique permet la diminution de la transpiration peut engendrer une réduction de la photosynthèse (Ykhlef, 2001 ; Hopkinsw, 2003). La régulation de la conductance stomatique reste le mécanisme majeur intervenant à court terme pour limiter les pertes d'eau: le potentiel hydrique foliaire sera maintenu d'autant plus long temps que la fermeture des stomates est précoce (Maury *et al.*, 2011).

L'augmentation du nombre de stomates par unité de surface pourrait être un des facteurs de résistance au déficit hydrique chez les céréales si elle est accompagnée par une bonne activité physiologique (Salama, 2000). L'accroissement de la densité stomatique peut augmenter l'assimilation nette du CO<sub>2</sub> et diminuer la perte en eau. En effet, un nombre élevé de stomates peut engendrer des stomates de petite taille et à fermeture rapide (Benhamou, 2009).

### II.2.2.1.3.2.3. La stratégie de tolérance

Cette stratégie consiste à maintenir les fonctions de la plante, croissance, transpiration et la photosynthèse, malgré le déficit hydrique (Jean-pierre *et al.*, 2006).

La tolérance à la déshydratation implique des mécanismes intracellulaires qui visent à préserver l'intégrité structurale et fonctionnelle des tissus lorsque le potentiel hydrique diminue (Laurent et Sané, 2007).

Dans le cas d'un abaissement du potentiel hydrique, s'exprime par un maintien de la turgescence (Garg *et al.*, 2002 ; Moinuddin *et al.*, 2005) grâce au phénomène d'ajustement osmotique.

## ➤ Accumulation de la proline

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 la proline constitue aussi un véritable mécanisme de tolérance à la salinité et la déficience en eau (**Slama et al., 2004**). En effet, la teneur en proline est plus élevée en cas de déficit hydrique et, en particulier, chez les génotypes les plus résistants à la sécheresse (**Salama, 2000**).

L'existence chez les céréales d'une variation intra-spécifique pour l'accumulation de la proline sous l'effet du déficit hydrique suggère la possibilité d'une sélection, sur la base de ce caractère, des génotypes qui auront une bonne capacité à survivre et un rendement en grains stable en conditions hydriques limitant (**Bergareche et al., 1992**).

## ➤ L'accumulation des sucres solubles

L'accumulation des sucres solubles est un moyen adopté par les plantes en cas de stress, afin de résister aux contraintes du milieu (**Mouellef, 2010**).

Les sucres solubles protègent les membranes contre la déshydratation, en condition de déficit hydrique, ils participent en grande partie à l'abaissement du potentiel osmotique chez le blé. Les plantes stressées ont réagi par l'augmentation des quantités de sucres solubles au niveau de leurs cellules (**Hireche, 2006**). Cette augmentation est en réalité une confirmation des résultats des chercheurs qui ont affirmé que le déficit hydrique a causé une accumulation importante des sucres solubles au niveau des feuilles (**Zerrad et al., 2006**).

Différents sucres solubles peuvent être présents dans les tissus bien hydratés, mais le saccharose est préférentiellement accumulé dans les tissus en déshydratation. (**Dubos, 2001 ; Sairam et tyagi, 2004**). L'accumulation des sucres solubles peut résulter d'une augmentation de l'hydrolyse de l'amidon puisqu'ils ont enregistré, simultanément, une diminution de l'amidon et une accumulation de sucres solubles dans les tissus stressés (**Bouchelaghem, 2012**).

## III.1.Modèle et modélisation

Dans le cadre de la modélisation, le système étudié est appelé système primaire. Un modèle est une représentation de la réalité et le modèle est appelé système secondaire. Par définition un modèle est une simplification de la réalité car s'il en avait tous les attributs, il s'agirait non plus d'un modèle mais de la réalité (Toutain et Bousquet-Mélo, 2007 in Moumni 2013).

### III.1.1.La Modélisation

C'est l'opération de construction d'un modèle. L'élaboration d'un modèle est motivée par un ensemble des questions auxquelles ce modèle doit contribuer à répondre. Elle se traduit par un choix, celui des variables que le concepteur jugera importante (Baron, 2007 in Moumni, 2013).

### III.1.2. Le Modèle

Un modèle est une représentation partielle du fonctionnement d'un système (Baron, 2013 in Moumni, 2013). Dans le domaine scientifique, un modèle est donc une construction matérielle ou abstraite « ressemblant » à l'objet modélisé, selon un certain nombre de caractéristiques pertinentes au regard des données disponibles et de l'objectif poursuivi (Sanchez et Prieur, 2005 in M'Hamadia et Lamri, 2015).

### III.1.3.L'objectif de modèle

Schématiquement, la modélisation peut avoir trois objectifs :

- a- Décrire (résumer) les données.
- b- Prédire (simuler), c'est-à-dire faire des inférences.
- c- Expliquer (comprendre), c'est-à-dire avoir des objectifs mécanistiques.

Selon que l'on souhaite parvenir à l'un ou l'autre de ces objectifs, la modélisation sera réalisée selon des modalités différentes (Toutain et Bousquet-Mélo, 2007 in Ghodbane et Meguellati, 2017).

## III.1.4. Les étapes de la modélisation

Selon **Toutain et Bousquet-Mélo (2007)** in **Ghodbane et Meguellati (2017)** La modélisation se déroule en 5 grandes étapes :

- a- On se fixe les objectifs de la modélisation.
- b- On fait l'inventaire des informations :
  - Données externes (loi, théorie, bibliographie).
    - axiomes (vérités indémontrables).
    - hypothèses.
  - Données expérimentales.
- c- On réalise un modèle (spécifications, construction en fonction des axiomes et hypothèses).
- d- On identifie les paramètres du modèle.
- e- On valide en confrontant le modèle à la réalité.

On tire des conclusions compte tenu des interactions entre ces différentes étapes, le processus est itératif.

## III.1.5. La modélisation agronomique

Pour évoluer vers une agriculture plus durable, il est nécessaire de concevoir des nouveaux systèmes de culture répondant au mieux à la multiplicité des objectifs, économiques, environnementaux et sociaux. La modélisation est devenue l'outil incontournable qui permet de connaître, comprendre, inventer et partager ces nouvelles manières de produire (**Mollier et al., 2013**).

La recherche agronomique utilise de nombreux modèles déterministes pour décrire le développement de cultures (**Dickenstein et Emiris, 2005**).

Dans les régions où les conditions environnementales rendent les décisions de production incertaines, les modèles ont été utilisés avec succès pour analyser les pratiques agronomiques (**Lyon et al., 2003**).

## III-2- Modèle de culture

Le développement de l'informatique a permis l'essor des « modèles de culture », reproduisant le comportement d'une culture et sa réponse à diverses contraintes du milieu modulées par des actes techniques (**Affholder, 2001**).

Les modèles des cultures, nés il y a 25 ans, sont très utilisés en agronomie (**Brisson, 2002**). Ils simulent le fonctionnement dynamique du système sol-couvert végétal, dont le pas de temps est le plus souvent journalier, c'est-à-dire qu'ils décrivent l'état du système chaque jour (**Barbottin, 2004**). Les premiers travaux dans ce domaine ont porté sur la simulation des flux hybrides dans le système sol-plante-atmosphère, dans le but d'optimiser la gestion de l'irrigation (**Hanks et al., 1969**).

## III-2-1-Définition

L'ensemble sol-couvert végétal constitue le système modélisé (**Garcia, 2006**). L'atmosphère au voisinage du système est en général appréhendée comme la condition limite supérieure et représentée par un ensemble de variables climatiques issues de mesures standards (stations météorologiques) ayant une fonction de forçage (**Brisson et al., 2005**). Les éléments constitutifs des deux sous-systèmes sol et couvert végétal varient entre les modèles selon leur genèse et leurs objectifs (**Brisson et Delecote, 1991**).

En interaction avec le système, les modèles prennent en compte les actions techniques de l'agriculteur ; leur résolution spatiale correspond au plus petit élément pour lequel on peut définir de façon déterministe un milieu physique et un itinéraire technique (**Barbottin, 2004**).

## III.2.2. Les groupes majeurs de modèle

**Bouman et ses collaborateurs (1996)** font le classement de trois groupes majeurs de modèles :

- Le groupe de modèles américains (IBSNAT) *International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer* (**Uehara et Tsuji, 1993**) ce projet qui a produit la fameuse famille des modèles CERES.

- Le groupe de modèles australiens qui a développé le simulateur de système de production agricole (APSIM) (*The Agricultural Production system SIMulator*) (**Mccown et al., 1995**).

- Le groupe de modèles hollandais qui a développé une famille décrite par **Van Ittersum ses collaborateurs (2003)**. Ces dernières années, une série de nouveaux modèles est apparue et utilisée d'une manière croissante tel que CropSyst (**Stöckle et Nelson, 1999**; **Stöckle et al., 2003**) STICS développé par l'INRA 1996. Dans notre étude, nous essayons de

tester un modèle informatique « **Acquacrop** ».L'intérêt de ces modèles est lié à leurs possibilités de représenter quantitativement, l'action combinée et dynamique des différents facteurs environnementaux sur le fonctionnement de l'ensemble de la culture.

### III.2.3. La structure générale des modèles de culture

Les modèles de culture comprennent un ensemble de variables d'entrée (climat, journalier, techniques culturales, état initial du système au démarrage de la simulation,...etc), et de variables de sortie (à la fin de la simulation) comme le rendement à la récolte, l'efficacité d'utilisation de l'eau ou de l'azote au cours du cycle de culture, entre autre (**Affholder, 2001**).

#### ➤ Les différents types de modèles :

Selon la nature des variables d'état décrites dans le modèle (température, indice de nutrition azotée, réserve en eau du sol) et les équations mathématiques simulant leur évolution, on distingue les modèles de type « mécaniste » et les modèles de type « empirique »

- ✓ Les modèles de type « **mécaniste** », décrivent et quantifient chaque processus, sur des bases physiques ou physiologique, c'est-à-dire que les équations décrivent finement les processus tels que la respiration, la croissance et le développement de chaque organe.
- ✓ Dans les modèles de type « **empirique** », (descriptive, prédictive model) décrivent quant à eux l'évolution du système au travers des relations simplifiées entre les différentes variables sans fournir d'explications sur le fonctionnement biologique ou physique. Les équations décrivant les relations sont le plus souvent obtenues à partir d'ajustements statistiques entre les différentes variables d'état mesurées.

### III.2.4. Les domaines d'utilisation des modèles de culture

Les modèles de culture rencontrée dans la bibliographie consistent à utiliser les variables simulées comme un outil de prédiction de la stabilité des génotypes pour des variables d'intérêt. Ainsi, **Mavromatis ses collaborateurs (2001)** dans une étude sur différents génotypes de soja ont montré qu'il était possible, à l'aide d'un modèle de culture, de reproduire non seulement l'effet de l'interaction entre des caractéristiques génotypiques et

l'environnement, mais de classer correctement les différents géotypes sur les environnements testés et de mesurer l'interaction de façon similaire au réel.

L'effet des caractéristiques variétales sur la production a été récemment proposé par certains modélisateurs comme une piste de travail intéressante, afin d'identifier les facteurs d'adaptabilité pour le rendement ou pour toute autre composante d'intérêt (**Shorter *et al.*, 1991 ; Saulescu et Kronstad, 1995**). Cependant l'utilisation d'un modèle de culture avec un outil de sélection permet d'étudier l'effet de gènes associés à des caractères phénotypiques sur des caractères d'intérêt tels que le rendement, sous l'influence de l'environnement (**Chapman *et al.*, 2003**).

*Partie 02*

*Etude*

*Expérimental*

*Chapitre I*

*Matériel et*

*méthodes*

## **I. Matériel et méthode**

### **I.1. les Sites de l'expérimentation**

Le choix de la zone agricole est une étape importante dans la culture du blé. Elle conditionne en effet le niveau de rendement espéré, la qualité de la récolte et finalement le produit brut attendu par la culture.

L'étude a été faite pendant La campagne agricole : 2015/2016 au niveau de deux champs expérimentaux en région semi aride:

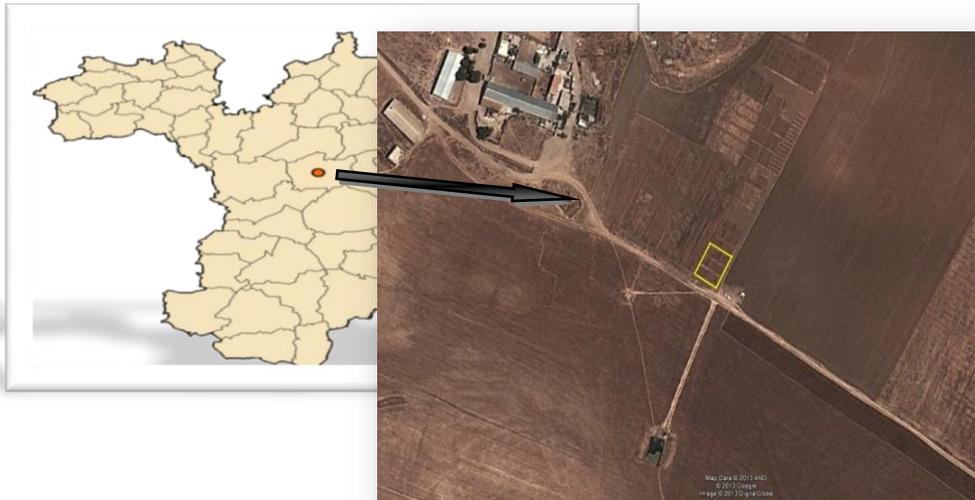
La première expérimentation a été conduite sur la station expérimentale INRAA (l'Institut National de Recherche Agronomique d'Algérie) Sétif.

La deuxième expérimentation a été conduite dans une ferme privée à la région de Chenia proche de Bordj Ghedir (Bordj Bou Arreridj).

### **I.2. Présentation des régions d'étude**

**Région 1** : l'institut national de recherche agronomique d'Algérie (INRAA) de Sétif.

Position géographique du site : 36° 15' N et 5° 37' de longitude (E), altitude : 970m. Le climat est de type semi-aride supérieur (400-500mm par an) la plus grande partie des précipitations a lieu pendant les mois d'hiver et seulement une partie minime est répartie sur le reste des mois de la campagne. Ce climat est caractérisé par des vents chauds et secs et par des températures estivales de l'ordre de 35°C (Figure 05).



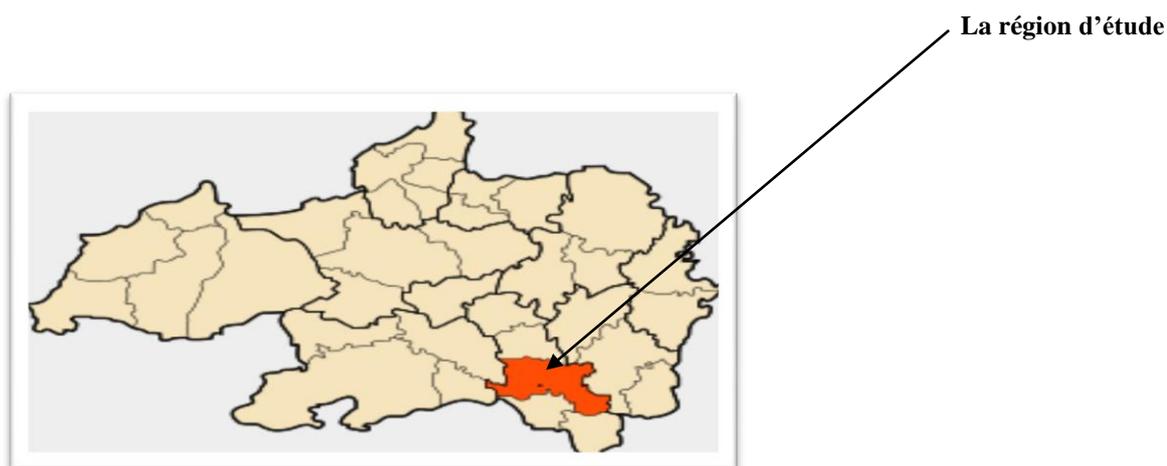
Wilaya de Sétif

**Figure 05:** Situation du site de l'expérimentation **Source:** map Oata 2013.

Les sols de la station sont localisés dans la petite vallée d'Oued Bousselem. Ils sont argilo-limoneux, de pH alcalin, avec une teneur en calcaire total, supérieure à 35%. Le sol du site expérimental se caractérise par une capacité au champ de 25%, un point de flétrissement de 12% et une densité apparente de 1,35 g/cm.

**Région 2 :** Chania de Bordj Bou Arreridj

Position géographique du site : 35° 54' N et 4° 53' de longitude (E), latitude : 1032 m. Cette région appartenant à l'étage bioclimatique semi- aride supérieur (200-400mm/an), caractérisée par un climat continental (Figure 06). Les températures sont basses au l'hiver et les précipitations abondantes sous forme de neige et de pluie, notamment pendant les mois de novembre, février et mars. L'été y est très chaud et les températures peuvent dépasser les 30 degrés. Le sol du site expérimental, de nature argileux.



**Figure 06 :** Localisation de la commune de Bordj Ghedir (Chania) dans la wilaya de Bordj Bou Arreridj.

### I.3. Matériels végétales

Le matériel végétal utilisé de la saison 2015-2016 est constitué de sept variétés de blé dur (*Triticum durum*) d'origines différentes : trois issus de sélection CIMMYT/ICARDA et quatre variétés locale (Tableau III). Les variétés sont Oued Zenati, Polonicum, Waha, Bousselem, Mexicali 75, Hoggar, Altar 84.

**Tableau III :** L'origine les sept variétés de blé dur.

N°	Variété	Code	Origine
1	Oued Zenati	OZ	Variété locale lancée en 1936
2	Altar 84	ALT 84	Variété CIMMYT lancée en 1984
3	Polonicum	POLO	Variété Locale lancée en 1973
4	Waha	WH	Variété locale, origine génétique ICARDA lancée en 1986
5	Méxicali 75	MX 75	Variété CIMMYT lancée en 1975
6	Hoggar	HG	Variété du sud de l'Espagne, sélection (ITGC de Tiaret)
7	Bousselem	BSS	Sélectionné localement, à partir de CIMMYT/ICARDA

### I.4. La description des variétés

- **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 75**

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, 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, 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, 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 à 100 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, 2012).

- **Altar 84**: est une variété CIMMYT Mexico 1992.

### I.6. Dispositif expérimental

L'essai est mis en place selon un dispositif en blocs complètement randomisés à 3 répétitions. L'essai est constitué de trois blocs, chaque bloc comporte deux lignes pour chaque variété (micro parcelle), l'espace entre les deux lignes (interligne) est égale à 20 cm, la longueur de chaque ligne est 1 m. l'espace entre les micros parcelles 40 cm et l'espace entre les blocs 1 m (figure 07, 08).

Le semis a été effectué le 21 du mois de décembre 2015, avec une densité de 250 g/m<sup>2</sup>. L'essai a été mené en plein champ, donc l'irrigation est de type pluvial. Les données climatiques durant la période de l'expérimentation, sont obtenues à partir de la station météorologique proche à chaque site expérimental.

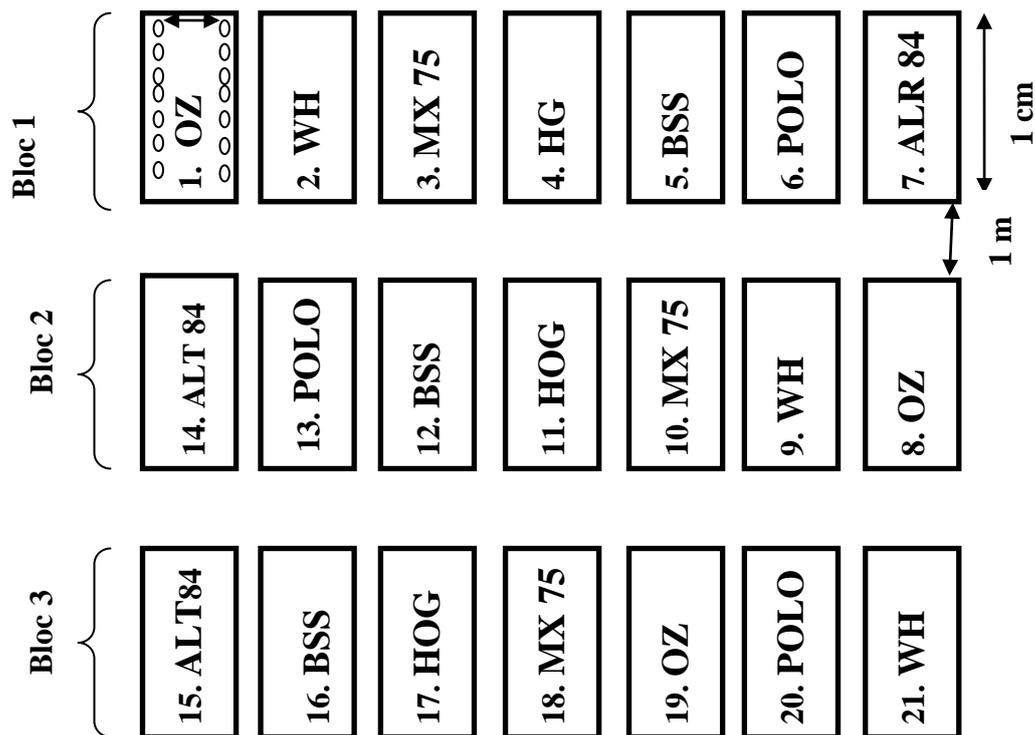


Figure 07: Schéma du dispositif expérimental de l'essai en plein champ ( région d'INRAA Sétif 2015-2016).

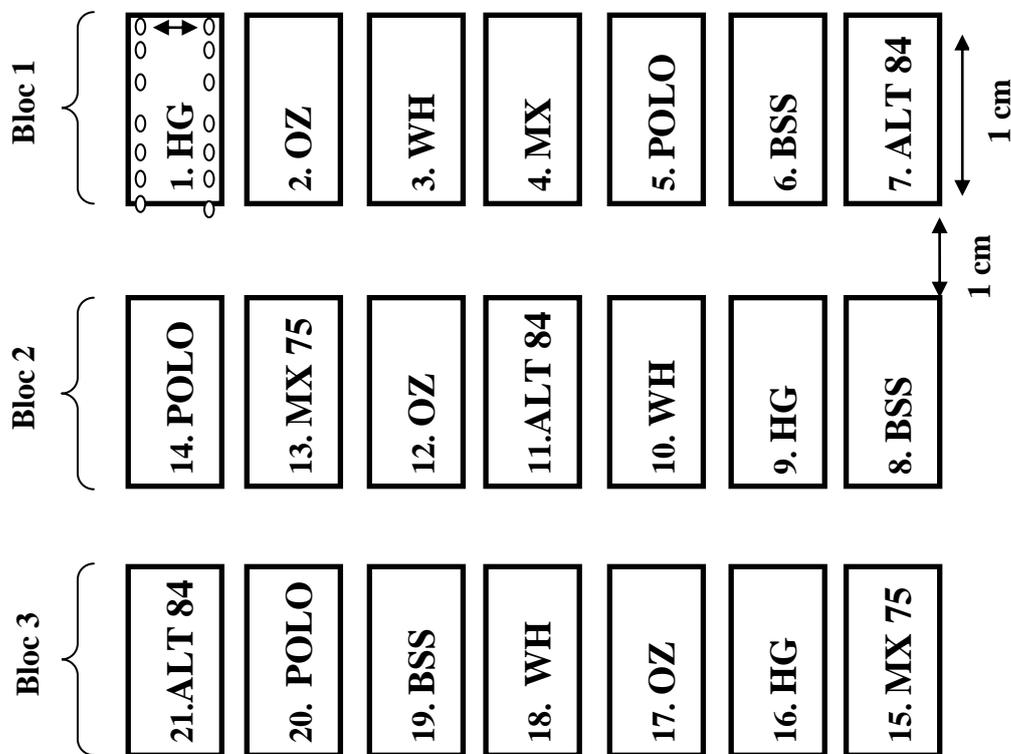


Figure 08 : Schéma du dispositif expérimental de l'essai en plein champ ( région Chania 2015-2016).

**I.7. Les paramètres étudiés**

Pour répondre aux questions et aux objectifs de ce travail, notre étude est basée sur la comparaison entre 2 régions (INRAA Sétif, Chania) en faisant le suivi et les notations des paramètres suivants :

**I.7.1. Paramètres climatiques****I.7.1.1 Température et pluviométrie**

La pluviométrie ainsi que les minimas et maximas de température sont enregistrés quotidiennement au niveau des stations météorologiques proche des sites expérimentaux.

**I.7.2. Paramètres phénologiques**

Les notations ont été effectuées par repérage, des dates et le nombre de jours, qui correspondent aux stades repères du cycle de croissance du matériel végétal étudié. Il s'agit des stades : levée, épiaison.

**I.7.2.1. La levée**

La détermination de la durée de la phase végétative en nombre de jours calendaires comptés à partir de la date du semis jusqu'au tallage.

**I.7.2.2. L'épiaison**

C'est le nombre de jours de la germination jusqu'au stade de l'apparition de l'ébauche des épis, la date de l'épiaison est notée lorsque 50 % des épis de la parcelle élémentaire sont sorties de la gaine de la dernière feuille.

**I.7.3. Paramètres agronomiques****I.7.3.1. Poids de mille grains (PMG)**

Pour mesurer ce paramètre, d'abord on détermine par pesée 250 grains de chaque variété, par la règle de trois on trouve le poids de mille graines, les résultats sont rapportés en g.

**I.7.3.2. Nombre d'épis par m<sup>2</sup>(NE)**

Pour trouver le nombre d'épis par m<sup>2</sup>, on compte le nombre d'épis en mètre linière, ce dernier est rapporté au m<sup>2</sup>.

**I.7.3.3. Nombre de grains par épi (NG /E)**

Le nombre de grains par épi a été évalué après égrenage manuel des 03 échantillons prélevés de chaque miro-parcelle.

**I.7.3.4. Nombre de grains par m<sup>2</sup> (NG/m<sup>2</sup>)**

Est estimé par la multiplication du nombre de grains par épi sur le nombre d'épis par m<sup>2</sup>

**I.7.3.5. Rendement en grains (RDT)**

La récolte a été effectuée manuellement le 05/06/2016, elle a été effectuée sur les 03 lignes médianes pour éliminer l'effet de bordure, suivie par un battage pour estimer le rendement en grain par la formule suivante :

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

Les résultats sont convertis en qx/ha.

**I.7.3.6. Biomasse aérienne**

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

**I.5.3.7. Indice de récolte (IR)**

L'indice de récolte s'agit du rapport entre le rendement grain 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.

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

### I.7.4. Paramètres morphologiques

#### I.7.4.1. La hauteur de la plante (HT)

La mesure de l'hauteur est effectuée sur les échantillons d'épis pour chaque génotype à la maturité, à partir du ras du sol jusqu'au sommet des barbes de l'épi, l'unité pour exprimer cette mesure est le centimètre (cm).

### I.7.5. Paramètres physiologiques

#### I.7.5.1. Température du couvert végétal

La température de la feuille est prélevée le 30/05/2016 sur la feuille drapeau, elle est mesurée au stade d'épiaison, à l'aide d'un thermomètre infrarouges laser (**tecpel513**) on a mesuré la température de chaque variété, la lecture en C° (Figure 09).



**Figure 09** : Le thermomètre infrarouge.

#### I.7.5.2. Teneur en chlorophylle (TC)

À l'aide d'une chlorophylle Mètre (**SPAD-502**) on a une mesure rapide de la teneur en chlorophylle au stade d'épiaison, sur les feuilles drapeaux (au milieu de la feuille), chaque mesure est répétée 3 fois dans la même parcelle d'une façon aléatoire. L'unité est en SPAD (Figure 10).



**Figure 10** : chlorophylle-mètre digital de type SPAD 502 de Minolta.

### I.7.5.3. Dosage de la proline

La proline ou acide pyrrolidine 2-carboxylique est l'un des vingt principaux acides aminés qui entrent dans la constitution des protéines. La proline est facilement oxydée par la ninhydrine ou tricetohydrindène. C'est sur cette réaction que se base le protocole de mise en évidence de la proline dans les échantillons foliaires (**El Jaafari, 1993**).

La technique de dosage de la proline utilisée est celle de **Troll et Lindsley, (1955)** simplifiée est mise au point par Dreir et Gorring 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 (CH<sub>3</sub>COOH), 25 ml de ninhydrine (H<sub>9</sub> H<sub>6</sub> O<sub>4</sub>) 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.

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

X : quantité de proline de chaque échantillon

Y : quantité de la proline dans le tube ( $\mu\text{g}$ ).

### I.8. Analyses statistique

Réalisée par les logiciels suivants :

- **Costat** : 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).
- **Statistica** : a été utilisé pour la création de table de matrice et voire les corrélations entre les paramètres mesurés version 8.0 (2007).
- **Excel** : pour la rédaction des tableaux et créations de diagrammes, courbes ....Version 2013.

### I.9. AquaCrop

#### I.9.1. Description de l'AquaCrop

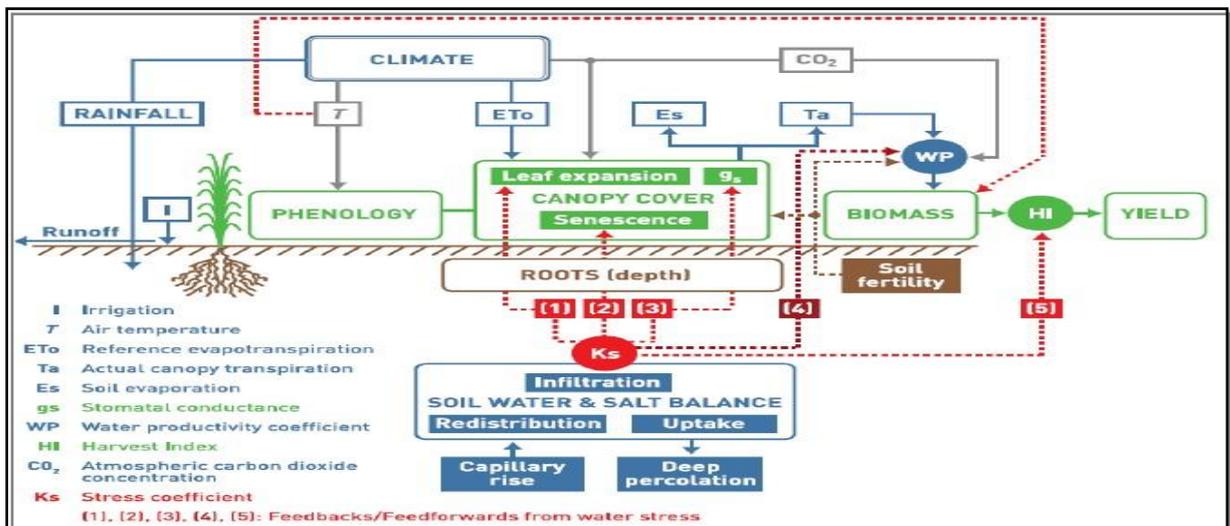
AquaCrop est un modèle de productivité des cultures et de l'eau, développé par la Division des Terre et des Eaux de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (**FAO**) depuis 1998. La FAO a élaboré AquaCrop dans un effort pour augmenter l'efficacité d'utilisation de l'eau dans la production alimentaire (**Araya et al., 2010**).

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 aussi 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**).

AquaCrop est un logiciel pour la simulation de la réponse productive des cultures herbacées à la disponibilité hydrique. « Le contenu d'eau dans la zone des racines est simulé à travers la quantification des flux d'eau en entrée et en sortie du système, considérant le sol

comme un réservoir d'eau constitué par plusieurs couches. La réponse de la culture au stress hydrique est modulée par le développement de la couverture foliaire, la conductance stomatique, la sénescence et l'indice de récolte. La simulation de la transpiration détermine l'accumulation journalière de biomasse, au moyen de la productivité de l'eau de la culture. Ce dernier paramètre est normalisé pour l'évapotranspiration de référence et pour le CO<sub>2</sub>, permettant de faire des simulations en zones et périodes différentes, ainsi que pour des scénarios climatiques futures (figure 11). AquaCrop simule l'agriculture pluviale, l'irrigation supplémentaire, déficitaire et totale » (Steduto et al., 2008).



**Figure 11 :** Organigramme d'AquaCrop indiquant les principales composantes de la relation sol-eau-plante (Steduto et al., 2008).

### I.9.2. La structure AquaCrop

Ce modèle a une structure modulaire évolutive (Figure 12). Il est organisé sous forme de plusieurs modules représentant chacun, un ou plusieurs processus liés au système sol-plante-atmosphère. Chaque module fait appel à un certain nombre de sous-programmes (ou sous-modules) traitant des mécanismes spécifiques. Le premier ensemble, intitulé « Environnement », est composé de quatre modules, et a pour but le traitement du climat, de la culture, de la gestion et du composant sol. Le second ensemble est composé de deux modules qui décrivent la période de simulation et les conditions initiales. Enfin, le troisième ensemble, dit « projet », constitue l'étape finale du traitement des données.

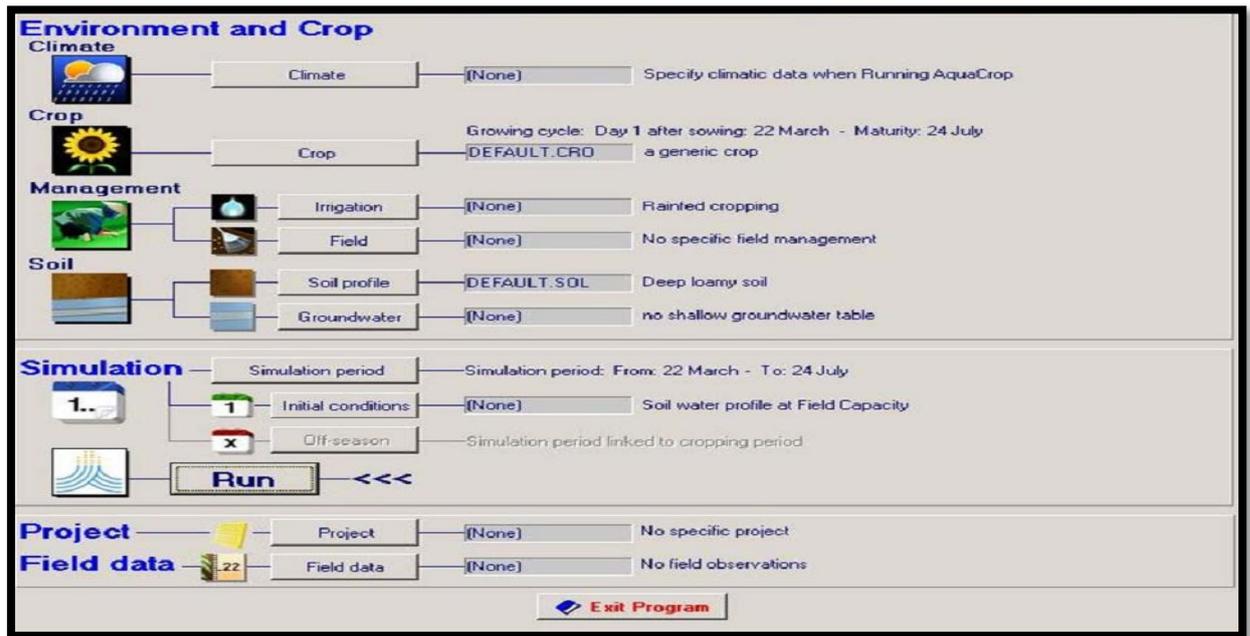


Figure 12 : les fenêtres d'AquaCrop

### I.9.3. Les données d'entrée

AquaCrop utilise relativement un petit nombre de paramètres qui peuvent être séparés en quatre catégories: le climat, la culture, la gestion et le sol (Raes *et al.*, 2009).

#### ➤ Données climatiques

Pour chaque jour de simulation, AquaCrop a besoin des températures minimale ( $T_n$ ) et maximale ( $T_x$ ) de l'air, de l'évapotranspiration de référence ( $E_{To}$ ) comme une mesure pour la demande évaporatoire de l'atmosphère, et de la pluviométrie. En plus, la concentration moyenne annuelle de  $CO_2$  doit être connue. La température influence le développement de la culture (phénologie) et si limitée la croissance et l'accumulation de biomasse. La pluviométrie et l' $E_{To}$  sont déterminants pour le calcul du bilan d'eau de la zone racinaire, et la concentration atmosphérique de  $CO_2$  affecte la productivité de l'eau de la culture.

#### ➤ Caractéristiques des cultures

Quand une culture n'est pas disponible dans la banque de données, un fichier de récolte peut être créé en spécifiant le type de cultures (fruits ou céréales, les cultures à racines et tubercules, les légumes à feuilles, ou des cultures fourragères) et la durée de son cycle de croissance. Sur la base de cette information, AquaCrop fournit des valeurs par défaut ou les valeurs de l'échantillon pour tous les paramètres requis. En l'absence d'informations plus

précises ces valeurs peuvent être utilisées. Grâce à l'interface utilisateur par défaut peuvent être ajustés.

### ➤ **Caractéristiques du sol**

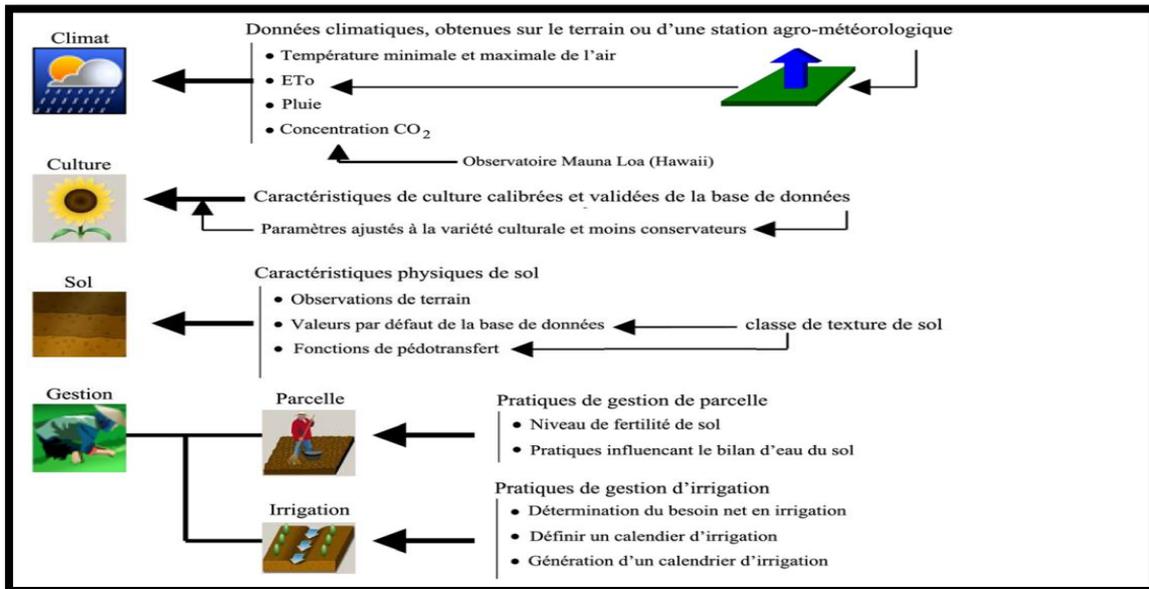
Le profil du sol peut être composé d'un maximum de cinq horizons différents de profondeur variable, chacune avec leurs propres caractéristiques physiques. Les caractéristiques hydrauliques sont considérés comme la conductivité hydraulique à saturation ( $K_{sat}$ ) et la teneur en eau du sol à saturation ( $\theta_{sat}$ ), la capacité au champ ( $\theta_{fc}$ ), et au point de flétrissement permanent ( $\theta_{PWP}$ ). L'utilisateur peut utiliser les valeurs indicatives fournies par Aqua Crop pour différentes classes de texture du sol, ou l'importation déterminée localement ou dérivée des données de la texture du sol à l'aide de fonctions de pédo-transfert.

### ➤ **Pratiques de gestion**

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

Dans les pratiques de gestion des champs il y a des choix de niveaux de fertilité du sol et les pratiques qui affectent l'équilibre hydrique du sol comme paillage pour réduire l'évaporation du sol, diguettes en terre pour stocker l'eau sur le terrain, et les pratiques culturales telles que le buttage du sol ou contours réduisant le ruissellement de l'eau de pluie.

Dans la gestion de l'irrigation c'est à l'utilisateur de choisir si la culture est pluviale ou irriguée. Il existe également des options pour évaluer le besoin en irrigation net et de générer des programmes d'irrigation en fonction du temps spécifié et les critères de profondeur. Étant donné que les critères pourraient changer au cours de la saison, le programme fournit les moyens de tester des stratégies d'irrigation déficitaire en appliquant des quantités d'eau choisi à divers stades de développement des cultures.



**Figure 13:** Données d'entrée définissant l'environnement dans lequel la culture va se développer (Raes *et al.*, 2009).

#### I.9.4. Données de sortie du modèle AquaCrop :

AquaCrop génère après chaque simulation 5 fichiers de sortie qui sont:

**ProjetRun.OUT:** qui donne le résumé général des résultats de simulation.

**ProjetCrop.OUT:** qui donne le résumé des informations de simulation relatives à la culture.

**ProjetComp.OUT:** qui donne le résumé des résultats de simulation de teneur en eau relatifs aux différents compartiments de sol.

**ProjetProf.OUT:** qui donne le résumé des résultats de simulations relatives à la teneur en eau totale contenue dans le profil à différents états.

**ProjetWabal.OUT:** qui donne le bilan d'eau au niveau de la zone racinaire pour chaque jour de simulation.

#### I.9.5. 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 16 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 IV suivant :

**Tableau IV** : Paramètres utilisés dans AquaCrop

Paramètres	Valeur
<b>Culture</b>	
Développement	
type de plantation	Semis direct
La densité des jeunes plants	5 cm <sup>2</sup> /plants
Densité des plants	200 plants/m <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup>
Indice de récolte de référence	45%
Temperature	
Basse temperature	10
Température supérieure	30
<b>Stress hydrique et sols</b>	
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).

### I.9.6.Evaluation du modèle

La performance du model 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 :

$$\text{AAE} = \frac{\sum_{i=1}^n |\text{O}_i - \text{S}_i|}{N}$$

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

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{O}_i - \text{S}_i)^2}{N}}$$

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):**

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\text{S}_i - \text{O}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|\text{S}_i - \text{MO}| + |\text{O}_i - \text{MO}|)^2}$$

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.

Un des inconvénients de l'indice d'agrément est que les valeurs relativement élevées peuvent être obtenues (plus de 0,65), même si le modèle fonctionne mal, et que malgré les intentions de Willmott, (1982), il n'est pas encore très sensible aux systémiques sur-ou sous-estimations (Krause et al., 2005).

Ou :

Si et Oi 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 d'O<sub>i</sub> et S<sub>i</sub>.

**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:

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

# Résultats

II.1. Résultats

II.1.1. Comportement métrologique

II.1.1.1. La température

En analysant les données de la période 2015-2016, il ressort que la température moyenne est 9,66°C pour la région 1(INRAA), avec un minimum dans le mois de Décembre (5,9°C) et un maximum en Mai (17,1°C), cette augmentation de température coïncide avec la phase de remplissage des grains; pour la région 2 (Chenia), la température minimale 9,5°C correspond au mois de Février et la maximale (21,1°C) au mois de Mai, la température moyenne est de 12,94°C.

II.1.1.2. La pluviométrie

La quantité des précipitations enregistrées dans les deux régions durant le cycle cultural de la saison (2015-2016) est 206,5 mm pour la région 1(INRAA) répartie d'une manière irrégulière, ou la grande valeur de précipitation coïncidente avec le mois du mars (73,66 mm), et la pluviométrie est rare durant le mois de janvier (17,27mm) ; pour la région 2 (Chenia) le cumul de pluie est 152,38mm dont la faible valeur est 14,98mm en Janvier, la pluviométrie est élevée durant le mois de Mars (50,78mm).

La variation de la température et la pluviométrie durant le cycle cultural est résumée dans les diagrammes ci dessous (figure 14 et 15).

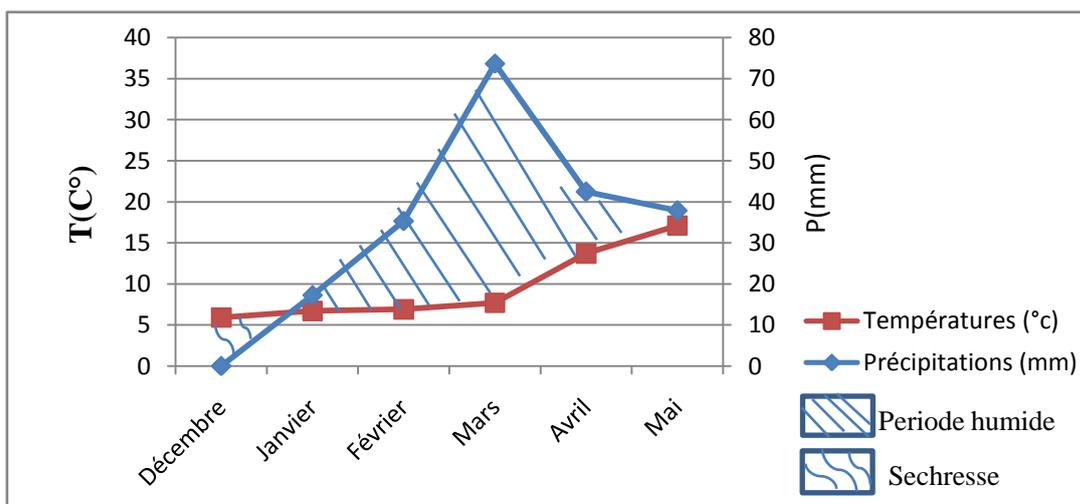
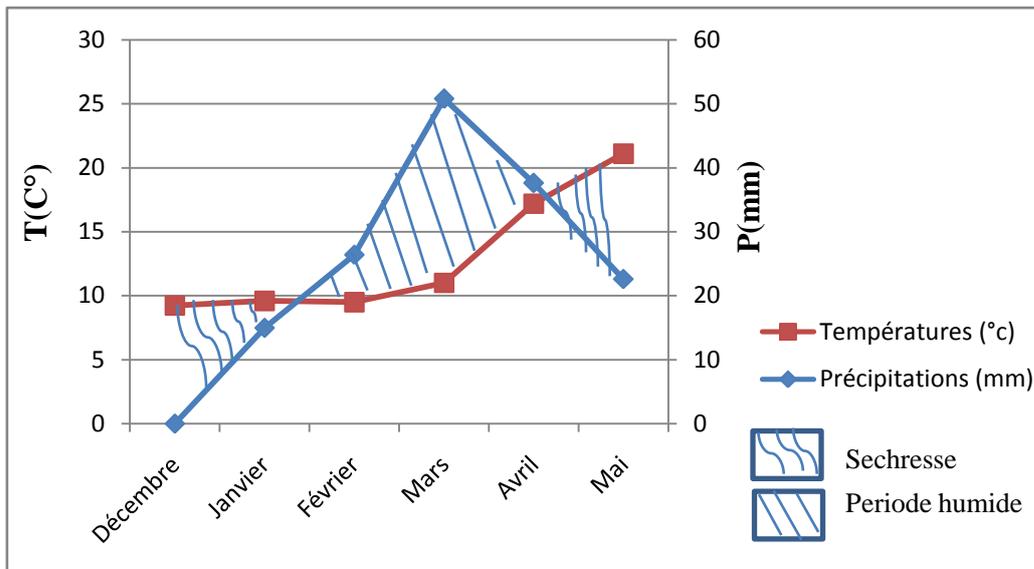


Figure 14 : Diagramme représentant les Pluviométries et les températures moyennes enregistrées sur le site INRAA de Sétif (2015-2016).

Sur le site INRAA de Sétif, la campagne agricole 2015/2016 a été caractérisée par deux périodes sèches, la première s'étend avant le mois de Décembre, la seconde période débute de mois Avril et se termine a la fin de cycle cultural.

La période humide a coïncide avec les mois Janvier, février, Mars et s'étale jusqu'a d'Avril (figure 15).



**Figure 15** : Diagramme représentant les Pluviométries et les températures moyennes enregistrées sur le site de la région 2 (Chania) (2015-2016).

Sur le site de la région 2 (Chania), la campagne agricole 2015/2016 a été aussi caractérisée par deux périodes sèches, la première s'étend de mois Décembre jusqu'a Janvier, la seconde période débute du mois d'Avril et se termine a la fin de cycle cultural (figure 16).

La période humide s'est coïncidée avec les mois Janvier, Février, Mars et Avril.

Donc en comparant deux les régions d'étude, on constate que la région 1 d'INRAA (Sétif) a reçu plus de pluies et le cumul a été plus élevé de 54,12 mm que le total calculée pour la région 2 (Chania).

Du point de vu températures moyennes mensuelles, il a fait plus froid sur la région 1 (INRAA) au cours de l'hiver. Au cours de printemps les régions présentent des moyennes mensuelles très proches.

### II.1.2. Paramètres phénologiques

#### II.1.2.1. La levée

La moyenne de levée des génotypes est 27,71 jours dans les deux régions (l'INRAA et Chania). Les variétés Oued Zenati et Altar 84 ont levé respectivement 28 et 29 jours après semis pour la région 1, Oued Zenati et Polonicum ont levé de 28 jours après semis pour la région 2 (tableau V). Les variétés introduites ont été plus précoces à la levée que les variétés locale dans les deux régions (l'INRAA et Chania).

#### II.1.2.2. Epiaison

Ce caractère varie moyennement d'un génotype à un autre dans les deux régions. La moyenne enregistrée est 131 jours du semi ; 127 jours sont enregistrés pour la variété précoce Altar84. Les variétés Oued Zenati et Polonicum sont des variétés tardives avec 136 jours après le semis dans la région 1 (INRAA) (Tableau V).

Pour la région 2(Chania), la moyenne de l'épiaison des génotypes est 137 jours. 133 jours sont enregistrés pour la variété précoce Hoggar, au deuxième rang les variétés Boussellem, Altar et Waha avec 134 et 135 jours, Mexicali occupe le troisième rang par 139 jours pour atteindre l'épiaison. Et enfin les variétés locales Oued Zenati et Polonicum sont des variétés tardives au dernier rang avec 143 jours après la levée (Tableau V).

Donc les variétés introduites ont été plus précoces à l'épiaison que les variétés locales dans les deux régions d' étude.

**Tableau V:** les caractéristiques phénologiques des sept variétés pour les deux régions (INRAA et Chania).

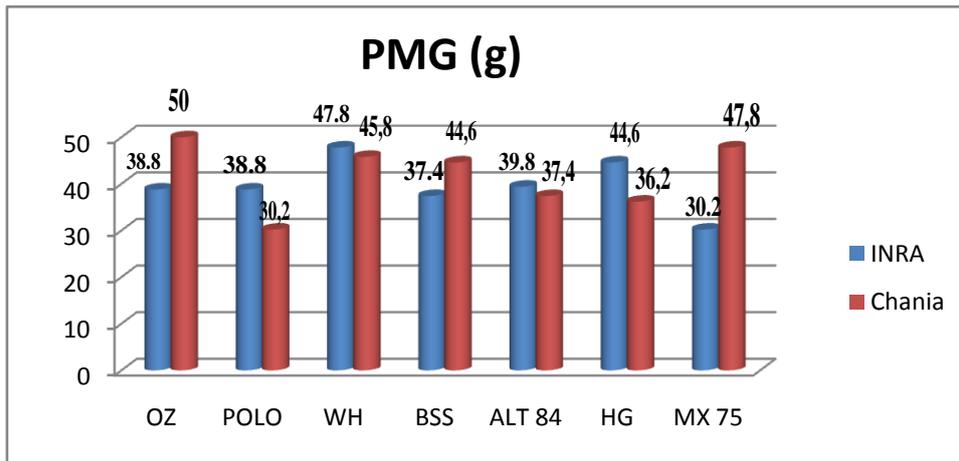
Variétés	Levée 50 % (jours)		Epaison 50% (jours)	
	Chania	INRAA	Chania	INRAA
<b>HG</b>	27	28	133	129
<b>OZ</b>	28	28	140	136
<b>WH</b>	28	27	135	129
<b>MX 75</b>	27	27	139	132
<b>POLO</b>	28	27	143	136
<b>BSS</b>	27	28	134	130
<b>Alt 84</b>	29	29	134	127
<b>Moyenne</b>	<b>27,71</b>	<b>27,71</b>	<b>136,86</b>	<b>131.28</b>

**II.1.3. Paramètres agronomiques**

**II.1.3.1. Poids de mille grains (PMG)**

D’après l’analyse de la variance à deux facteurs (génotypes et régions), on note une différence très hautement significatif entre les génotypes, les régions ainsi leurs interactions, où chaque génotype se classe dans un groupe homogène (Tableau VI, VII).

Dans la région de l’INRAA (Sétif), la moyenne est 34,08 g, la variété locale Waha enregistre la valeur la plus élevée avec 47,8g, alors que celle de Mexicali 75 est la plus faible avec 30,2 g. Dans la région de Chania, le PMG des sept variétés varie de 30,2 g chez Polonicum à 50 g pour Oued Zenati. La moyenne est 41,71 g (figure 16).



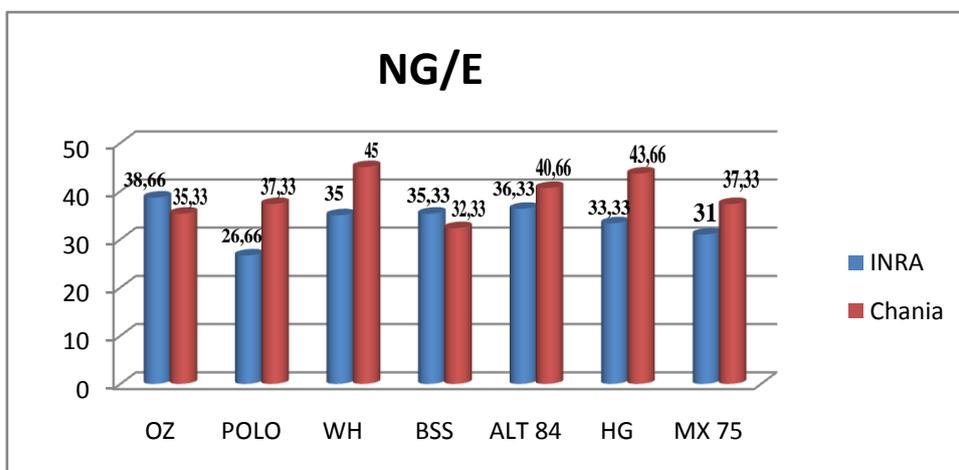
**Figure 16 :** Histogramme de poids de milles grains des sept variétés dans la région d’INRAA et Chania.

**II.1.3.2. Nombre des grains par épi (NG/E)**

L’analyse statistique à deux facteurs (génotypes et régions) montre que les résultats sont non significatifs entre les variétés, les régions et leurs interactions.

Dans la région de l’INRAA, la variété Oued Zenati est la plus fertile avec 38,66 grain/épi, en outre la variété Polonicum est la moins fertile avec 26,66 grain/épi (Figure 17). La moyenne du nombre de grains par épi est 33,76 grain/épi.

Dans la région de Chania, la moyenne est 36,28 grains /épis, Waha possède le nombre le plus élevé de grains par épis, sa fertilité est 45 grains /épis, Bousselem est le moins fertile de tous les génotypes avec 32 grains /épis (Figure 17).

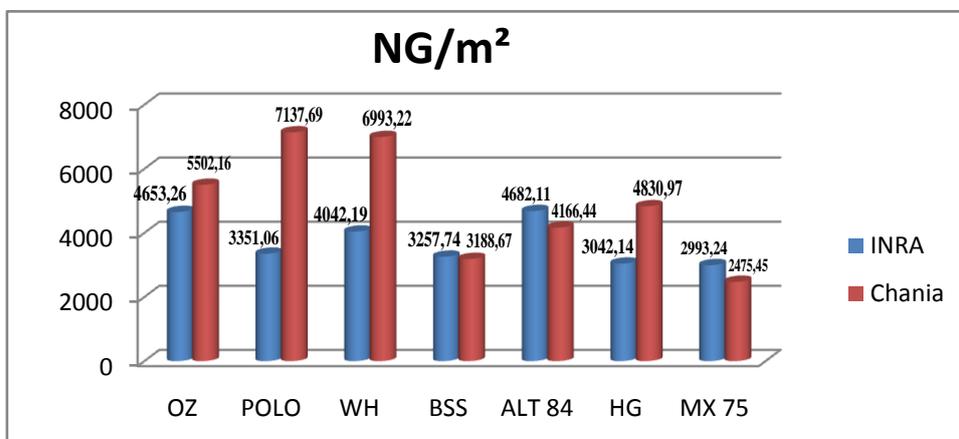


**Figure17 :** Histogramme de nombre des grains par épi (NG/E) de sept variétés dans les deux régions (INRAA et Chania).

II.1.3.3. Nombre des grains par m<sup>2</sup> (NG/m<sup>2</sup>)

L'ANOVA n'a montré aucune différence entre les génotypes, les régions et leurs interactions. Dans La région1, la moyenne du nombre de grains par m<sup>2</sup> est de 3717,39. Les résultats montrent que le nombre des grains par m<sup>2</sup> varie entre 4682,11 et 2993,24, la variété Alter 84 enregistre la valeur la plus grande alors que celle de Mexicali 75 est la plus faible.

Dans la région de Chania, la variété Polonicum a le nombre maximum de 7137,69 grains/m<sup>2</sup>, alors que la variété Mixicali 75 au nombre minimum 2475,45 grains/m<sup>2</sup>. La moyenne générale est 4878,59 (figure 18).

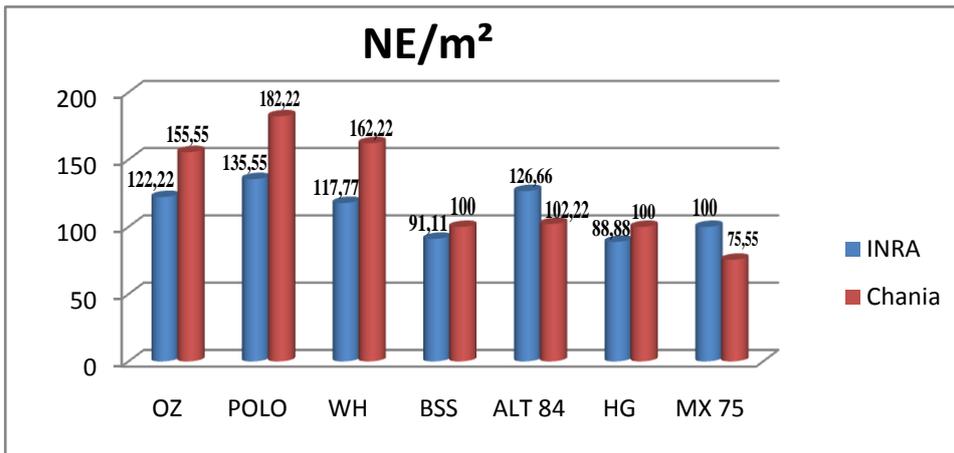


**Fuguer 18 :** Histogramme du nombre de grains par mètre carré des 7 vérités dans les deux régions (INRAA et Chania).

II.1.3.4. Nombre d'épis par m<sup>2</sup> (NE /m<sup>2</sup>)

L'ANOVA n'a montré aucune différence entre les génotypes, les régions et leurs interactions. Au sein de la région d'INRAA, la variété qui a le plus grand nombre d'épis par mètre carré est Polonicum avec 135.55 épis/m<sup>2</sup> et la variété Hoggar enregistre la valeur minimale avec 88 ,88 épi/m<sup>2</sup>. La moyenne du nombre d'épis par m<sup>2</sup> des sept variétés est de 111,74 épi/m<sup>2</sup> (tableau VII).

Pour la région de Chania, le nombre moyen d'épis par m<sup>2</sup> est de 118,09 épis/m<sup>2</sup>. Le plus grand de nombre des épis avec 155.55 épis/m<sup>2</sup> se trouve chez Polonicum, alors que Mexicali produit le minimale d'épis avec 87,77 épis/m<sup>2</sup> (figure 19).



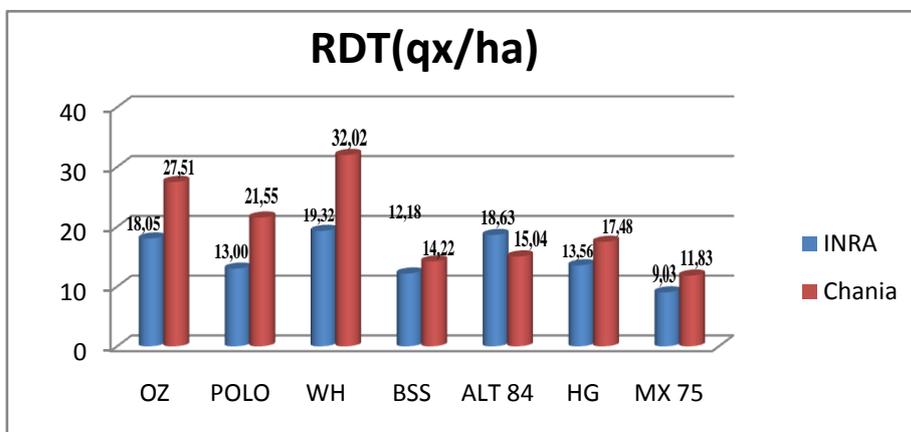
**Figure 19 :** Histogramme du nombre d'épis par mètre carré (NE/m²) dans les deux régions (INRAA et Chania).

**II.1.3.5. Rendement en grains (RDT)**

L'analyse de variance à deux facteurs (génotypes et régions) montre que les différences sont significatives ; les génotypes sont regroupées en cinq groupes et les régions sont regroupées en deux groupes (Les tableaux VI, VII).

La variété Waha enregistre le plus grand rendement avec 19,32qx/ha dans la région 1 (INRAA), et la variété Mexicali 75 enregistre le plus faible rendement avec 9,03qx/ha (Figure 20). La moyenne du rendement est 14,82qx/ha.

Le rendement en grains pour la deuxième région (Chania) varie entre une valeur maximale de 32,02qx /ha pour la variété Waha et une valeur minimale pour la variété Mexicali 75 avec 11,83qx/ha (figure 20). La moyenne du rendement est de 19,95qx/ha

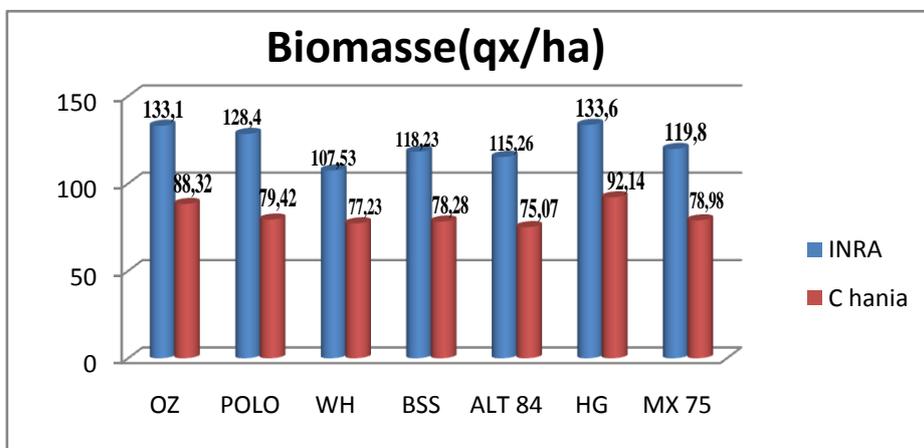


**Figure20 :** Histogramme de rendement des 7 variétés dans les deux régions (INRAA et Chania).

**II.1.3.6. Biomasse aérienne**

L'analyse de la variance a montré une différence non significative entre les variétés et les régions en termes de biomasse aérienne. Les résultats montrent que pour la région 1 (INRAA), la biomasse varie entre 133,6qx/ha et 107,53qx /ha, la variété Hoggar enregistre la valeur la plus grande alors que celle de Waha est la plus faible (tableau VI). La moyenne générale de biomasse aérienne de variétés étudiées est de 122 ,27qx/ha.

Pour la région de Chania, la moyenne générale de biomasse aérienne des variétés étudiées est 83.31qx/ha variant entre 92.14 et 75.03qx/ha pour les variétés Hoggar et Altar 84 respectivement (figure 21).



**Figure 21 :** Histogramme de la biomasse des 7 variétés dans les deux régions (INRAA et Chania).

**II.1.3.7. Indice de récolte (IR)**

L'ANOVA n'a montré aucune différence entre les génotypes, les régions et leurs interactions pour l'indice de récolte (IR). Dans la région de Sétif (INRAA), la moyenne générale est de 39,06% ; les deux variétés Hoggar et Altar 84 ont l'indice de récolte le plus élevé avec respectivement 49,28 % et 44,47%. La valeur minimale enregistrée est de 28,66% pour la variété Polonicum (figure 22).

Pour la région 2 (Chania), la variété Hoggar enregistre la valeur la plus élevée avec 49,3 % en outre la variété Polonicum enregistre la valeur la plus faible avec 28,66%. La moyenne générale d'Indice de récolte de variétés étudiées est de 39,05%.

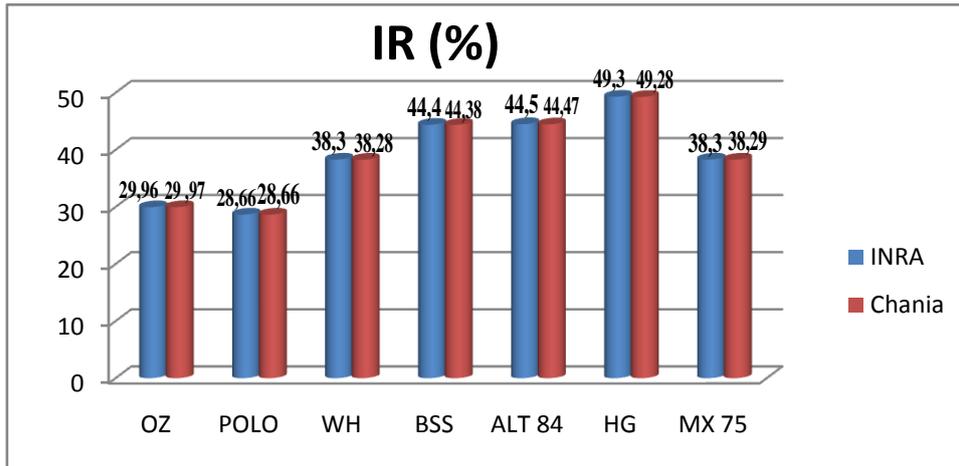


Figure 22 : Histogramme de l'indice de récolte (IR) des sept variétés dans les deux régions (INRAA et Chania).

Tableau VI : Les paramètres agronomique de sept variétés mesurés dans la région 1 (INRAA) de Sétif.

Génotypes	PMG (g)	NG/E	NG/m <sup>2</sup>	NE/m <sup>2</sup>	RDT (qx/ha)	Biom (qx/ha)	IR
<b>OZ</b>	38,8	38,66 (a)	4653,26 (a)	122,22 (a)	18,05 (ab)	133,1	29,96
<b>POLO</b>	38,8	26,66 (b)	3351,06 (a)	135,55 (a)	13 (ab)	128,4	28,66
<b>WH</b>	47,8	35 (ab)	4042,19 (a)	117,77 (a)	19,32(a)	107,53	38,3
<b>BSS</b>	37,4	35,33(ab)	3257,74 (a)	91,11 (a)	12,18 (ab)	118,23	44,4
<b>ALT 84</b>	39,8	36,33 (ab)	4653,11 (a)	126,66 (a)	18,63 (a)	115,26	44,5
<b>HG</b>	44,6	33,33 (ab)	3042,14 (a)	88,88 (a)	13,56 (ab)	133,6	49,3
<b>MX 75</b>	30,2	31 (ab)	2993,23 (a)	100 (a)	9,03 (b)	119,8	38,3
<b>Moyenne</b>	<b>34,08</b>	<b>33,76</b>	<b>3717,39</b>	<b>111,75</b>	<b>14,82</b>	<b>122,27</b>	<b>39,06</b>
<b>Min</b>	30,2	26,66	2993,24	88,88	9,03	107,53	28,66
<b>Max</b>	47,8	38,66	4682,11	135,55	19,32	133,6	49,3

**Tableau VII:** Les paramètres agronomiques de sept variétés mesuré dans la région 2 (Chania).

Génotype	PMG (g)	NG/E	NG/ m <sup>2</sup>	NE/m <sup>2</sup>	RDT (qx/ha)	Biom (qx/ha)	IR
<b>OZ</b>	50 (a)	35,33 (a)	5502,16 (ab)	155,55(ab)	17,48	88,32 (ab)	29,97 (c)
<b>POLO</b>	30,2 (g)	37,33 (a)	7137,69 (a)	182,22(a)	32,02	79,42 (ab)	28,66 (c)
<b>WH</b>	45 (c)	45 (a)	6993,22 (a)	162,22(ab)	25,55	77,23 (b)	38,28 (b)
<b>BSS</b>	44,66 (d)	32,33 (a)	3188,67 (b)	100(bc)	14,22	78,28 (ab)	44,38 (ab)
<b>ALT 84</b>	37,4 (e)	40,66 (a)	4166,44 (ab)	102,22(bc)	15,04	75,07	44,47
<b>HG</b>	36.2 (f)	43,66 (a)	4830,97 (ab)	100(bc)	17,48	92,14 (a)	49,28 (a)
<b>MX 75</b>	47,8 (b)	37,33 (a)	2475,45 (b)	75,55(c)	11,83	78,98(a)	38,29 (b)
<b>Moyenne</b>	41,71	38,81	4899,23	120,25	38,06	81,35	39,05
<b>Min</b>	30,2	32,33	2475,45	75,55	11,83	75,07	28,66
<b>Max</b>	50	45	7137,69	182,22	32,02	92,14	49,28

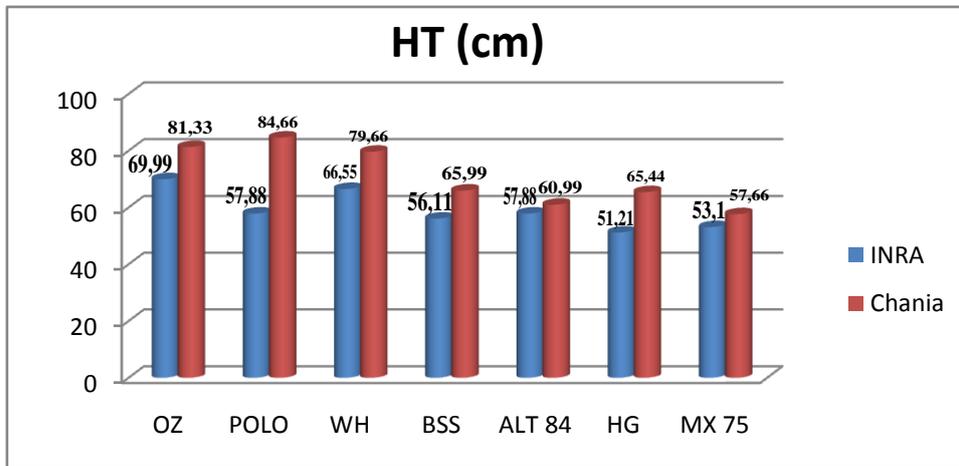
**II.1.4.Comportement morphologique**

**II.1.4.1. Hauteur (HT)**

L’analyse de variance à deux facteurs (génotypes et régions) révèle la présence d’une différence hautement significative entre les hauteurs des génotypes, et mis en évidence quatre groupes homogène (a, ab, bc, c).

La moyenne générale de la hauteur des plantes des sept variétés étudiées est 58,96 cm. Oued Zenati et Waha enregistrent respectivement la plus longue hauteur 69,99 cm et 66,55 cm. Hoggar donne la plus petite hauteur avec 51,21cm dans la station de l’INRAA de Sétif (Figure 23).

Pour la région 2 (Chania), nos variétés présentent une hauteur moyenne de 61,80 cm, avec un maximum de 84.66 cm pour la variété locale Oued Zenati, et un minimum pour la variété introduit Mexicali 75 57.66 cm (Figure 23).



**Figure 23:** Histogramme de la hauteur (HT) des sept variétés dans les deux régions (INRAA et Chania).

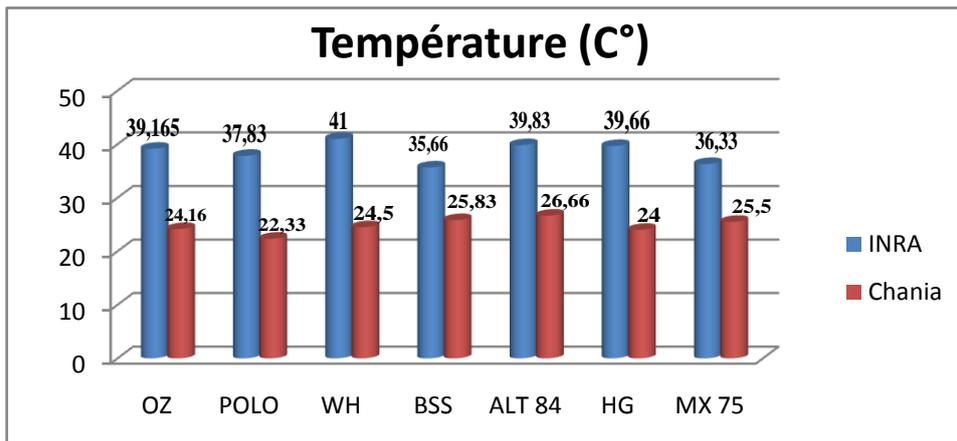
### II.1.5. Paramètres physiologique

#### II.1.5.1. Température du couvert végétal

Après la prise de la température mesurée de la feuille, l'analyse statistique à deux facteurs (génotypes et régions) montre qu'il n'y a pas une différence significative entre les génotypes étudiés et l'interaction (génotype x régions), par contre la différence est très hautement significative entre les régions dont elles sont regroupées en deux groupes (a et b) (Tableau VIII).

Les résultats montrent que la canopée varie entre 41 C° et 35,66 C°, Waha donne la température la plus élevée, et la plus basse est enregistrée chez la variété Bousselem (Figure 24). La moyenne de la température de canopée est 38,5 °C dans la région 1 (INRAA).

Dans la région 2 (Chania) la moyenne de la température du couvert végétal est de 31,54 C° variant entre 33,25 C° et 29,75 C°, enregistrée chez les variétés Altar 84 et Bousselem respectivement (figure 24).



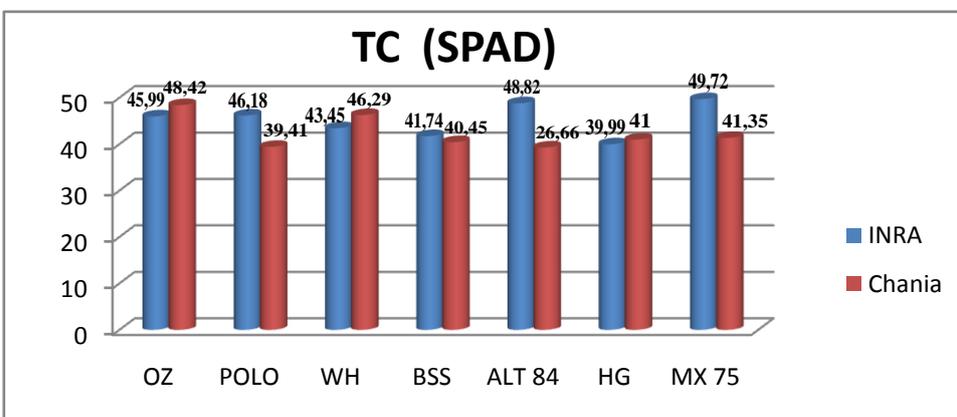
**Figure 24 :** Histogramme de la température de couvert végétal des sept variétés dans les deux régions (INRAA et Chania).

**II.1.5.2.Teneur en chlorophylle**

Pour la teneur en chlorophylle, l’analyse de la variance à deux facteurs génotypes et régions montre qu’il n’y a pas une différence significative en quantité entre les variétés étudiées, les régions et leurs interactions.

Dans la région de l’INRAA, la teneur la plus élevée a été enregistrée chez les variétés Mexicali 75 avec 49,72 unités SPAD et la teneur la plus faible a été enregistrée chez la variété Hoggar avec 39,99 unités SPAD (figure 24). La moyenne générale de la teneur en chlorophylle est 45,12 unités SPAD.

La moyenne varie entre une valeur maximale de 46,74 unités SPAD chez Oued Zenati et une valeur minimale de 39,3 SPAD chez Altar 84. La moyenne de la teneur en chlorophylle est de 42,31 unités SPAD pour la région de Chania (figure 24).



**Figure 25 :** Histogramme de la teneur en chlorophylle en SPAD des sept variétés dans les deux régions (INRAA et Chania).

II.1.5.3. Concentration de la proline

L'analyse de la variance à deux facteurs géotypes et régions montre qu'il y a une différence hautement significative en quantité de proline entre les géotypes, qui sont regroupés en quatre groupes homogènes (a, ab, bc et c), et elle est très hautement significative entre les deux régions (tableau VIII).

La moyenne générale de la teneur en proline dans la région de l'INRAA est de 11.73µg. La teneur la plus importante est enregistrée chez la variété Hoggar (17.53µg), et la plus faible (5.87µg) chez la variété Polonicium (Figure 26).

Pour la région de Chania, la teneur moyenne en proline est 5,93µg ; elle varie entre une valeur maximale de 7,9µg chez Hoggar, une valeur minimale de 2,83µg chez Altar 84.

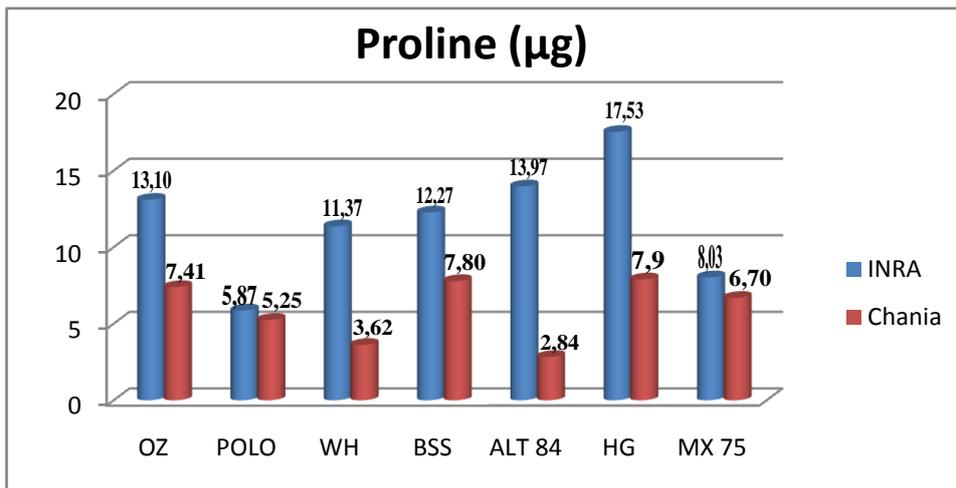


Figure 26: Histogramme de la teneur en proline pour les sept variétés dans les deux régions (INRAA et Chania).

**Tableau VIII :** Les paramètres physiologiques des sept variétés mesurées dans les deux régions (INRAA et Chania).

Régions	INRAA			Chania		
	C°	TC (SPAD)	Proline (µg)	C°	TC (SPAD)	Proline (µg)
<b>OZ</b>	39,165 (a)	45,99 (a)	13,10 (bc)	24,16 (a)	48,42 (a)	7,41 (a)
<b>POLO</b>	37,83(a)	46,18 (a)	5,87 (f)	22,33 (a)	39,41 (b)	5,25 (a)
<b>WH</b>	41(a)	43,45(a)	11,37 (d)	24,5 (a)	46,29 (ab)	3,62 (a)
<b>BSS</b>	35,66(a)	41,74 (a)	12,27 (cd)	25,83 (a)	40,45 (ab)	7,80 (a)
<b>ALT 84</b>	39,83(a)	48,82 (a)	13,97 (b)	26,66(a)	39,30 (ab)	2,84 (a)
<b>HG</b>	39,66(a)	39,99 (a)	17,53 (a)	24 (a)	41 (ab)	7,9 (a)
<b>MX 75</b>	36,33 (a)	49,72 (a)	8,03 (e)	25,5 (a)	41,35 (ab)	6,70 (a)
<b>Moyenne</b>	<b>48,5</b>	<b>45,12</b>	<b>11,73</b>	<b>24,71</b>	<b>42,32</b>	<b>5,93</b>
<b>Min</b>	35,66	39,99	5,87	22,33	39,30	2,84
<b>Max</b>	41	49,72	17,53	26,66	48,42	7,9

## **II.2.Résultats du modèle AquaCrop**

### **II.2.1.Simulation du bilan hydrique**

#### **II.2.1.1.Paramètres de mesures**

Pour les deux régions (INRAA et Chania), à 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 IX).

**Tableau IX:** Résultats de la simulation du bilan hydrique des quatre variétés pour les deux régions (l'INRA et Chania).

Régions	ETP (mm)	ETR (mm)
Région 1 (INRAA)	373,9	91,05
Région 2 (Chania)	137,2	30,76

### II.2.1.2. Phases de stress hydrique selon la phénologie

Le pourcentage du stress hydrique est calculé par la méthode utilisée 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.

Pour déterminer l'effet de stress hydrique sur le comportement de la plante, on a besoins de connaître l'évapotranspiration potentielle, et l'évapotranspiration réelle, donc on calcule le coefficient de stress hydrique (Tableau X). Puis on détermine le pourcentage de stress des quatre variétés (deux introduite, deux locale) dans les deux régions (l'INRAA et Chania).

**Tableau X** : Pourcentage du stress hydrique selon les stades de la région l’INRAA et Chania).

Région	INRAA				Chania			
	Jour	ETP	ETR	S H	Jour	ETP	ETR	S H
<b>Oued Zenati</b>								
Semi-Levée	28	54,1	13,96	0,74	28	53,3	15,5	0,46
Levée -Epiaison	136	142,4	73,03	0,48	139	186,2	56	0,55
Epiaison -maturité	34	177,4	5,22	0,97	28	156,4	1,05	0,96
<b>Bousselem</b>								
Semi-Levée	27	52,7	12,95	0,75	27	52,6	14,05	0,10
Levée -Epiaison	130	120,5	72,50	0,40	130	186,9	57,57	0,47
Epiaison -maturité	41	200,7	5,22	0,97	38	204,6	3,45	0,47
<b>Altar 84</b>								
Semi-Levée	29	55,5	14,74	0,73	29	54,5	26,10	0,45
Levée -Epiaison	127	113,8	70,69	0,37	130	185	55	0,57
Epiaison -maturité	42	204,6	5,25	0,97	36	198,3	15,30	0,91
<b>Mexicali 75</b>								
Semi-Levée	27	52,7	12,96	0,75	27	52,6	63,20	0,48
Levée -Epiaison	132	130,9	72,58	0,44	135	208,9	59	0,56
Epiaison -Maturité	39	190,3	5,14	0,97	33	180,1	2,95	0,94
<b>Moyenne</b>								
Semi-Levée	27,75	53,75	13,65	0,74	27,75	53,25	29,71	0,37
Levée -Epiaison	131,25	126,9	72,2	0,42	133,5	191,75	56,89	0,53
Epiaison -maturité	39	193,25	5,20	0,97	33,75	166,85	5,69	0,82

Les résultats montrent que pour chacune des deux régions, les valeurs du stress hydrique entre les variétés sont similaires pour chaque stade.

● **Le stade Semis-levée**

➤ **Région 1(l’INRAA)**

Cette phase correspond à l’installation de la culture durant laquelle le taux de la couverture végétal est plus faible, elle dure 27,75 jours où le bilan hydrique est déficitaire.

L'évapotranspiration réelle (ETR) pour ce stade est relativement faible soit : 13,65 mm, alors que l'évapotranspiration potentielle de la culture (ETP) est de 53,75.

Le coefficient de stress  $K_s = 0,74$  ceci signifie que l'évapotranspiration réelle était déficitaire de près de 74% de celle prédite pour cette phase.

### ➤ Région 2 (Chania)

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. Cette phase dure 27,75 jours (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.

### ● Le stade levée –épiaison

#### ➤ Région 1 (l'INRAA)

Ce stade se caractérise par un développement considérable du système racinaire et une augmentation de taux de la couverture végétale ; la durée de cette phase est de 131, 25 jours. La transpiration potentielle de la culture est 126,9 mm, tandis que le cumul de la transpiration égale de 72,2 mm. Le coefficient de stress est 0,42, ce qui correspondent à 42% de stress hydrique.

#### ➤ Région 2 (Chania)

On enregistre un cumule d'ETR et d'ETP de 56,89mm et 191,75mm respectivement, le coefficient de stress pour ce Stade  $K_s = 0.53$ .

### ● Le stade Epiaison – Maturité

#### ➤ Région 1 (INRAA)

Ce stade débute de la fin de l'épiaison et s'étale jusqu'à la maturation complète de la graine. On enregistre un cumul de l'évapotranspiration plus élevé avec 193,25 mm, et un cumul d'évapotranspiration réelle très faible de 5,20 mm. Le stress hydrique est intense durant cette période 97 %.

### ➤ Région 2 (Chania)

Ce dernier stade de développement se caractérise par : une forte ETP et une faible ETR avec respectivement 166,85 mm et 5,69 mm ; ce stade est caractérisé par un stress hydrique de 82%.

Pour le premier site, INRAA Sétif, les résultats montrent que les valeurs du stress hydrique entre les variétés sont presque similaires, et que le stress est intense au dernier stade (Epiaison-maturité),  $K_s=97\%$ , et au premier stade (Semis-levée),  $K_s=74\%$ . Il y a moins de stress au stade (levée-épiaison),  $K_s=42\%$ .

Pour le second site (Chania), le stress hydrique est faible au premier stade (Semis-levée),  $K_s=37\%$ , moyen dans le stade (levée – épiaison),  $K_s=53\%$  et fort au dernier stade (Epiaison-maturité),  $K_s=82\%$ .

D'une manière générale, le stress hydrique durant le cycle cultural entier de la culture du blé dur est plus marqué dans la première région d'étude (INRAA Sétif), avec une moyenne de 0,71%, par rapport à la deuxième région (Chania) où le stress avoisine 0,57%.

## II.2.2. Simulation et Evaluation des composants du rendement par AquaCrop

### II.2.2.1. Le rendement grain

#### ➤ Région 1 (INRAA)

La variété Boussellem a obtenu la valeur la plus élevée (19,62 qx/ha avec une sous-estimation de 61,08%), le plus faible rendement est obtenu par la variété Oued Zenati (12,64 qx/ha avec une sous-estimation de 29,97 %) (Tableau XI).

#### ➤ Région 2 (Chania)

La variété Oued Zenati a obtenu la valeur la plus élevée (33,3 qx/ha avec une sous-estimation de 31,4%). Le plus faible rendement est obtenu par la variété Altar 84 (18,3 qx/ha avec une sous-estimation de 22,27%) (Tableau XI).

**Tableau XI :** Comparaison entre valeurs simulées et observées du rendement des deux régions (INRAA et Chania).

	<b>RDT</b>					
<b>Régions</b>	<b>INRAA</b>			<b>Chania</b>		
<b>Génotypes</b>	<b>Observé</b>	<b>Simulé</b>	<b>PE%</b>	<b>Observé</b>	<b>Simulé</b>	<b>PE%</b>
<b>OZ</b>	18,05	12,64	29,97	27,51	3,33	31,4
<b>BBS</b>	12,18	19,62	61,08	14,22	2,37	79,11
<b>ALT 84</b>	18,63	19,54	48,84	15,04	1,81	22,27
<b>MX 75</b>	9,03	15,50	71,65	11,83	2,63	21,47
<b>Moyenne</b>	<b>14,47</b>	<b>16,82</b>	<b>52,88</b>	<b>17,15</b>	<b>2,54</b>	<b>38,56</b>

**II.2.2.2. La biomasse**

- **Région 1 (INRAA):** Le modèle a simulé la biomasse en moyenne de (126,32 qx/ha). La variété Mixicali a obtenu la valeur la plus élevée (127,51 qx/ha) avec une sous-estimation de (6,43%). La variété Bousselem a obtenu la valeur de biomasse la plus faible (123,32 qx/ha) avec une sous-estimation de (9,58 %) (Tableau XII).
  
- **Région 2 (Chania):** La moyenne de la biomasse simulée par le modèle est de 131.7 qx/ha. Les résultats de la simulation montrent que la valeur de la biomasse la plus élevée est de 139,3 qx/ha (variété Mexicali 75), avec une surestimation de 96,67 % et la valeur la plus faible est de 12,77 qx/ha (variété Altar 84) avec une surestimation de 97,56 % (Tableau XII).

**Tableau XII :** Comparaison entre valeurs simulées et observées la biomasse aérienne des deux régions (INRAA et Chania).

	<b>BIOM</b>					
<b>Régions</b>	<b>INRAA</b>			<b>Chania</b>		
<b>Génotypes</b>	<b>Observé</b>	<b>simulé</b>	<b>PE%</b>	<b>Observé</b>	<b>Simulé</b>	<b>PE%</b>
<b>OZ</b>	133,1	127,07	4,53	88,33	13,07	96,23
<b>BSS</b>	118,23	123,32	9,58	78,28	12,92	96,97
<b>ALT 84</b>	115,26	127,40	10,53	75,04	12,77	97,56
<b>MX 75</b>	119,8	127,51	6,43	78,98	13,93	56,67
<b>Moyenne</b>	<b>131,66</b>	<b>126,32</b>	<b>7,76</b>	<b>80,16</b>	<b>13,17</b>	<b>96,85</b>

**II.2.2.3. L'indice de récolte (IR)**

➤ **Région1 (INRAA)**

La variété Oued Zenati a obtenu la valeur la plus faible (9,94 %) avec les sous-estimations (66,82 %), et la variété Bousselem a obtenu l'indice de récolte le plus élevé (15,33 %) avec sous-estimations de (65,55 %). La moyenne de la simulation de l'indice de récolte est de 13,33 %. (Tableau XIII).

➤ **Région 2 (Chania)**

L'indice de récolte est simulé par le modèle avec une moyenne de (19,27 %). La variété Oued Zenati qui a été bien simulée (25,47 %) avec une sous-estimation de (56,38 %), et la variété Altar 84 a obtenu l'indice de récolte le plus faible (14,37 %) avec sous-estimation (56,38 %) (Tableau XIII).

**Tableau XIII:** Comparaison entre valeurs simulées et observées de l'indice de récolte de pour les deux régions (Chania et INRAA).

Régions	IR					
	INRAA			Chania		
Génotypes	Observé	Simulé	PE%	Observé	Simulé	PE%
<b>OZ</b>	29,96	9,94	66,82	29,97	25,47	56,38
<b>BBS</b>	44,4	15,90	64,18	44,38	18,39	70,88
<b>ALT 84</b>	44,5	15,33	65,55	44,47	14,37	71,28
<b>MX 75</b>	38,3	12,15	68,27	38,30	18,87	63,62
<b>Moyenne</b>	39,29	13,33	63,70	39,28	19,27	65,54
<b>Min</b>	29,96	9,94	64,18	29,97	14,37	56,38
<b>Max</b>	44,5	15,90	64,18	44,47	25,47	71,28

**Tableau XIV:** Valeurs des paramètres utilisés pour l'évaluation du modèle.

Régions		Observé	Simulé	AAE	MRSE	D
<b>INRAA</b>	RDT	14,47	16,82	5,05	5,64	0,40
	BIOM	131,60	126,32	7,74	8,20	0,48
	IR	39,29	13,33	25,96	26,20	0,30
<b>Chania</b>	RDT	17,15	2,54	14,61	15,68	0,38
	BIOM	80,16	13,17	66,98	67,16	0,11
	IR	39,28	19,27	20,005	22,24	0,23

# Discussion

## II.2. Discussion

### II.2.1. Paramètres morphologique

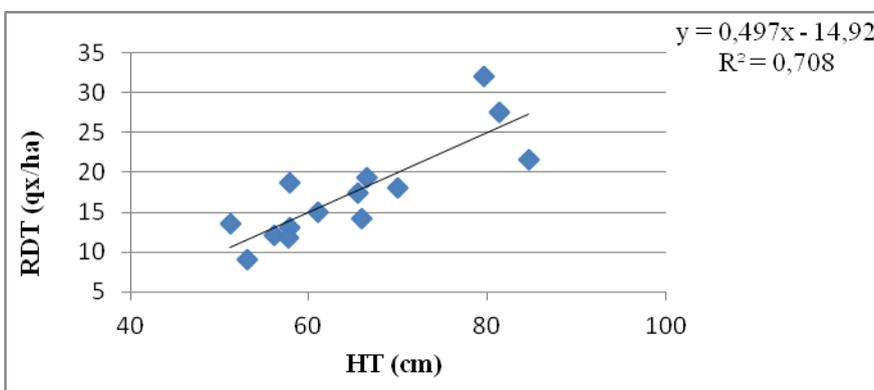
#### II.2.1.1. La hauteur

**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/m<sup>2</sup> et du rendement. Les variétés hautes répondent mieux aux concurrences vis-à-vis la lumière et les adventices. Les variétés courtes tolèrent mieux aux conditions de stress. D'autre part, la compacité de l'épi et la grosseur favorisent la verse surtout après les pluies ou l'irrigation (**Rezgui et Hamza, 1995**).

Dans notre étude, la relation entre la hauteur et le rendement est significativement positive ( $r = 0,62$ ) (Figure 27), elle est positivement corrélée avec le nombre de grain /m<sup>2</sup> ( $r = 0,62$ ) et le nombre d'épis / m<sup>2</sup> ( $r = 0,64$ ), elle est négativement corrélée avec la biomasse ( $r = -0,50$ ).

**Moumni, (2013)** montre que la hauteur est 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 /m<sup>2</sup> ( $r = -0,25$ ) et à l'indice de récolte ( $r = -0,66$ ).

**Mazouz et Bouzerzour, (2017)** ont trouvé une corrélation négative entre la hauteur et le rendement ( $r = -0,271$ ).



**Figure 27:** Relation entre le rendement et la hauteur.

### II.2.2. Paramètres agronomiques

#### II.2.2.1. Les interactions entre le rendement et ses composantes

Le rendement en grains intègre deux composantes majeures, le nombre de grains par m<sup>2</sup> et le poids moyen du grain (**Slafer et Rawson, 1994**). L'itinéraire de formation du rendement suit une cinétique qui début par la formation des épis, suivi des sites des grains par épis, il se terminent par le remplissage des grains (**Grafius et Hamid 1978**).

**Adjabi et al., (2007)** ; **Pasquale et al., (2007)** indiquent que l'augmentation du rendement grain est associée à une augmentation linéaire avec le nombre de grains par m<sup>2</sup>, ce dernier donc est un facteur limitant l'obtention de rendement grains élevés. **Vargas et ses collaborateurs, (1999)** mentionnent que l'amélioration de l'activité photosynthétique, tout juste avant l'anthèse, conduit à l'augmentation du nombre de grains par unité de surface et du rendement grain.

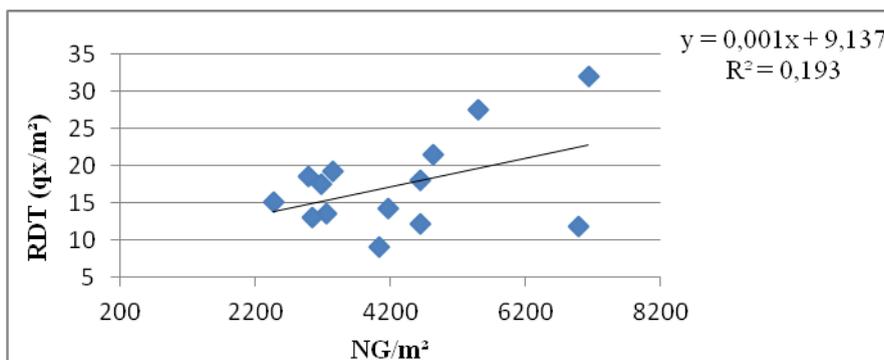
Le nombre d'épis par m<sup>2</sup> est une composante essentielle dans la formation du rendement final puisqu'il détermine le nombre de grain par m<sup>2</sup>. Les travaux sur le tallage épi et sa contribution à l'élaboration du rendement grain chez les génotypes de blé dur en conditions méditerranéennes ne sont pas nombreux. La compréhension de cette contribution peut aider à la sélection des génotypes adaptés et hautement productifs (**Elhani et al., 2007**).

Selon **Bahlouli et al., (2008)** l'expression d'un rendement élevé est associée positivement, aux nombres de grains par mètre carré, à un nombre d'épis par mètre carré et à la fertilité des épis.

#### ❖ Nombre des grains par m<sup>2</sup>

Les données recensées durant cet essai indiquent une corrélation positive et très hautement significative entre le nombre des grains par m<sup>2</sup> et le rendement ( $r = 0,93$ ) (figure 28), alors qu'il est corrélé positivement et d'une manière hautement significative avec le nombre d'épi par m<sup>2</sup> ( $r = 0,89$ ). Une relation positive et significative est aussi révélée entre le rendement et la hauteur ainsi qu'avec le nombre de grain par épi ( $r = 0,62$ ), ( $r = 0,46$ ) respectivement ; alors que des corrélations négatives et significatives sont avec la température du couvert végétal, la proline et la biomasse ( $r = -0,35$ ), ( $r = -0,31$ ) respectivement.

Chez **Nadjem, (2012)** le rendement en grain est corrélé (corrélation très hautement significative) avec le nombre de grains au  $m^2$  ( $r = 0,98$ ) et le poids de mille de grains ( $r = 0,79$ ). **M'hamadia et Lamri, (2015)** indiquent une corrélation positive très hautement significative entre le nombre des grains par  $m^2$  et l'indice de récolte ( $r = 0,96$ ), et significative avec le rendement.

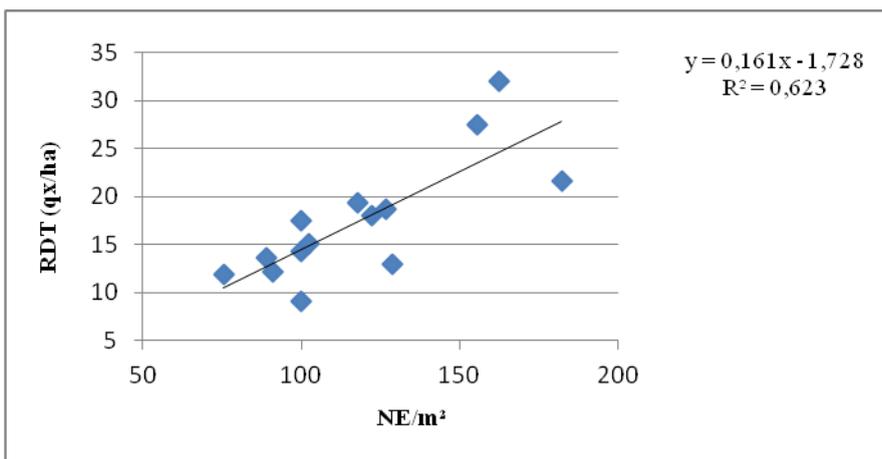


**Figure 28 :** Relation entre le rendement et le nombre des grains par  $m^2$ .

#### ❖ Nombre d'épi par $m^2$

Le nombre d'épis par  $m^2$  est fortement corrélé positivement et significativement avec le rendement ( $r = 0,84$ ) (figure 29), le nombre de grains par  $m^2$  soit ( $r = 0,89$ ), et la hauteur ( $r = 0,64$ ). Une faible association est enregistrée par **Moumni, (2013)** entre le rendement grain et le nombre d'épis par  $m^2$  ( $r = 0,07$ ).

Dans les travaux de **Khebbat, (2015)** le nombre d'épis par  $m^2$  est fortement corrélé positivement et significativement avec le nombre de grains par  $m^2$  soit ( $r = 0,98$ ), alors qu'il est corrélé positivement et non significativement avec le rendement et l'indice de récolte soit ( $r = 0,86$ ), ( $r = 0,82$ ) respectivement, et il est corrélé négativement et non significativement avec le nombre de grains par  $m^2$  ( $r = -0,84$ ).



**Figure 29** : Relation entre le rendement et le nombre d'épis par m<sup>2</sup>.

## II.2.3. Les paramètres physiologiques

### II.2.3.1. La relation entre la température et la biomasse

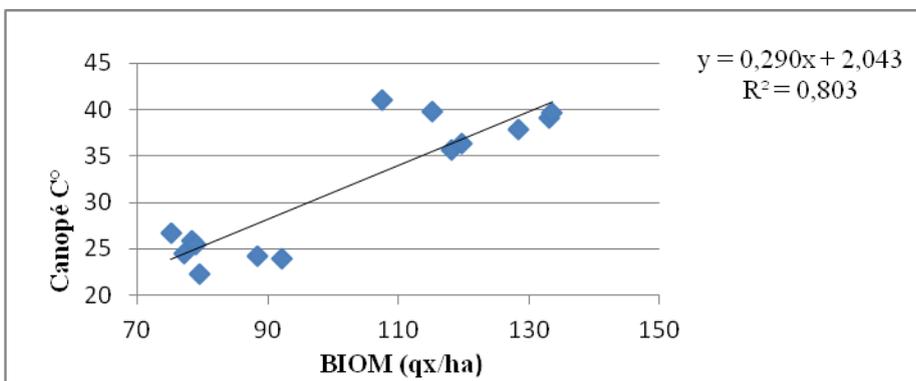
Les hautes températures sont parmi les facteurs importants intervenant dans la limitation des rendements. Elles affectent fortement les organes floraux et la formation des fruits, ainsi que le fonctionnement de l'appareil photosynthétique (**El Madidi et Zivy, 1993**).

L'activité physiologique du blé est maximale à 25 °C ; des températures de 28 à 32°C sont considérées comme stressantes. Le stress thermique durant la période pré-anthèse modifie, non seulement le poids final du grain, mais aussi le nombre de grains (**Wardlaw et al., 1989**).

La biomasse aérienne accumulée au stade épiaison peut-être utilisée comme un indicateur de l'activité photosynthétique et de la capacité différentielle des génotypes à faire une bonne utilisation des facteurs du milieu au cours de la période de la pré-anthèse. Cette période est relativement plus favorable à la culture dans les zones semi-arides. Les génotypes qui accumulent rapidement une biomasse élevée au stade épiaison souffrent moins des effets des stress de la post-anthèse qui sont plus fréquents (**Haddad, 2009**).

Dans notre étude, la relation entre la température du couvert végétal (canopé) et la biomasse aérienne est significativement positive ( $r = 0,82$ ) (Figure30), elle est positivement corrélée avec le proline ( $r = 0.62$ ), elle est négativement corrélée avec la hauteur ( $-0,50$ ), le nombre de grain/m<sup>2</sup> ( $r = -0.35$ ) et le rendement ( $-0,35$ ).

**Salmi (2015)**, indique une corrélation non significative entre la biomasse et la température de couvert végétal ( $r=0.130$ ).



**Figure 30** : Relation entre la température du couvert végétal et la biomasse.

## II.2.4. Stress hydrique

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

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**).

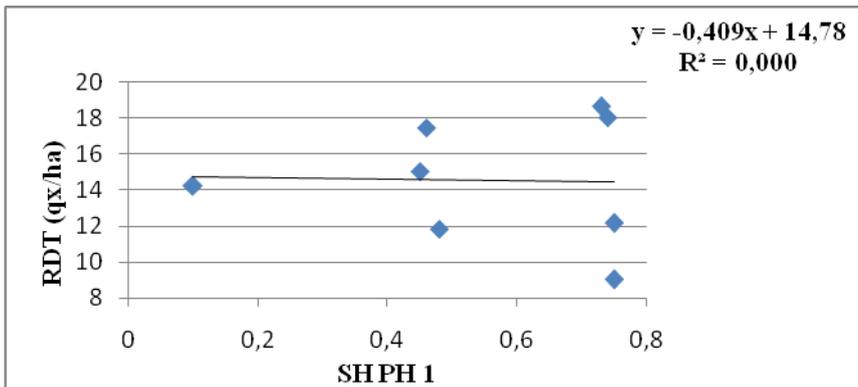
En comparant nos deux régions d'étude (INRAA et Chania), les résultats indiquent que l'effet du stress hydrique est similaire entre les deux sites ; mais cet effet a montré des variations sur le cycle cultural du blé selon les stades végétatifs :

#### ❖ L'effet du stress hydrique de la phase semi-levé sur les composantes du rendement

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**).

M'hamdia, (2015) ne trouve pas une corrélation significative entre le stress hydrique et le rendement, ni entre le stress hydrique et la biomasse aérienne, durant la première phase (Stade semi-levé).

Nos résultats montrent une corrélation significative et négative ( $r=-0.84$ ) entre le stress hydrique et la biomasse aérienne durant la première phase semi-levé (Figure 31).

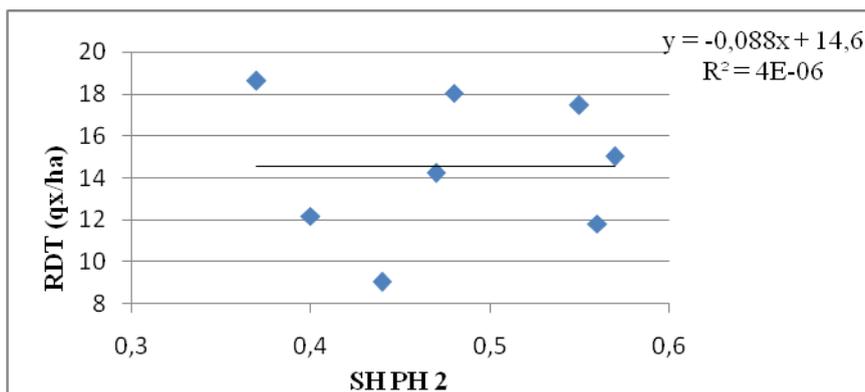


**Figure 31** : Relation entre le stress hydrique de la phase 1 (semi-levé) avec le rendement.

#### ❖ L'effet du stress hydrique de la phase levé-épiaison sur les composantes du rendement

L'effet du stress hydrique est différent selon les stades végétatifs. Au stade montaison, il provoque un arrêt de croissance des tiges, il s'ensuit une diminution du nombre de talles fertiles dont la conséquence est une réduction du nombre de grains/m<sup>2</sup>. Vers le stade méiose-épiaison, c'est l'avortement des fleurs qui devient important (Debaeke *et al.*, 1996).

Moumni, (2013) mentionne une corrélation significativement négative ( $r= -0.51$ ) entre le stress hydrique et la biomasse aérienne, durant la deuxième phase (levé-épiaison). Dans notre étude, aucune relation significative durant cette seconde phase n'a été détectée entre le stress hydrique et le rendement, ni entre le stress hydrique et la biomasse aérienne (Figure 32).

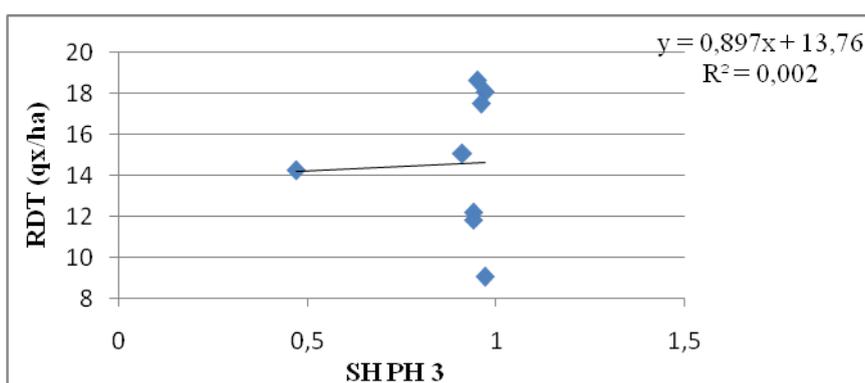


**Figure 32** : Relation entre le stress hydrique de la phase 2 (levé-épiaison) avec le rendement.

❖ **L'effet du stress hydrique de la phase épiaison-maturité sur les composantes du rendement**

Au stade floraison, c'est la destruction des organes floraux qui prédomine et au cours du remplissage du grain, il y a une diminution du niveau et de la durée du palier hydrique, dont la conséquence est une chute de poids moyen 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**).

**Moumni, (2013)** trouve une corrélation négative et significative, entre le stress hydrique et le rendement grain ( $r = -0.98$ ) ; nos résultats ne montrent aucune relation entre le stress hydrique et la biomasse aérienne, l'indice de récolte et le rendement durant de la phase épiaison-maturité (Figure 33).



**Figure 33** : Relation entre le stress hydrique de la phase 3 (épiaison-maturation) avec le rendement.

### II.2.4.1. 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**).

Durant la campagne 2015-2016, les prédictions du modèle été différentes. Les résultats de la simulation sont présentés dans le tableau XIV.

#### ❖ Rendement grains

##### ➤ Région 1 (INRAA)

Les résultats des valeurs simulées et les valeurs observées ne sont pas corrélés ( $r = -0.22$ ) (figure 34). L'indice d'agrément est 0.40, il montre que le modèle a simulé acceptablement le rendement grains. Les paramètres AAE et RMSE sont de 5,05 qx/ha et 5,64 qx/ha, indiquant une différence entre les valeurs du rendement simulés et observés et que le modèle a sur estimé le rendement (Tableau XIV).

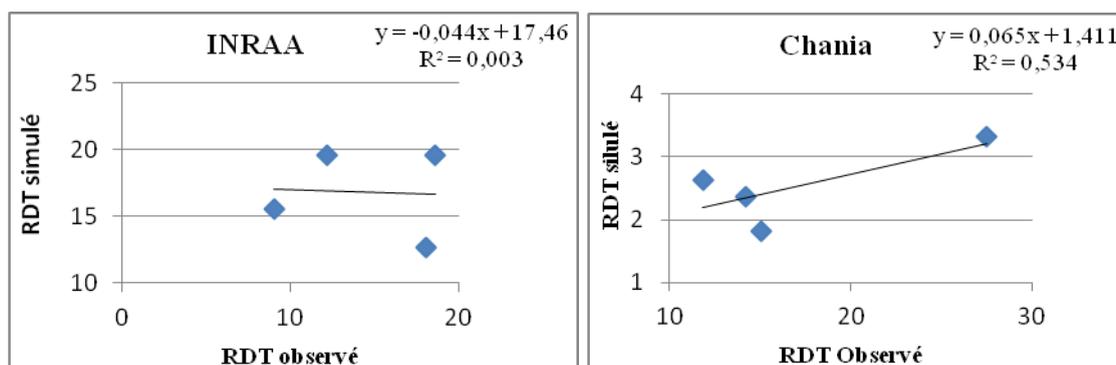
##### ➤ Région 2 (Chania)

A l'égard de rendement, l'indice de corrélation montre que les valeurs simulées et les valeurs observées sont corrélées positivement ( $r = 0,73$ ) (Figure 34). L'indice d'agrément est 0,38 ce qui signifie une simulation passable. Les paramètres AAE et RMSE sont de 14,61 qx/ha et 15,68 qx/ha indiquant une différence entre les valeurs du rendement simulés et observés et une sous estimation de ce dernier paramètre par le modèle (tableau XIV).

La comparaison des moyennes des rendements simulés entre nos deux régions, en utilisant le test de Student-Fisher à  $P < 0.05$ , a montré une différence significative ( $P = 0.02$ ).

**Chez Khabet, (2015)** on a trouvé une corrélation positive entre le rendement simulé et observé pour les trois saisons 2010/2011, 2011/2012, et 2013/2014 soit respectivement ( $r = 0.78$ ), ( $r = 0.82$ ), et ( $r = 0.83$ ). Contrairement, le rendement simulé est peu corrélé avec celui observé pour la saison 2012/2013 soit ( $r = 0.2$ ). L'indice d'agrément est de (0.27, 0.36 et 0.43) pour les campagnes 2010/2011, 2011/2012 et 2012/2013 respectivement, ces résultats indiquent que le modèle AquaCrop n'a pas bien simulé le rendement, alors que, pour la saison 2013/2014 l'indice d'agrément d est égale à (0.856) ce qui fait le modèle a bien simulé le rendement.

Les valeurs d'AAE et RMSE sont (1.21 t/ha, 1.22 t/ha) pour la saison 2010/2011, (2.55 t/ha, 2.58 t/ha) pour la saison 2011/2012, (1.57 t/ha, 1.85 t/ha) pour la saison 2012/2013 et (0.0015 t/ha, 0.264 t/ha) pour la saison 2013/2014, le modèle a surestimé le rendement avec une déviation de (17.85%, 46.45%, 23.93%) pour les campagnes 2010/2011, 2011/2012, 2012/2013 respectivement, et il l'a sous-estimé avec (0.52%) pour la saison 2013/2014.



**Figure 34** : Relation entre le rendement observée et simulée par Aquacrop dans les deux régions (INRAA, Chania).

### ❖ Biomasse aérienne

#### ➤ Région 1 (INRAA)

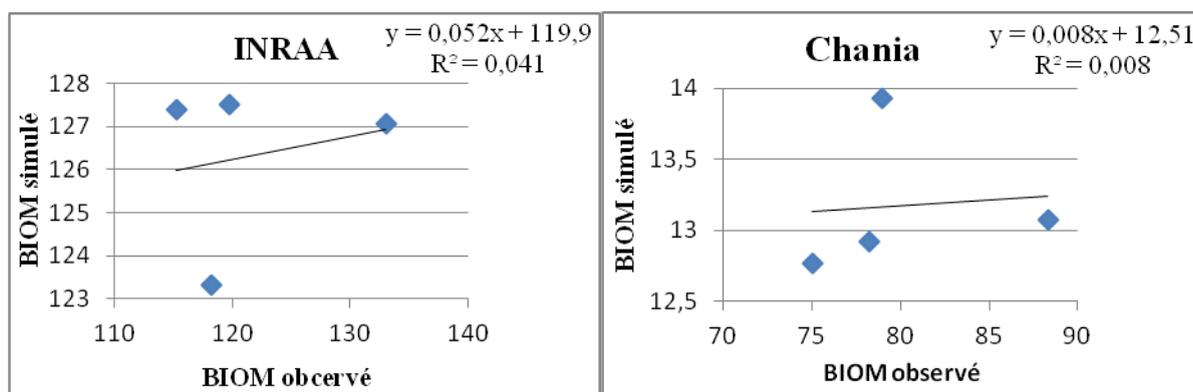
Dans notre étude, les paramètres AAE et RMSE sont de 7,74 qx/ha et 8,20 qx/ha respectivement, indiquant une différence entre les valeurs simulées et observées et une surestimation de la biomasse aérienne par Aquacrop (Tableau XIV). On a trouvé une forte corrélation positive entre la biomasse simulée et celle observée ( $r = 0,96$ ) (Figure 35). L'indice d'agrément est 0,48, montre l'acceptabilité de la simulation de la biomasse aérienne par le modèle.

#### ➤ Région 2 (Chania)

Une corrélation positive a été constatée entre les valeurs simulées et observées ( $r = 0,09$ ) (Figure 35) ; l'indice d'agrément ( $d = 0,11$ ) indique une mauvaise simulation de la biomasse aérienne par le modèle. Les paramètres AAE et RMSE sont de 66,98 t/ha et 67,16 t/ha, donc il y a une différence entre les valeurs simulées et les valeurs observées, avec une sur-estimation de la biomasse (tableau XIV).

Les résultats de **Moumni, (2013)** indique qu'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 modèle n'a pas très bien simulé la biomasse aérienne, cela est due à des problèmes de calibration. Les paramètres AAE et RMSE sont de 1.61 t/ha et 2.42 t/ha (2012-2013) avec une surestimation la biomasse aérienne de 7.68%.

La comparaison des moyennes de la biomasse aérienne simulée entre les deux régions a montré une différence significative ( $P=0,05$ ), en utilisant le test de Student-Fisher à  $P<0,05$ .



**Figure 35:** Relation entre la biomasse observée et simulée par Aquacrop dans les deux régions (INRAA, Chania).

### ❖ Indice de récolte

#### ➤ Région 1 (INRAA)

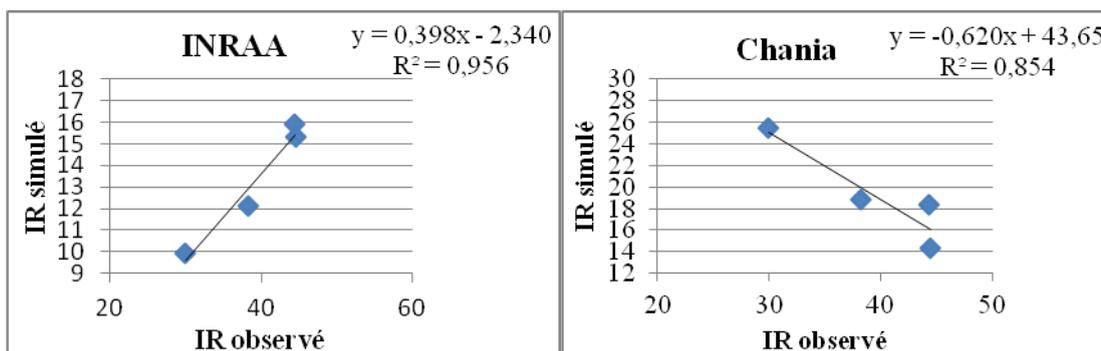
Les résultats de notre essais montrent qu'il y a une faible relation négative entre l'indice de récolte observé et simulé ( $r = -0,15$ ) (Figure 36). L'indice d'agrément est de 0.30, il montre que le modèle a simulé mal l'indice de récolte. Les paramètres AAE et RMSE sont de 25,96 qx/ha et 26,20 qx/ha, indiquant une différence entre les valeurs simulées et observées (Tableau XIV).

#### ➤ Région 2 (Chania)

Une corrélation négative a été constatée entre les valeurs simulées et observées ( $r=-0.92$ ) (Figure 36). L'indice d'agrément est 0,23, ce qui indique qu'Aquacrop n'a pas bien simulé l'indice de récolte. Les paramètres AAE et RMSE sont de 20,005 t/ha et 22,24 t/ha, donc il y a une sur estimation de l'indice de récolte (Tableau XIV).

La comparaison des moyennes des indices de récoltes entre nos deux régions d'étude, en utilisant le test de Student-Fisher à  $P < 0.05$ , n'a pas montré une différence significative ( $P = 0.43$ ).

M'Hamdia et Lamri, (2015) notent qu'il ya une forte corrélation positive entre l'indice de récolte observé et simulé ( $r=0.90$ ). L'indice d'agrément est 0.6 indiquant l'acceptabilité de la simulation. Le modèle a sous estimé l'indice de récolte, où les valeurs AAE et RMSE sont des 26,28 t/ha et 26,34 t/ha respectivement.



**Figure 36 :** Relation entre l'indice de récolte observé et simulé par Aquacrop pour les deux régions (INRAA, Chania).



# Conclusion

Le stress hydrique affecte le développement et le bon fonctionnement des plantes. Par ailleurs, et pour bien se développer, la plante doit disposer des mécanismes d'adaptation qui lui permettent de supporter la manque d'eau. Dans le cadre de ce travail, le comportement agro-physiologique de sept variétés de blé dur est analysé.

Il en résulte que la variété Waha (variété locale) au meilleur rendement pour les deux régions (l'INRAA et Chania) et la variété introduite (Mexicali 75) est la moins productive. D'une façon générale, les variétés les plus performantes en ce qui concerne les composantes du rendement ;

\*Pour le poids de mille grains et le nombre des grains par épi, on a les variétés Oued Zenati pour l'INRAA et Waha pour Chania.

\*Pour le nombre des grains par m<sup>2</sup>, on a Altar 84 pour l'INRAA et Polonicum pour Chania.

\*Pour le nombre d'épis par m<sup>2</sup>, on a Polonicum dans les deux régions.

\*Pour la biomasse et l'indice de récolte, on a Hoggar dans les deux régions.

Le modèle de culture AquaCrop a été utilisé pour simuler le rendement, la biomasse et l'indice de récolte, ainsi il a permis de déterminer des paramètres climatiques tels que l'évapotranspiration et la transpiration de la culture afin d'estimer le coefficient du stress et les phases stressées, A partir des estimations du modèle, on peut dire que le dernier stade (Epiaison –maturité) est le plus sensible au stress hydrique dans les deux régions. Cette estimation a confirmé l'importance de l'action du stress terminal sur les génotypes.

Selon les résultats obtenus, on peut dire que la simulation du rendement, de la biomasse et de l'indice de récolte par le modèle AquaCrop a été acceptable puisqu'on a noté une corrélation entre les valeurs simulées et observées, cela est due à des problèmes de calibration.

## Conclusion

---

Le prolongement de ces travaux de recherche pourrait se faire en tentant :

-D'appliquer cette méthode de simulation par le modèle AquaCrop sur d'autres types de sol étalée sur plusieurs années, ce modèle est particulièrement adapté pour améliorer les conditions où l'eau est un facteur limitant de la production agricole.

-De créer des variétés qui valorisent mieux l'eau.

-De préparer des journées pour les agriculteurs et les informer du moment où on doit faire l'irrigation d'appoint.

-Le modèle est capable de simuler des paramètres hydrauliques, donc il serait souhaitable de les exploiter dans des études futures sur l'efficacité d'utilisation de l'eau en collaboration avec hydrauliciens.

# Référence bibliographique

## Références bibliographique

---

- Abbassenne F. 1997.** Etude génétique de la durée des phases de développement et leur influence sur le rendement et ses composantes chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Thèse magister INA Alger*, 81p.
- Affholder F. 2001.** Modélisation des cultures et diagnostic agronomique régional. Mise au point d'une méthode et application au cas du maïs chez les petits producteurs du Brésil Central. *Thèse doctorat, INA. Paris-Grignon*. Pp. 231-237.
- Ait kaki S. 2008.** Contribution à l'étude de l'interaction génotype X milieu pour la qualité technologique chez le blé dur. *Thèse de Doctorat d'Etat en Sciences université Annaba*.
- Amokrane A., Bouzerzour H., Benmahammed A. et Djekoun A. 2002.** Caractérisation des variétés locales, syriennes et européennes de blé dur évaluées en zone semi-aride d'altitude. *Sciences et Technologie, Université Mentouri Constantine*. Numéro spécial D, 33-38.
- Amrani 2013.** Maladie : Méthode et échelle de notation des maladies et accidents divers. *Bulletin des grandes cultures. ITGC*. 02. p5.
- Andarzian A., Bannayan M., Steduto P., Mazraeh H, Barati M. E, Barati M.A., Rahnama A.2011.** Validation and testing of the aquacrop model under full and deficit irrigated wheat production in Iran, *Agricultural water management, vol. 100*, pp. 1-8.
- Annicchiarico P., Bellah F. Chiari T., 2005.** Defining sub regions and estimating benefits for a specific adaptation strategy by breeding programs: a case study. *Crop Sci*, vol. 45, 1741-1749.
- Anonyme A. 2003.** Le blé. [En ligne].URL [http:// technoboulangerie.com/le-ble](http://technoboulangerie.com/le-ble). (Date de consultation: 7 mars 2003).
- Aouali S. et Douici-Khalfi A. 2013.** Recueil des principales maladies fongiques des céréales en Algérie : symptômes, développement et moyens de lutte. *ITGC*, p8-36.
- Araya A., Habtu S., Hadgu K.M., Kebede A., Dejene T. 2010.** Test of AquaCrop model in simulating biomass and yield of water deficient and irrigated barley (*Hordeum vulgare*). *Agric. Water Manage.* 97, 1838–1846.
- Araya A., Keesstra, S.D., Stroosnijder, L., 2010.** Simulating yield response to water of Tef (*Eragrostis tef*) with FAO's AquaCrop model Field. *Crop Res.* 116, 1996–2204.
- Attia F. 2007.** Effet du stress hydrique sur le comportement écophysio1ogique et la maturité phéno1ogique de la vigne (*Vitis vinifera* L.) : *Etude de cinq cépages autochtones de Midi-Pyrénées*. *Thèse INP, Toulouse (France)*, 194 p.

## Références bibliographique

---

**Barbottin A., C. Lecomte, C. Bouchard, M. Jeuffroy. 2005.** Nitrogen Remobilization during Grain Filling in Wheat. *Crop science* 45:1141–1150.

**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 p.

**Belay 2006.** Le blé dur, histoire d'une sélection millénaire. *In : Le magazine des semences et du monde végétal* : 3 p.

**Belkhodja M. et Y. Bidai. 2004.** Réponse de la germination des graines d'*Atriplex halimus* L. sous stress salin. *Revue Sécheresse*, N°4, vol.15. Pp331-335.

**Ben Mohamed L. M., Rouaïssi A., Sebei S. Hamza et M. Harrabi 2010.** Effet du génotype, de la date de semis, de la fertilisation azotée et potassique et des fongicides sur le développement de *Septoria tritici* : 8p.

**Ben Rejeb K., Abdely C., et Savouré A. 2012.** La proline, un acide aminé multifonctionnel impliqué dans l'adaptation des plantes aux contraintes environnementales. *Biologie Aujourd'hui*, 206 (4) : 291-299.

**Benaceur M., Rahmoun C., Sdiri H., Medahi M., Selmi M. 2001.** Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production de grains de blé. *Sécheresse*, 12 (3): 167- 174.

**Bendarradji L., Bouzerzour H., Ykhlef N., Djekoun A. 2010.** Etude de mécanismes de tolérance à la salinité chez deux variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L) soumis à un stress salin. *Science & Technologie C-N° 32* décembre (2010) p 23-30.

**Benhamou N. 2009.** La résistance chez les plantes. Principes de la stratégie défensive et applications agronomiques. Ed. *TEC et DOC. Paris*. 213-218p.

**Benhebireche N. 2011.** Effet du stress salin sur l'accumulation de la chlorophylle chez le blé dur. *Mémoire étude de l'effet du stress salin sur la germination de blé dur (triticum durum)*. p9

**Benmahammed A., Djekoune A., Bouzerzour H. & Hassous K L., 2005.** Genotype X year interaction of barley grain yield and its relationship with plant height, earliness and climatic factors under semi-arid growth conditions. *Dirasat, Agricultural Sciences*, vol. 32, 239 – 247.

**Benmansours et BEDDIAR S. 2011 .** Etude de la variabilité intra spécifique de la tolérance aux stress salin du blé dur (*Triticum durum*) du stade germination. Pp13-14.

**Bennasseur A. 2003.** Référentiel pour la conduite technique de la culture de blé dur (*Triticum durum* Desf.) : 24-38p.

## Références bibliographique

---

**Bhlouli F., Bouzerzour H., et Benmahammed. A. 2005.** Selection of stable and high yielding cultivar of durum wheat under semi-arid conditions. *Pakistan Journal of Agronomy*, 360-365.

**Bonjean A. 2001.** Histoire de la culture des céréales et en particulier celle de blé tendre (*Triticum aestivum* L.). *Dossier de l'environnement de l'INRA*. 21: 29-37.

**Bouatrous Y., Ykhlef N., Mohei el din Solliman Mohamed. 2009.** Physiological behaviour of durum wheat plants (*Triticum durum* Desf) grown in salt medium. *Egypt.J of Appl Sc.*, 24 (2A): 40-47 p.

**Bouchabke O., Tardieu F., Simonneau T. 2006.** Leaf growth and turgor in growing cells of maize (*Zea mays* L.) respond to evaporative demand under moderate irrigation but not in water-saturated soil. *Plant Cell and Environment*. 29: 1138-1148

**Bouchelaghem S., 2012.** Contribution à l'étude de l'impact d'un engrais couramment utilisé en algérie (NPK) sur la croissance le métabolisme et le développement racinaire d'un modèle végétale blé dur. *Thèse de doctorat université Constantine*.

**Boufenar-Zaghouane F. et Zaghouane O. 2006.** *Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie (Blé dur, blé tendre, orge et avoine)*. 1 ère édition. Alger: ECRIE. 154 p.

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

**Bousba R. Ykhlef N. Djekoun A. 2009.** Water use efficiency and flag leaf photosynthetic in response to water deficit of durum wheat (*Triticum durum* Desf). *World Journal of Agricultural Sciences* 5. 5. 609-616p.

**Bozzini A. 1988.** Origin, distribution and production of durum wheat in the world. *In Fabriani G. & Lintas C. (Ed). Durum: Chemistry and Technology. AACC (Minnesota). Etats-Unis*. 1-16 p.

**Brisson N. 2002.** Le cadre conceptuel des modèles de culture. Note Présentée par Michel-Claude Girard, correspondant de l'académie, section 7. *Unité Climat, sol et environnement. INRA-Avignon*

**Brisson N. et Delecolle R. 1991.** Développement et modèles de simulation de culture. *Agronomie* 12. Pp. 253-263.

**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

## Références bibliographique

---

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., Ruget, F., Gate, P., Lorgeau, J., Nicoulaud, B., Tayot, X., Plenet, D., Jeuffroy, M.H., Bouthier A., Ripoche, D., Mary, B., Justes, E. 2002.** STICS: a generic model for simulating crops and their water and nitrogen balances. II. Model validation for wheat and maize. *Agronomie* 22, 69-92.

**Brunner et al., 2013.** Coevolution and Life Cycle Specialization of Plant Cell Wall Degrading Enzymes in a Hemibiotrophic Pathogen. *Mol. Biol. E* vol. p1.

**Chaves M. M., Maroco J. P., Pereira J. S. 2000.** Understanding plant responses to drought - from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology*. **30**: 239- 264 p.

**Chenafi H., Aïdaoui A., Bouzerzour H., Saci A. 2006.** Yield response of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivar Waha to deficit irrigation under semi-arid growth conditions. *Asian Journal of Plant Sciences*. **5**: 854-860.

**Clarke J.M., et Mc craig T.N. 1982.** Excised- leaf water relation capability as an indicator for drought resistance of Triticum genotypes. *Can. J. Plant Sci.* **62**: 571- 578

**Clarke J.M., W.A. Norvell, F.R. Clarke et T.W. Buckley. 2002.** « Concentration of cadmium and other elements in the grain of near-isogenic durum lines. » *Can. J. Plant Sci./Revue canadienne de phytotechnie*, 82:27-33.

**Clech B. 2000.** végétale. 2ème édition. *Imprimerie Laplante, France*, 412p.

**Clement G. et Prats J. 1970.** les céréales. *Collection d'enseignement agricole. 2ème Ed.* 351p.

**CNCC. 2009.** Bulletin des variétés « céréales ». *Centre national de contrôle et de certification des semences et plantes*. 96p.

**Cook J., Johnson V.A., Allan R. E. 1991.** Le blé. In : Greef.M.W.(Eds). Méthodes traditionnelles de sélection des plantes: un aperçu historique destiné à servir de référence pour l'évaluation du rôle de la biotechnologie moderne. *Organisation de coopération et de développement économiques, Belgique*, pp 27-38.

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

**Dubos C. 2001.** Réponse moléculaire de jeunes plants de pin maritime soumis à un stress hydrique en milieu hydroponique. *Thèse de doctorat. Univ. Henri Poincaré, Nancy-I. France*.

**Dugo M. V. G. 2002.** Effet du déficit hydrique sur l'état de nutrition azotée chez les graminées fourragères. *Thèse Université de Poitiers (France)*, 189p.

## Références bibliographique

---

**El Fakhri M., Mahboub S., Benchekroium M., Nsarellah N. 2010.** Effet du stress hydrique sur les caractéristiques d'enracinement du blé dur (*Triticum durum* Desf.). Revue « Nature et Technologie » .n° 03.6/ 6-12

**El Jaafari S. 1993.** Contribution à l'étude des mécanismes biophysiques et biochimiques de résistance à la sécheresse chez le blé. Thèse de doctorat. Univ. Gembloux. Belgique: 214p.

**El Madili S. et Zivy M. 1993.** Variabilité génétique des protéines de choc thermique et thermotolérance chez le blé. In : Le progrès génétique passe-t-il par le repérage et l'inventaire des gènes. Edition AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Pp **173-181**.

**Elhani S., Martos V., Rharrabti Y., Royo C., Garcia del Moral L.F. 2007.** Contribution of main stem and tillers to durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*).

**Er-Raki S. 2007.** Estimation des besoins en eau des cultures dans la région de Tensift AL Haouz : Modélisation, Expérimentation et Télédétection. *Thèse de Doctorat, Université Cadi Ayyad Marrakech*, 112 p.

**Escalona J. M., Tomás M., Martorell S., Medrano H., Ribas-Carbo M., Flexas J. 2012.** Carbon balance in grapevines under different soil water supply: importance of whole plant respiration. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. **18**: 308-318.

**Ezzahiri B. 2001.** Les maladies du blé. Programme national de transfert de technologie en agriculture (PNTTA) N0 77 IAVH II.

**FAO. 2009.** Site des données statistiques de la FAO (Food and Agriculture Organisation of the United Nations): [www.faostat.fao.org](http://www.faostat.fao.org).

**FAO. 2018.** Site des données statistiques de la FAO (Food and Agriculture Organisation of the United Nations): [www.faostat.fao.org](http://www.faostat.fao.org).

**Feillet P. 2000.** Le grain de blé composition et utilisation. 1ère édition. INRA. Paris, 303 p.

**Fredot E. 2005.** Connaissance des aliments. 1ère édition. Lavoisier. Paris, 397p.

**Garcia de Cortazar-Atauri I. 2006.** Adaptation du modèle STICS à la vigne (*Vitis vinifera* L.). Utilisation dans le cadre d'une étude du changement climatique à l'échelle de la France. Thèse de doctorat Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Montpellier, 349pp.

**Gate Ph., Giban M. 2003.** Stades du blé. Edition ITCF, Paris, 68p.

**Grandcourt M.C. et Prats J. 1970.** Les céréales. 2ème édition, Revue et Augmentée. Editeurs Baillièrre et Fils, p. 22.

## Références bibliographique

---

**Haddad S. 2001.** Contribution à l'étude de l'influence du nitrate du plomb sur les paramètres physiologiques et biochimiques du blé (*Triticum durum*) : thèse de magistère. Dept de Biologie. Université Annaba 128 p.

**Hadria R. 2006.** Adaptation Et Spatialisation Du Modele Stics Pour La Gestion D'un Perimetre Cerealier Irrigue En Milieu Semi-Aride. Vol 216, 21-24.

**Hamadache A. 2013.** Eléments de phytotechnie générale : Grandes Culture- Tom I : Le blé. 1ère édition. Mohamed Amrani. 49-69.

**Hanks R. J., Klute A., et Bresler E. 1969.** A numeric method for estimating infiltration, redistribution drainage and evaporation of water from soil. *Water Resour. Res.* 5(5). Pp 1064-1069.

**Hanson AD., May AM., Grumet R., Bode J., Jamiesson JC. & Rhodes D. 1985.** Betaine synthesis in chenopods : localisation in chloroplasts. *Proceedings of the National Academy of Sciences. USA*; vol. 82, 3678 – 3682.

**Henry Y. et De Buyser J. 2001.** L'origine des blés. In : De la graine à la plante. *Bibliothèque scientifique* : 4 p.

**Hireche Y. A. 2006.** Reponse de la luzerne (*Medicago sativa* L) au stress hydrique et à la profondeur de semis. Mémoire de Magister, Université Al Hady Lakhdar-Batna (Algérie), 83p.

**Hopkins W. 2003.** Les relations hydriques dans la plante entière. In: Physiologie végétale. Ed. De book & Larcier. Bruxelles. 44-58p.

**Houria C., Halitim N., Mechri A. 2017.** Modélisation du comportement agronomique de quelques variétés de blé dur en milieu semi aride. Université Mohamed El Bachir El Ibrahim. P67.

**Jean-Pierre A. Philippe D. Bernard I. Gilles L. Bernard S. François T. Alban T. 2006.** Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA. France. 72 p.

**Kazi A. G., Rasheed A., Kzai A. M. 2013.** Biotic Stress and Crop Improvement: A Wheat Focus Around Novel Strategies. In Hakeem K.R. (Eds). Crop Improvement. *Springer Science+ Business Media, Pakistan*, pp 239-267.

**Khalighi M., Arzani A. et Poursiahbidi M. A. 2008.** Genetic diversity in *Triticum* ssp and *Aegilops* ssp. using AFLP markers. *African Journal of Biotechnology* Vol. 7, N0 5: 546-552.

**Laberche J-C. 2004.** La nutrition de la plante In Biologie Végétale. Dunod. 2e (éd). Paris: 154 -163 p.

**Laurent H. Sané P. 2007.** Transfert d'eau et d'énergie. In : Bioclimatologie. Concept et application. Ed. Quae. Paris. 246p.

## Références bibliographique

---

**Lery F. 1982** . L'agriculture au Maghreb ou pour une agronomie méditerranéenne. Ed. *Maisonneuve et Larose, Paris*, 338 p.

**Madhava Rao K.V., Raghavendra A.S., et Janardhan Reddy K. 2006**. Printed in the Netherlands. Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants. *Springer*: 1-14 p.

**Maury P., Langlade N., Grieu P., Rengel D., Sarrafi A., Debaeke P., Vincourt P., 2011**. Ecophysiologie et génétique de la tolérance à la sécheresse chez le tourne sol. *Innovations Agronomiques*. **14** : 123-138.16p

**Mavromatis T., Boote K.J., Jones J.W., Irmak A., Shinde D. and Hoogenboom G. 2001**. Developing Genetic Coefficients for Crop Simulation Models with Data from Crop Performance Trials. *Crop Science*, 41 : 40 - 51.

**Mazouz L. 2006**. Etude de la contribution des paramètres phéno morphologiques dans l'adaptation du blé dur (*Triticum durum Desf.*) dans l'étage bioclimatique semi aride. Thèse de Magister. *Dept Agr, Fac Sci, UHL, Batna, Algérie*.110p.

**McCown R.L., Hammer G.L., Hargeaves J.N.G., Holzworth D.P. and Freebairn, D.M. 1995**. APSIM: a novel software system for model development, model testing, and simulation in agricultural research. *Agric. Syst.*, 50 : 255–271

**Mekhlouf A., Bouzerzour H., Bemahammed A., Hadj Sahraoui A. et Harkati N. 2006**. Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum, Desf.*) au climat semi- aride. *Sécheresse*17 (4) :507-513.

**Menacer F. 2007**. Contribution à l'étude de l'effet de la salinité sur un marqueur biochimique, cas de la proline chez *Atriplex halimus L.* et *A triplex conescens (purch) Nntt*, Pp99.

**M'Hamdia H., Lamri A. 2015**. Evaluation du stress hydrique chez la culture du blé dur (*triticum durum*), validation de modèle AquaCrop sur la céréaliculture de Sétif. Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi. P 64.

**Mouellef A. 2010**. Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (*T. durumDesf.*) au stress hydrique. Mémoire magister *Université Mentouri Constantine* 82 pages.

**Moule C. 1980**. Bulletin FAO d'irrigation et de drainage N° 35. « *La mécanisation de l'irrigation par aspersion* », pp91-92.

**Moumni L. 2013**. Quantification de la contrainte hydrique chez le blé dur (*Triticum durum Desf.*) en milieu semi-aride. *Université de Ferhat Abbas –Sétif*. 58 pages.

**Munns R., James, R. A., Lauchli, A. 2006**. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *J. Exp. Bot*, 27: 1025-1043.

## Références bibliographique

---

**Nadjem K. 2012.** Contribution a L'étude Des Effets Du Semis Direct Sur L'efficacité D'utilisation De L'eau Et Le Comportement Variétal De la Culture De Blé En Région Semi-aride. *Université Ferhat Abbas Sétif*. 98 pages.

**Naville M. 2005.** La biodiversité des espèces cultivées : *Analyse dans le cas du blé*. Paris: Université Paris XI, Paris, 20p.

**Nouri L. 2002.** Ajustement osmotique et maintien de l'activité photosynthétique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.), en conditions de déficit hydrique. Thèse de magister en Biologie Végétale. 4-16p.

**Oukarroum A. 2007.** Vitalité des plantes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) en conditions de stress hydrique et thermique analysée par la fluorescence chlorophyllienne. Thèse doctorat. Université De Genève.

**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 directions for a diverse planet" Brisbane, Australia. 12pages.

**Pictav S. J. 1856.** Bulletin de l'Algérie. 1ère édition. *Just Rouvier, libraire éditeur, Paris*, 405p.

**Raes D., Steduto P., Hsiao, T.C., and Fereres, E. 2009.** AquaCrop-The FAO crop model to simulate yield response to water: II. Main algorithms and software description. *Agronomy Journal*, 101(3): 438-447.

**Richards R. A., Rebetzke G. J. Condon A. G. et Van Herwaarden A. F. 2002.** Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. *Crop Science*. 42:111-121.

**Sahraoui T. 2011.** Etude de la variabilité morphologique population f2 blé dur (*Triticum durum* Desf.) utilisation d'un indice de sélection. *Mémoire de magister. Université Hadj lakhdar batna*, p6-8.

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

**Shorter R., Lawn R.J. and Hammer G.L. 1991.** Improving genotypic adaptation in crops - A role for breeders, physiologist and modellers. *Experimental Agriculture*, 27 : 155-175.

**Slama A., Ben Salem M., Ben Naceur M. et Zid E. D. 2005.** Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. *Sécheresse* (16) 3 :225-9.

**Soltner D. 2005.** Les grandes productions végétales. 20ème Edition. *Collection science et techniques agricoles*. 472p.

## Références bibliographique

---

**Soltner D. 1990.** Les grandes productions végétales. 17ème édition. Science et technique agricoles. France, 21-25.

**Soltner D. 2000.** Phytotechnique générale : les bases de la production végétales. Tome 1 : le sol et son amélioration. Ed. Collection sciences et techniques agricoles, p 467.

**Sorrells M. E., Diab A. et Nachit M. 2000.** Comparative genetics of drought tolerance. *Options méditerranéennes* série A (Séminaires méditerranéens), 40: 19 1-201.

**Steduto P. 2008 in Traore A.2010.** Validation et calibration du logiciel AquaCrop pour l'évaluation des activités hydro-agricoles au niveau de la parcelle. Mémoire master en ingénierie de l'eau et de l'environnement. Pp. 39.

**Steduto P., Hsiao, T.C., Raes, D. and Fereres E. 2009.** AquaCrop-The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. *Agronomy Journal*, 101(3): 426-437.

**Stöckle C.O., Donatelli M. et Nelson R. 2003.** CropSyst, a cropping systems simulation model. *Eur. J. Agron.* 18 (3–4), 289–307. Second special issue “Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium on Modelling Cropping Systems, Florence, Italy”.

**Stöckle C.O., Nelson R.L. 1999.** CropSyst User's Manual. Biological Systems Engineering Department, Washington State University, Pullman, WA, USA.

**Teulat B. B., Monneveux P., Wery J., Borries c., Souyriss 1., Charrieri A., This D. 1997.** Relationships between relative water content and growth parameters under water stress in barley: a QTL study. *New Phytol.* **137**: 99-107.

**Triboi E.1990.** Modèle d'élaboration du poids du grain chez le blé tendre. *Agronomie.* 10 : 191- 200p.

**Turki N., Shehzad T., Harrabi M., Okuno K. 2014.** Detection of QTLs associated with salinity tolerance in durum wheat based on association analysis. *Euphytica.* 1-13.

**Turner NC. 1986.** Adaptation to water deficit: a changing perspective. *Aust J Plant Physiol.*13: 175-90 p.

**Uehara G. and Tsuji G.Y. 1993.** The IBSNAT project. In: Penning de Vries, F.W.T.,Teng, P., Metselaar,K. (Eds.), *Systems Approaches for Sustainable Agricultural Development.* Kluwer Academic Publisher, *Dordrecht the Netherlands*, pp. 505–513.

**Verville J.L. 2003.** Le blé, le seigle et le triticale. 18p.

**WANGXIAXIA Vinocur P., Altmn A. 200.** “plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance”, *plant*, Pp1-14.

## Références bibliographique

---

**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 p.

**Wardlaw I. F., Dawson I. A. et Munibi P. M. 1989.** Tolerance of wheat to high temperature during reproductive stage. *Australian Journal research*46: 15-24 p.

**Willmott C.J. 1982:** Some comments on the evaluation of model performance. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 63:1309–1313.

**Ykhlef N. 2001.** Photosynthèse, activité photochimique et tolérance au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Thèse de doctorat d'Etat, Université Mentouri Constantine, 146p.

**Zerrad W., Hillali S., Mataoui B., El Antri S. & Hmyene A. 2006.** Etude comparative des mécanismes biochimiques et moléculaires de résistance au stress hydrique de deux variétés de blé dur. *Biochimie, Substances naturelles et environnement. Congrès international de biochimie. Agadir.*

# Annexses

# Annexes

---

## **Annexe 01 : Profil cultural.**

**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.



**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.



**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.

## Annexes

---



**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.



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



# Annexes

**Annexe 02:** La matrice de corrélation entre les paramètres étudiés.

	TC (SPAD)	C°	Pr (µg)	HT (cm)	NE/m <sup>2</sup>	NG/E	NG/m <sup>2</sup>	PMG (g)	RDT (qx/ha)	BIOM (qx/ha)	IR (%)
TC (SPAD)	1,00										
C°	0,36	1,00									
Pr (ug)	0,17	<b>0,62</b>	1,00								
HT (cm)	-0,14	<b>-0,50</b>	<b>-0,44</b>	1,00							
NE/m <sup>2</sup>	0,04	-0,25	-0,37	<b>0,64</b>	1,00						
NG/E	-0,29	-0,47	-0,25	0,44	0,18	1,00					
NG/m <sup>2</sup>	-0,08	-0,41	<b>-0,35</b>	<b>0,62</b>	<b>0,46</b>	<b>0,57</b>	1,00				
PMG (g)	0,08	-0,06	0,14	0,120555	-0,08	0,05	-0,03	1,00			
RDT (qx/ha)	0,05	-0,37	<b>-0,35</b>	<b>0,62</b>	<b>0,44</b>	<b>0,55</b>	<b>0,89</b>	0,36	1,00		
BIOM (qx/ha)	0,22	<b>0,82</b>	<b>0,63</b>	<b>-0,50</b>	-0,20	-0,30	<b>-0,31</b>	-0,16	<b>-0,33</b>	1,00	
IR (%)	-0,25	0,4	0,16	-0,17	-0,09	0,07	-0,05	-0,07	-0,06	-0,03	1,00

**Annexe 03 :** La matrice de corrélation entre les paramètres étudiés.

	SH Phase 1	SH Phase 2	SH Phase 3	BIOM	IR	RDT
SH Phase 1	1,00					
SH Phase 2	-0,49	1,00				
SH Phase 3	<b>0,83</b>	0,01	1,00			
BIOM	<b>0,84</b>	-0,70	0,47	1,00		
IR	-0,19	-0,38	-0,40	-0,26	1,00	
RDT	-0,03	0,00	0,04	0,08	-0,28	1,00

## Annexes

**Annexe 04 :** La matrice de corrélation entre les paramètres étudiés par AquaCrop, région 1 (INRAA).

	<b>RDT OBS</b>	<b>RDT SIMU</b>	<b>BIOM OBS</b>	<b>BIOM SIMU</b>	<b>IR OBS</b>	<b>IR SIMU</b>
<b>RDT OBS</b>	1,00					
<b>RDT SIMU</b>	-0,22	1,00				
<b>BIOM OBS</b>	-0,09	<b>0,87</b>	1,00			
<b>BIOM SIMU</b>	-0,25	<b>0,96</b>	<b>0,96</b>	1,00		
<b>IR OBS</b>	-0,53	0,16	-0,26	-0,01	1,00	
<b>IR SIMU</b>	0,57	-0,50	-0,62	-0,67	-0,15	1,00

**Annexe 05 :** La matrice de corrélation entre les paramètres étudiés par AquaCrop, région 2 (Chania).

	<b>RDT OBS</b>	<b>RDT SIMU</b>	<b>BIOM OBS</b>	<b>BIOM SIMU</b>	<b>IR OBS</b>	<b>IR SIMU</b>
<b>RDT OBS</b>	1,00					
<b>RDT SIMU</b>	0,73	1,00				
<b>RDT OBD</b>	0,89	<b>0,96</b>	1,00			
<b>BIOM SIMU</b>	-0,32	0,33	0,09	1,00		
<b>IR OBS</b>	-0,81	-0,93	-0,95	-0,30	1,00	
<b>IR SIMU</b>	0,82	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	0,18	-0,92	1,00

RDT OBS : Rendement observé / RDT SIMU : Rendement simulé

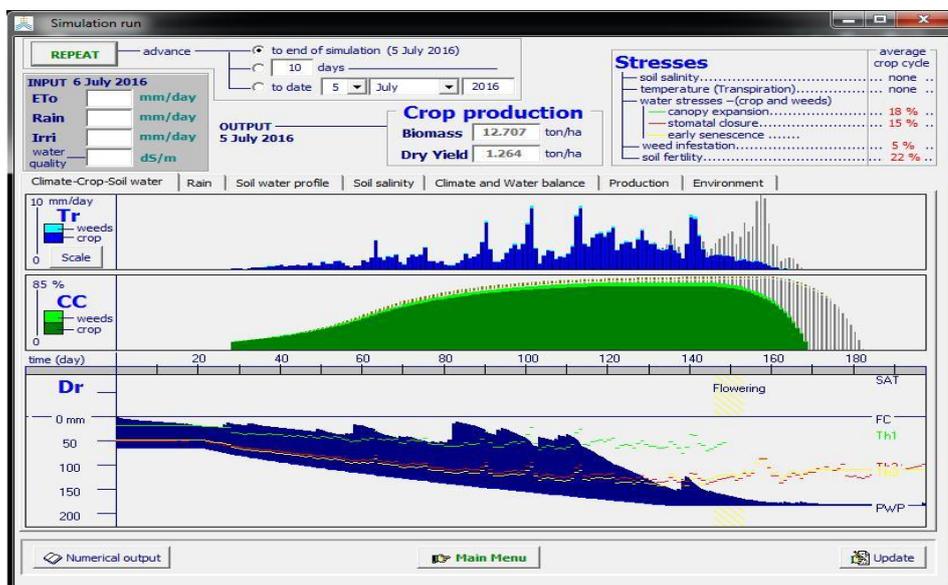
BIOM OBS : Biomasse aérienne observé / BIOM SILU : Biomasse aérienne simulé

IR OBS : Indice de récolte observé / IR SIMU : Indice de récolte simulé

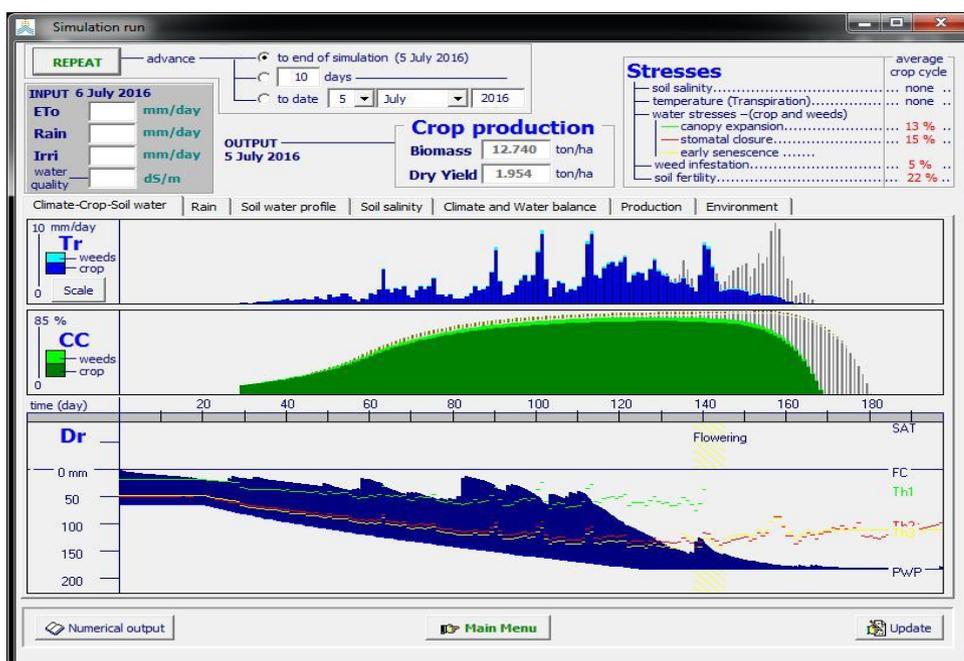
# Annexes

## Annexe 06 : Résultats des simulations du modèle AquaCrop

### 1. Oued znati

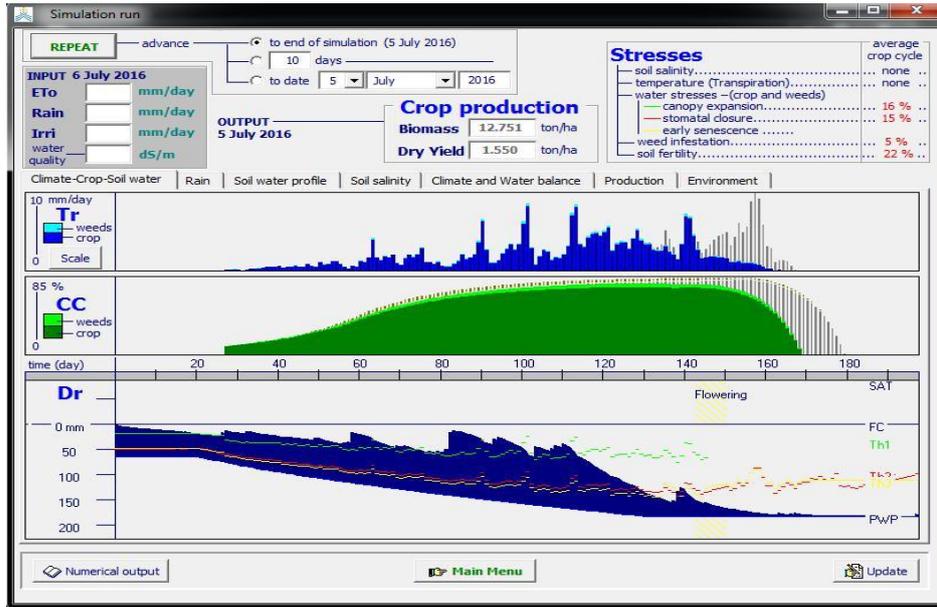


### 2. Altar 84

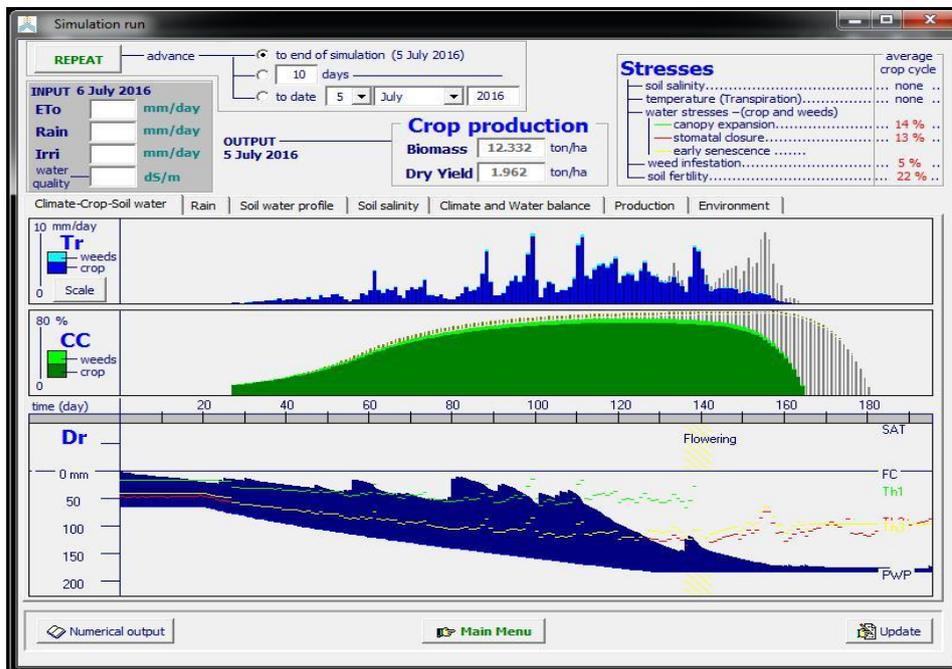


# Annexes

## 3. Mixicali 75



## 4. Bousselem



## Résumé :

### Validation du modèle « AQUACROP » sur la culture du blé dur (*triticum durum*) dans deux régions en milieu semi-aride

Une étude comparative a été réalisée au cours de la saison 2015/2016, sur deux sites expérimentaux, le premier à la station INRAA de Sétif et le second dans la région de Chania à Bordj Bou Arreridj. Le but de ce travail consiste dans un premier temps à évaluer le comportement agronomique, morphologique et physiologique de sept variétés de blé dur, trois sont des variétés introduites, et quatre variétés locales. Ensuite, on a essayé de valider le modèle Aquacrop sur la culture du blé sous un climat semi aride.

Les résultats obtenu montrent que la variété locale (waha) enregistre la valeur la plus élevée en terme de rendement dans les deux régions pour Chania (32,02 qx/ha) et pour l'INRAA (19,32 qx /ha), tandis que la variété introduite (mixicali 75) enregistre la valeur la plus faible en même terme avec (11,83 qx/ha) et (9,03 qx/ha) respectivement ; donc la région de Chenia (Bordj Bou Arreridj) est la mieux productive comparativement à la région d'INRAA (Sétif).

D'autre part les résultats montrent que le modèle peut être utilisé pour estimer l'évapotranspiration qui permet de quantifier le stress hydrique durant le cycle de développement du blé avec une bonne précision. A partir des estimations du modèle, on peut dire que le dernier stade (Epiaison –maturité) est le plus sensible au stress hydrique dans les deux régions.

**Mots clé :** blé dur, stress hydrique, modélisation, AquaCrop, zone méditerranéen

الملخص:

#### التحقق من صحة نموذج AquaCrop على زراعة القمح الصلب في منطقتين شبه قاحلتين

أنجزت الدراسة خلال الموسم 2016/2015 على مستوى محطة الأبحاث INRAA (سطيف) و منطقة الشانية ( برج بوعريريج). الهدف من هذا العمل هو أولاً تقييم السلوك الزراعي والمورفولوجي والفسيلوجي لسبعة أنواع من القمح الصلب، ثلاثة أصناف منتقاة، وأربعة أصناف محلية. ثم حاولنا التحقق من صحة نموذج Aqua crop على زراعة القمح في مناخ شبه جاف.

تظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن الصنف المحلي (الواحة) لديه أعلى قيمة من حيث الانتاج في المنطقتين بالنسبة إلى الشانية (32.02 qx / ha) و INRAA (19.32 qx / ha)، بينما أن الصنف الذي انتقي (Mixicali 75) يسجل أدنى قيمة (11.83 qx / ha) و (9.03 qx/ha) على التوالي ؛ لذا فإن منطقة الشانقي (برج بوعريريج) هي الأكثر إنتاجية مقارنة بمنطقة INRAA (سطيف).

من ناحية أخرى ، تظهر النتائج أن النموذج يمكن استخدامه لتقدير التبخر الذي يجعل من الممكن قياس الإجهاد المائي خلال دورة حياة تطور القمح بدقة جيدة. من تقديرات النموذج، يمكننا القول أن المرحلة الأخيرة (Epiaison -maturity) هي الأكثر حساسية للإجهاد المائي في المنطقتين.

**الكلمات المفتاحية:** القمح الصلب، الإجهاد المائي، النموذج AquaCrop، النمذجة، منطقة البحر الأبيض المتوسط.

## **Summary:**

### **Validation of the «AQUACROP » model on durum wheat in two semi-aride régions**

A comparative study was carried out during the 2015/2016 season on two experimental sites, the first one at the INRAA station in Sétif and the second one in Chenia region in Bordj Bou Arreridj. The aim of this work is firstly to evaluate the agronomic, morphological and physiological behavior of seven varieties of durum wheat, three varieties are introduced, and four are local varieties. Then we tried to validate the Aquacrop model on wheat growing in a semi-arid climate.

The results obtained show that the local variety (waha) has the highest value in terms of yield in the two regions for Chania (32.02 qx / ha) and for INRAA (19.32 qx / ha), while that the variety introduced (mixicali 75) records the lowest value at the same term with (11.83 qx / ha) and (9.03 qx / ha) respectively; therefore the Chenia region (Bordj Bou Arreridj) is the most productive in comparison to the region of INRAA (Setif).

Otherwise, the results show that the model can be used to estimate the evapo-transpiration which make it possible to quantify the hydric stress during the cycle of development of the wheat with a good precision. From the model estimates, we can say that the last stage (Epiaison -maturity) is the most sensitive to water stress in the two regions.

**Key words:** durum wheat, water stress, modeling, AquaCrop, Mediterranean area