

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Ibn Khaldoun –Tiaret-
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences de la Nature et de la Vie



Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master académique

Domaine: "Sciences de la Nature et de la Vie"

Filière: "Biologie"

Spécialité: " Amélioration des plantes "

Présenté et soutenu publiquement par

BELKHODJA Leila

GHLAMALLAH Yassia

THÈME

Effet du déficit hydrique sur la dynamique des racines séminales chez le blé dur (*Triticum durum* Desf)

JURY:

Président :	Mr. SAHNOUNE.M	Pr Faculté SNV Tiaret
Promoteur :	Mr. BOUBEKER.M.A	MCA Faculté SNV Tiaret
Co-promoteur :	Mr. ADDA. A	Pr Faculté SNV Tiaret
Examineure :	Mr. BOUSSAID. M	MCB Faculté SNV Tiaret

Année universitaire: 2014 –2015



Remerciement

Un travail de mémoire de fin d'études, tout nominatif soit il, n'est jamais le résultat d'un effort individuel, c'est le fruit d'une réflexion collective.

On remercie avant tout le Grand Dieu Allah, le plus puissant, le miséricordieux...

Nous tenons à remercier sincèrement notre encadreur Monsieur BOUBEKER MOHAMED AZIZ pour sa confiance, sa sincérité, sa rigueur, et sa générosité.


Sincèrement, avec beaucoup d'émotion, On témoigne nos reconnaissances à Mr ADDA Ahmed, co-promoteur. On vous suis redevable pour vos valeureux et fructueux conseils que vous avez voulu nous octroyer, votre patience et surtout votre gentillesse, notre chère professeur au-delà de l'apport scientifique qui nous a permis de mener à bien notre modeste travail, On apprécie, avec une énorme gratitude votre soutien humain et affectif, qui nous a aidé tout au long de la réalisation de ce travail. C'est grâce à votre présence et grâce à l'importance que nous m'avez daigné m'accorder, malgré vos diverses responsabilités, On me est découverte la valeur et la passion de la recherche.

Nous tenons à remercier Monsieur SAHANOUNE Mohamed, pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant de présider de ce jury qu'il trouve ici l'expression de notre profond respect.

Nos vifs remerciements vont également aux Monsieur BOUSSAID Mohamed qui a accepté d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Nous tenons à remercier très spécialement Mr AZIBI Farid, M^{me} BOUZID Assia, HADJ CHAIB Radia, LAHOUEL Habiba, BOUZIANE Samia, DJELIL Soumia, merci pour vos aides, conseils, vos encouragements, votre joie et humour qui nous ont aidés à surmonter fatigue et découragement.

Aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont attribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de notre parcours universitaire.



Dédicaces

Que ce travail témoigne de mes respects A mes parents, Happy, Fatma PaPa lhadj et Mama Aïcha, Grâce à leurs tendres encouragements et leurs grands sacrifices, ils ont pu créer le climat affectueux et propice à la poursuite de mes études. Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mes profonds sentiments envers eux. Je prie le bon Dieu de les bénir, de veiller sur eux, en espérant qu'ils seront toujours fiers de moi.

A mes chers frères, sœur et Belle sœur, que j'aime Beaucoup, Amine, Oussama, Ahmed, Nadjib, Wahiba et Amina

A mon très chère oncle Rachid, sa Femme Habiba et leur fille Asma
A ma super tante Mokhtaria, et ses enfants Sarah, djalil, sofiene et keigha

A Mes chères tantes Kheira, Zohra, Khaldia, Rachida, Fatiha et Souad

A tous Mes cousins et Cousines sans exception

A la famille Belkhodja et Yousfi.

Ils vont trouver ici l'expression de mes sentiments de respect et de reconnaissance pour le soutien qu'ils n'ont cessé de me porter. A tous mes professeurs : Leur générosité et leur soutien m'oblige de leurs témoigner mon profond respect et ma loyale considération.

A tous mes ami(e)s et mes collègues que j'adore sans exception, Mes deux Assia, ma Radia, Samia, Soumia, Nadia, Incaf, Ibtissam, Zineb, Djamila, Fati, Samira, khadija, sarah, Amina, Aïcha, Hayet, Linda, Khaldia, Imen, Sihem, Hadjira, fatima et même celles dont j'ai pas citées elles sont toutes dans mon cœur

Ils vont trouver ici le témoignage d'une fidélité et d'une amitié infinie.
Enfin, je le dédie à tous ceux que je connais et qui me connaissent de prêt ou de loin.

Leila Belkhodja



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail aux :

Plus exceptionnels qui existent dans le monde : A ma très chère mère Khiera, qui était toujours à mes cotés, par sa patience et son soutien tout au long de mes études, sans toi ce mémoire n'aurait jamais vu le jour...

Et à mon chère père Abd Kader, qui m'a appris à ne pas me contenter du minimum mais à viser l'excellence.

A mes frères : Mokhtar et sa femme et ses enfants , Hadj et sa femme et ses enfants

A ma deuxième maman : Khadouj

A ma très chère soeur : safia, A mon petit ange Saleh ALI

A ma tante : lazohra

A ma chère tata : Rokia

A tous mes cousins et cousines : Amina, Khiera, Bouadellah , Bentia, Adda , Menaouer, Nounou, Yasmine, Djamilia , Rabiaa, Wahiba

A ma meilleure amie : Djelil Soumia

A ma chérie et mon binome : Belkhodja Leila

A mes chère(s) ami (e)s : Hadj Radia, Bouziane Samia , Gerwani Wissam, Bouzid Assia , Maehddine Sarah , Benzerouk Nadia. Ilies, Joe, Hassane

A chacun par son nom A mes collègues, à toute la promotion Master II d'Amélioration des plantes .2014-2015

A tous ceux que j'aime

Ghلامallah Yassia

Liste des abréviations

%H : Humidité

CC : capacité au champ

DM : Diamètre de métaxyleme

DRA: Diamètre des racines adventives

DRS : Diamètre des racines séminales

DCP : Diamètre des cellules parenchymateuses

EPCP: Epaisseur de la paroi des cellules parenchymateuse

EPC : Epaisseur du parenchyme cortical

F: Test de Fisher

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

LG: Langlois

LRS : longueur des racines séminale

LRA: Largueur des racines adventives

LnCP(RA) : Longueur de la cellule parenchymateuse des racines adventive.

LnCP(RS) : Longueur des cellules parenchymateuses des racines adventive.

MS : Matière Sèche

MSA : Matière sèche de la partie aérienne

MSR : Matière sèche racinaire

MSR/MSA: rapport poids sec racinaire/poids sec aérien

mm : Millimètre

NRA : nombre de racines adventives

NRS : nombre de racines secondaire

Ofn: Ofanto

OZ : Oued Zenati

P : Probabilité

Ppt : poids en pleine turgescence

Ps : poids sec

RA : Racines Adventives

RS : Racines séminales

SH : situation hydrique

Sim : Simeto

TRE : teneur relative en eau

V1 : Volume racinaire de 0 à 40cm

V2 : Volume racinaire de 40 à 80cm

V3 : Volume racinaire au-delà de 80cm

Vit : Vitron

Liste des figures

Figure 01 : Dispositif expérimental.....	15
Figure 02 : Dispositif expérimentale.....	18
Figure 03 : plante de blé dur dans les trois lot, à droite 100%CC, au milieu 60%CC, à gauche.....	24
Figure 04 : Diagramme représente le nombre de racines adventives chez les différents génotypes testés sous les différents régimes hydriques.....	27
Figure 05 : Diagramme représente le Diamètre des racines séminales (mm), chez les différents génotypes testés sous les différents régimes hydriques.....	32
Figure 06 : Diagramme représente le Diamètre des racines adventives (mm), chez les différents génotypes testés sous les différents régimes hydriques.....	32
Figure 07 : Diagramme représente le volume racinaire au delà de 80cm, chez les différents génotypes testés sous les différents régimes hydriques.....	36
Figure 08 : cellule parenchymateuse des racines adventives dans le lot conduit à 30%CC..	42
Figure 09 : cellule parenchymateuse des racines adventives dans le lot conduit à 60%CC.....	42
Figure 10 : cellule parenchymateuse des racines adventives dans le lot conduit à 100%CC.....	42
Figure 11 : Cellule parenchymateuse dans le lot conduit à 30% CC.....	45
Figure 12 : Cellule parenchymateuse dans le lot conduit à 60% CC.....	45
Figure 13 : Cellule parenchymateuse dans le lot conduit à 100% CC.....	45
Figure 14 : plante de blé dur dans les deux lot, à droite 60%CC, à gauche 30%.....	47

Figure 15 : plante de blé dur dans le lot conduit à 100%CC.....	48
Figure 16 : Diagramme représente le Diamètre de l'épaisseur du parenchyme cortical, chez les différents géotypes testés sous les différents régimes hydriques.....	50
Figure 17 : Coupe transversale au niveau de la zone pilifère de la racine séminale (100%CC).....	53
Figure 18 : Coupe transversale au niveau de la zone pilifère de la racine séminale (60%CC).....	53
Figure 19 : Coupe transversale au niveau de la zone pilifère de la racine séminale (30%CC).....	53
Figure 20 : l'évolution de l'humidité du sol au niveau du cylindre conduit à 100%.....	54
Figure 21 : l'évolution de l'humidité du sol au niveau du cylindre conduit à 60%.....	54
Figure 22 : l'évolution de l'humidité du sol au niveau du cylindre conduit à 30%.....	55

Liste des tableaux

Tableau 01 : Paramètres phénologiques et morphophysiologiques d'adaptation au déficit hydrique.....	13
Tableau 02 : Les principales caractéristique du matériel végétal utilisé.....	14
Tableau 03 : Effets de la nature des géotypes et du traitement hydrique sur les variations de la teneur relative en eau.....	23
Tableau 04 : les résultats moyens de la teneur relative en eau, chez les différents géotypes testés sous les différents régimes hydriques.....	24
Tableau 05 : Effets de la nature des géotypes et du traitement hydrique sur les variations de la longueur des racines séminales.....	24
Tableau 06 : Les résultats moyens de la longueur des racines séminales, chez les différents géotypes testés sous les différents régimes hydriques.....	25
Tableau 07 : Effets de la nature des géotypes et du traitement hydrique sur les variations de nombres des racines adventives.....	27
Tableau 08 : Les résultats moyens de nombres des racines adventives, chez les différents géotypes testés sous les différents régimes hydriques.....	28
Tableau 09 : Effets de la nature des géotypes et du traitement hydrique sur les variations de taux de ramifications des racines séminales.....	29
Tableau 10 : les résultats moyens du nombre de ramifications, chez les différents géotypes testés sous les différents régimes hydriques.....	30
Tableau 11 : : Effets de la nature des géotypes et du traitement hydrique sur la longueur des racines adventives.....	31
Tableau 12 : Les résultats moyens de la longueur des racines adventives, chez les différents géotypes testés sous les différents régimes hydriques.....	33

Tableau 13: Effets de la nature des géotypes et du traitement hydrique sur le diamètre des racines séminales et adventives	33
Tableau 14: Les résultats moyens des diamètres des racines séminales et adventives, chez les différents géotypes testés sous les différents régimes hydriques (mm).....	34
Tableau 15 : Effets de la nature des géotypes et du traitement hydrique sur le volume des racines séminales estimé à trois profondeurs différentes.....	35
Tableau 16 : les résultats moyens des volumes (ml) des racines séminale (0-40, 40-80, et+80 cm) des géotypes testés sous les différents régimes hydriques.....	37
Tableau 17: Effets de la nature des géotypes et du traitement hydrique sur le rapport MSR/MSA.....	38
Tableau 18: Les résultats moyens du rapport MSR/MSA, chez les différents géotypes testés sous les différents régimes hydriques.....	39
Tableau 19: Effets de la nature des géotypes et du traitement hydrique sur les variations du diamètre des cellules parenchymateuses.....	40
Tableau 20: les résultats moyens du diamètre des cellules parenchymateuses des racines séminales, chez les différents géotypes testés sous les différents régimes hydriques.....	40
Tableau 21: Analyse de la variance de la longueur des cellules parenchymateuses des racines séminales.....	41
Tableau 22 : les résultats moyens de la longueur des cellules parenchymateuses des racines séminales.....	42
Tableau 23: Effets de la nature des géotypes et du traitement hydrique sur le diamètre des cellules parenchymateuses.....	42
Tableau 24: Effets de la nature des géotypes et du traitement hydrique sur la longueur des cellules parenchymateuses des racines adventives.....	44
Tableau 25: Les résultats moyens de la longueur des cellules parenchymateuses des racines adventives (µm).....	46

Tableau 26: Effets de la nature des géotypes et du traitement hydrique sur la longueur des racines séminales.....	48
Tableau 27: Les résultats moyens de la longueur des racines séminales, chez les différents géotypes testés sous les différents régimes hydriques.....	49
Tableau 28: Les résultats moyens de l'épaisseur du parenchyme corticale des racines séminales, chez les différents géotypes testés sous les différents régimes hydriques.....	51
Tableau 29: les résultats moyens obtenus de l'épaisseur du parenchyme cortical des géotypes testés sous les différents régimes hydriques.....	52
Tableau 30: Effets de la nature des géotypes et du traitement hydrique sur le diamètre de métaxyleme des racines séminale	52
Tableau 31 : Les résultats moyens du diamètre des éléments conducteur métaxyleme des racines séminale, chez les différents géotypes testés sous les différents régimes hydriques..	53
Tableau 32: Effets de la nature des géotypes et du traitement hydrique sur le diamètre des cellules parenchymateuses des racines séminales.....	54
Tableau 33 : Les résultats moyens du diamètre des cellules parenchymateuses des racines séminales, chez les différents géotypes testés sous les différents régimes hydriques.....	54
Tableau 34 : Les corrélations entres les paramètres étudié dans la première expérimentation.....	59
Tableau 35 : Les corrélations entres les paramètres étudié dans la deuxième expérimentation.....	60

Table de matière

CHAPITRE 1 : Synthèse Bibliographique

I. Généralité sur le blé	01
1 Définition de l'espèce.....	01
2 Description générale de la plante	01
2.1 Origine génétique	01
2.2 Caractères morphologiques	01
2.2.1 Le système aérien	02
2.2.2 Le système racinaire.....	02
2.2.2.1 Les différents types de système racinaire.....	02
a) Racines séminales	02
b) Racines adventives.....	03
2.2.2.2 L'anatomie des racines.....	03
a) L'assise pilifère	04
b) L'écorce	04
c) L'endoderme	04
d) Cylindre centrale.....	04
2.2.2.3 La rhizogénèse.....	05
a) Les conditions externes	05
b) Les conditions internes	05
3 Cycle de développement	05
3.1 Les différents stades phénologiques.....	05
3.1.1 La période végétative	06
3.1.2 La période reproductrice	06

3.1.3 La période de maturation.....	07
II. Le stress hydrique.....	09
1. Effet du stress hydrique sur la plante	09
2 Effet du stress hydrique sur le métabolisme cellulaire.....	09
2. Influence de la sécheresse sur le développement racinaire du blé dur.....	10
3. Mécanisme d'adaptation des plantes au stress hydrique.....	10
3.1. Notion d'adaptation, de résistance et de tolérance.....	10
3.2. Adaptation phénologique.....	11
3.3. Adaptation morphologique.....	12
3.3.1. Au niveau de la plante.....	12
3.3.2. Au niveau structurel.....	12
 Chapitre 2 : Matériel et méthodes	
1. Expérimentation 01.....	14
1.1. Protocole expérimental	14
1.1.1.1.....	Le
matériel végétal utilisé	14
1.1.2.Préparation de substrat de culture.....	14
1.1.3.Conditions de conduite de l'essai.....	15
1.1.4. Les mesures effectuées.....	16
1.1.4.1. La teneur en eau du sol.....	16
1.1.4.2. Les paramètres morphologiques.....	16
1.1.4.2.1. Les paramètres racinaires.....	16
1.1.4.3. Paramètres hydriques de la plante.....	17
1.1.4.4. Paramètre anatomique.....	17
2. Expérimentation 02	17
2.1. Préparation du substrat de culture	17
2.2. Conditions de conduite de l'essai	18
2.3. Les mesures effectuées.....	19

2.3.1. Les paramètres morphologiques	19
2.3.1.1. Les paramètres racinaires	19
2.3.2. Paramètre anatomique.....	19
3. Analyse statistique.....	19

Chapitre 03 : RESULTATS

I. Expérimentation 01.....	21
1. La teneur relative en eau	21
2.....	Les
paramètres morphologiques.....	23
2.1. La longueur des racines séminales.....	23
2.1.....	Le
nombre des racines adventives	26
3.1. La longueur des racines adventives.....	29
3.2. Le diamètre des racines.....	31
3.3. Le volume des racines	34
Le volume des racines 0-40cm	35
2.1.1. Le volume des racines 40-80cm	35
3.3.1.....	Le
volume des racines au-delà de 80cm	35
3.4. Le rapport MSR/MSA.....	37
3. Les paramètres anatomiques	38
3.1. Le diamètre des cellules parenchymateuses des racines séminale.....	38
2.2. La longueur des cellules parenchymateuses des racines séminales.....	40
3.3. L'épaisseur de la paroi des cellules parenchymateuses des racines séminales	41
2.3. La longueur des cellules parenchymateuses des racines adventives.....	44
II. Expérimentation 02	
1. Les paramètres morphologiques.....	47

1.1. La longueur des racines séminales.....	47
1. Les paramètres anatomiques	49
1.1. Epaisseur du parenchyme corticale	49
2.2. Diamètre des vaisseaux ligneux du métaxylème	51
2.3. Diamètre des cellules parenchymateuses.....	51
Chapitre 04 : Discussion	55
Conclusion	60

Introduction

Les céréales constituent la principale ressource alimentaire, à la fois pour la consommation humaine directe et indirecte et en tant qu'intrants pour l'alimentation (**FAO, 2015**). Parmi ces espèces, en Algérie, le blé dur détient la plus importante part dans le schéma de la production végétale. L'importance allouée à la culture de cette espèce se justifie principalement par une large consommation de ses produits, qui constituent un élément clé dans le modèle alimentaire des Algériens. Cependant, les faibles productions enregistrées successivement au fil des campagnes et qui s'expliquent principalement par les faibles rendements, font que notre pays se compte parmi les plus grands importateurs du blé dans le monde.

Les faibles rendements qui s'enregistrent au cours des campagnes, reflètent l'expression de nombreuses entraves et dont les stress climatiques en occupent la part importante. Effectivement, les sécheresses d'intensités variables et répétées affectent considérablement l'expression des potentialités productives de l'espèce (**ADDA et al., 2005**). Cette situation se confirme par la localisation des aires céréalières en Algérie qui se concentrent principalement au niveau des plaines intérieures et les hauts plateaux, incluses dans les régions semi-arides. Les objectifs tentant d'améliorer l'expression des rendements sous ces conditions, nécessitent l'application d'une irrigation d'appoint et/ou la conduite d'un matériel végétal plus tolérant au déficit hydrique et ayant une meilleure efficacité d'utilisation d'eau.

La plupart des travaux effectués sur le blé dur dans le cadre de l'amélioration génétique de la tolérance au stress hydrique, se sont donnés pendant longtemps pour objectif primordial l'augmentation de la productivité, une approche basée sur les performances agronomiques. Actuellement, les programmes d'amélioration du blé s'intéressent de plus à l'amélioration génétique de la tolérance au stress hydrique. Cet objectif exige un criblage et une étude préalable des différents critères impliqués dans la tolérance au déficit hydrique (**Pfeiffer et al., 2000**)

Le système racinaire est considéré comme l'un des principaux organes dont la variabilité intra et inter spécifique conditionnent grandement les aptitudes de tolérance au déficit hydrique. De nombreux travaux (**Batchou et al., 1990** et **Annerose., 1990**) démontrent que le blé dur offre une variabilité génétique importante et peut être exploitée pour le

remodelage d'une architecture racinaire efficace dans l'absorption d'eau en situation de faible potentiel hydrique. Le blé dur comme toutes les espèces céréalières se distinguent par la coexistence de deux types de racines, séminales et adventives. Pour les deux types, la croissance en longueur s'avère l'une des principales caractéristiques permettant à la plante d'explorer les horizons les plus profonds du sol, demeurant plus humides en situation de rareté des ressources hydriques (**BROWN et al., 1985 ; Clarke et al., 1992**).

Le travail que nous réalisons traite les différents aspects de la croissance en longueur des racines séminales. Le principal objectif tente de définir les différents paramètres qui conditionnent la dynamique racinaire en conditions de déficit hydrique et les principales modifications de l'architecture racinaire et leur implication sur l'alimentation hydrique de la plante.

I. Généralité sur le blé

1. Définition de l'espèce

Le blé dur est une plante monocotylédone, appartenant à la famille des graminées (Graminacées), (CLEMENT, 1971) au genre *Triticum*, à l'espèce *durum* Des fontaines (MOULE, 1980).

2. Description générale de la plante

2.1 Origine génétique

Le blé est le nom commun utilisé pour l'ensemble des espèces des deux genres *Triticum* et *Aegilops*. Le premier comprenant des formes cultivées, domestiquées et apparentées et le deuxième regroupe seulement des espèces sauvages.

Les espèces de *Triticum* sont annuelles, principalement des herbes. Appartenant à la famille de graminée (poaceae) qui compte plusieurs espèces répertoriées pratiquement sur toute la surface des continents (CALIGARI et BRANDHAM, 2001); comprenant les récoltes de céréales comme l'orge, le blé, le maïs et le riz, celles-ci ont plutôt une récente ascendance (DONNARSet SARAZIN, 2007). A l'intérieur de la famille d'herbe, le blé est placé dans la sous-famille de poideae et la tribu de triticeae. Les *Triticum* montrent de différents niveaux de ploïdie : diploïdes ($n = 7$, $n = 14$), Tétraploïdes ($2n = 28$) et hexaploïdes ($2n = 42$), les deux derniers sont des allopolyploïdes (GONCHAROV, 2005).

Selon MORI et al., (1997), Le genre *Triticum* L. est classé en quatre groupes : « Engrain » (AA, $2n = 14$), « Amidonnier » (AA BB, $2n = 28$), *T. timopheevii* (AA GG, $2n = 28$) et *T. aestivum* (blé tendre) (AA BB DD, $2n = 42$) (YAMANE et KAWAHARA, 2005). Leur famille comprend 600 genres et plus de 5000 espèces (FEUILLET, 2000).

Le blé dur (*Triticum Durum* Desf.) ($2n = 4x = 28$, AABB) est une céréale qui prospère dans un climat relativement sec avec des journées chaudes et des nuits fraîches pendant la végétation (BULLETEN, 2000, in DATOLOUM, 2006 ; MESTIRI et al., 2010).

2.2 Caractères morphologiques

L'appareil végétatif comprend l'appareil aérien et l'appareil racinaire (GATE et GIBAN, 2003).

2.2.1 Le système aérien

La partie aérienne est formée d'un certain nombre d'unités biologiques, les talles, les feuilles et les gaines. Le talle est formé d'une tige feuillée ou chaume portant à son extrémité une inflorescence (**CLARKE et al, 2002**). Le premier talle apparu est appelé brin-mâitre. Il se forme à partir de bourgeons axillaires aux nœuds à la base de la tige principale (**BOZZINI,1988**). Les feuilles sont simples, allongées, alternées et à nervures parallèles alternes oudistiques (disposées sur deux rangs le long de la tige). Au point d'attache de la gaine de la feuille se trouve une membrane mince et transparente (ligule) comportant deux petits appendices latéraux (oreillettes).

L'épi est constitué d'unités de base, les épillets, est une petite grappe de un à cinq fleurs enveloppées chacune par deux glumelles (inférieure et extérieure). La grappe est incluse entre deux bractées ou glumes, les fleurs sont attachées sur le rachis et sont autogames (**ANONYME,2003**).

2.2.2 Le système racinaire

Le blé dur, comme toute graminée, présente un système racinaire de type fasciculé ou chaque axe se ramifie pour donner naissance à des racines secondaires et tertiaires (**GATE, 1995**).

Pour **PRATS et CLEMENT-GRANDCOURT (1971)**, le blé dur présente un enracinement peu développé et relativement superficiel.

2.2.2.1 Les différents types du système racinaire

On distingue deux types des racines chez le blé dur qui apparaissent successivement, les racines séminales ou primaires et les racines adventives ou secondaires (**MAERTENS et al.,1989, ROBERT et al., 1992 in GATE,1995**).

a) Racines séminales

Les racines séminales sont associées dans la graine à différentes parties de l'embryon (**GATE,1995**). Leur nombre est un caractère qui présente une forte variabilité inter et intra spécifique et une héritabilité élevée (**ROBERTSON et al., 1979 in BENLARIBI, 1990**). Ce nombre est généralement de six comporte une racine principale qui se développe suite à l'allongement de la radicule, deux ou trois racines issues du scutellum et trois racines initiées à partir de l'épi blaste (**GATE,1995**). Le fonctionnement du système racinaire séminale assure à lui tout seul le développement de la partie aérienne jusqu'au stade tallage

(ADDA,2005;SAHNOUNE,2004).Cependant,BENARIBI(1990) affirme qu'une surface foliaire plus grande ainsi qu'une richesse en eau élevée des feuilles sont favorisées par le maintien du système racinaire adventif plutôt que par son élimination au profit des racines séminales seules;ce qui le fait pencher en faveur du développement de l'expression de ce dernier pour l'amélioration de la tolérance au déficit hydrique.

b) Racines adventives

Les racines adventives n'apparaissent que plus tard, très souvent vers le stade 3-4 feuilles (GATE, 1995). Ces racines se développent à partir des primordiaux situés à la base des deux premiers nœuds différenciés de la tige principales (BENLARIBI, 1990).

Elles proviennent donc du plateau de tallage ou les premières ébauches racinaires adventives se poursuivent alors durant tout la période végétative et la phase d'initiation de la floraison (GRIGNAC, 1965;PINTHUS, 1969 cité par BENLARIBI, 1990).Leur nombre est lié très étroitement à l'aptitude au tallage du génotype.

2.2.2.2 L'anatomie des racines

Elle est représentée par quatre zones caractéristiques. Chaque racine comprend un méristème primaire responsable de sa formation et sa croissance en longueur et protégé par la coiffe, une zone de croissance, une zone pilifère et la zone subérifiée, au niveau de laquelle s'opère sa ramification par l'apparition des racines secondaires (LAFON et al. 1996 in DJELLAOUI, 2005).

La coiffe est une sorte d'étui qui recouvre l'extrémité radulaire ou méristème, et se renouvelle en permanence par sa face interne (CAMERFORT,1984).

La zone lisse, située en arrière du point végétatif, est une zone de croissance et de différenciation cellulaire initiant la structure primaire de la racine (LAFON et al, 1996 inDJALLAOUI, 2005).

La zone pilifère forme un manchonde quelque centimètre de hauteur qui se détruit en direction basifuge.Elle est remplacée par des cellules sous-jacentes qui se sont subérifiées (ROLAND,1999 in DJELLAOUI,2005).

La zone subéreuse, au-dessus de la zone pilifère, elle est de couleur brune et plus au moins rugueuse (HAMMICHE, 1995 in DJELLAOUI, 2005).

Le blé, angiosperme monocotylédone présente seulement une structure primaire des tissus conducteurs, xylème primaire et phloème primaire.Au niveau des parties des racines

ayant achevé leur croissance. le xylème primaire est représenté par un méta xylème fonctionnel (**CAMEFORT, 1984**). Chez le blé ce méta xylème est central (**ESSAU, 1965**). Les racines des végétaux vasculaires sont constituées de l'extérieure vers l'intérieure par les parties suivantes: L'assise pilifère, l'écorce et le cylindre central.

a) L'assise pilifère

C'est une couche continue de cellules aux membranes minces, cellulosiques et parfaitement unies les unes aux autres, qui engendrent des poils absorbantes dont la forme varie avec l'état physique du milieu (**CAMEFORT, 1984**).

b) L'écorce

Constitué d'un parenchyme non chlorophyllien (Amylifère) riche en méats, qui a un rôle de réserve. A travers ce parenchyme, la sève brute minérale traverse l'écorce et migre grâce à un gradient de succion entre les parties périphériques et internes de ce parenchyme (**ROLAND et al., 1983**).

c) L'endoderme

L'endoderme constitue la limite interne de l'écorce et les cellules endodermiques présentent une assise très jointive grâce à un cadre subérifié dans leurs parois appelé le cadre de Caspary, à leur niveau le gradient de succion est interrompu (**ROLAND et al., 1983**). Il est représenté une assise de cellules régulièrement disposées et allongées dans le sens de la longueur de la racine. Les parois latérales de chaque cellule présentent des épaissements imprégnés de lignine et de subérine formant le cadre de Caspary (**KRAMER, 1995**).

d) Cylindre central

L'endoderme enveloppe le cylindre central, l'assise externe du cylindre central en contact avec l'endoderme forme le péricycle (**CAMEFORT, 1984**).

Les faisceaux du xylème s'organisent par rapport au centre du cylindre comme les rayons d'une roue, et le phloème se trouve dans les angles entre les éléments du xylème (**LUTTGE et al, 1996**).

Le rôle du xylème est le transport de la sève brute. Par contre, le phloème permet le déplacement de la sève élaborée riche en produits d'assimilation utilisé par la croissance apicale ou mises en réserve dans le cortex (**ROLAND et al, 1983**).

2.2.2.3 La rhizogénèse

La formation des racines est un processus de morphogénèse régie par de nombreux facteurs qui peuvent être groupés suivent deux types, les conditions externes et internes.

a) Les conditions externes

CLEMENT (1971), indique que le blé dur présente un enracinement peu développé et relativement superficiel. Ceci est souvent vérifié dans le cas des variétés précoces. Néanmoins, il existe une grande variabilité génétique au sein de l'espèce du blé dur en ce qui concerne l'appareil racinaire et ces composants (nombre de racines, le volume racinaire, masse racinaire et la profondeur racinaire). Cette variabilité est plus accentuée par l'influence des conditions pédoclimatiques. La température et l'humidité du sol sont les deux principaux facteurs abiotiques qui agissent sur l'émission des racines chez les graminées (**PICARD, 1973 in BENLARIBI, 1990**). Ils s'avèrent être des paramètres déterminants dans les différentes étapes d'émission et de développement ultérieure des racines (**PICARD, 1973**).

b) Les conditions internes

Les travaux de **HESS (1969)** sur la rhizogénèse fournissent une explication au nombre de racines développées, basée sur les équilibres hormonaux. Ces substances synthétisées dans les feuilles migraient dans les assises rhizogénèseux elles provoquent l'initiation racinaire (**BENLARIBI, 1990**).

Cette théorie suppose que la plante dispose d'un appareil foliaire suffisant pour que de nouvelles racines puissent être initiées et émises (**BENLARIBI, 1990**).

L'auxine agit sur la prolifération des cellules, sur leur élongation et sur leur différenciation (**PROST, 1980**). D'après **HELLER (2000)**, l'auxine augmente les deux composantes de l'extensibilité de la paroi (plasticité et élasticité), permettant à la cellule de s'allonger sous l'effet de la turgescence.

3. Cycle de développement

3.1 Les différents stades phénologiques

Le cycle de développement du blé dur comprend trois principales phases, la phase végétative, la phase reproductrice et la phase de maturation.

3.1.1 La période végétative

Qui s'étend de la germination au tallage. La germination est l'ensemble des phénomènes par lesquels la plantule, en vie ralentie dans la graine mûre, commence une vie active et se développe grâce aux réserves contenues dans cette dernière (**MAZOYER, 2002**). Elle se débute lorsque la graine commence à absorber de l'eau (**BILL, 2007**) et elle se traduit par la sortie des racines séminales et par la croissance de la coléoptile (**BOULAL et al, 2007**). La levée est notée quand 50 % de plantules sont sorties du sol. Pendant cette phase, les jeunes plantes sont sensibles au manque d'eau qui provoque une diminution de nombre (**KAROU et al, 1998**). Le tallage comporte trois principaux stades, début, plein et fin tallage.

Cette phase s'amorce à partir de la quatrième feuille et elle se caractérise par l'entrée en croissance des bourgeons différenciés à l'aisselle de la première feuille, dont le bourgeon donnera le maître-brin (**SOLTNER, 1990**). Le fin tallage marque la fin de la période végétative (**GATE, 1995**).

3.1.2 La période reproductrice

Stade ébauche d'épillets

Selon **BOUFENAR-ZAGHOUANE et ZAGHOUANE (2006)**, le début de cette phase est marqué par une différenciation de l'ébauche d'épillet sur l'apex et par une transformation du bourgeon végétatif en bourgeon floral. La fin de ce stade est repérée par l'apparition de deux renflements latéraux qui apparaissent sur l'épillet, ce sont les ébauches des glumes (**BOULAL et al, 2007**).

Stade Montaison-gonflement

Selon **BALDY (1984)**, la montaison constitue la phase la plus critique du développement du blé. Cette phase s'achève une fois l'épi prend sa forme définitive à l'intérieur de la gaine de la feuille étendard qui gonfle (**stade gonflement**).

Stade Epiaison-floraison (anthèse)

L'épiaison se détermine par l'apparition de l'épi hors de la gaine de la dernière feuille. Les épis dégainés fleurissent généralement entre 4 à 8 jours après l'épiaison (**ABASSENNE et al, 1998 ; BAHLOULI et al, 2005**).

La précocité de la floraison est un facteur très important dans les environnements où les facteurs limitants hydriques et thermiques sont souvent une contrainte pendant la période de remplissage des grains (**BARBOTIN, 2004**).

3.1.3 La période de maturation

Au cours de cette dernière période, l'embryon se développe et l'albumen se charge des substances de réserves. **GESLIN et JONARD (1948)** in **MAZOUZ (2006)** mentionnent que cette phase se compose de trois étapes successives. La première étape est définie comme une phase de multiplication des cellules du jeune grain encore vert, elle se termine par le stade laiteux (le grain s'écrase facilement en laissant apparaître un liquide blanchâtre). La seconde étape concerne l'accumulation des assimilats, le poids frais des grains continue à augmenter alors que celui des tiges et des feuilles diminue et se termine par le stade pâteux où le grain s'écrase en formant une pâte. La dernière période est qualifiée de phase de dessiccation, le grain devient dur et de couleur jaunâtre. C'est le stade de la maturation physiologique (**BOUFENAR- ZAGHOUANE et ZAGHOUANE, 2006**). La période s'achève par la phase de dessèchement du grain qui perd de son humidité pour atteindre son poids sec final (**WARDLAW, 2002**).

II. Le stress hydrique

Le stress hydrique est l'un des stress environnementaux les plus importants, affectant la productivité agricole autour du monde (**BOYER, 1982**).

Sous stress hydrique, la plante perd la capacité d'établir un équilibre entre son bilan hydrique et sa turgescence qui s'annule (**BELOUT, 2000**), elle passe de l'état productif à l'état de survie qui représente sur le plan agronomique le facteur responsable de la réduction des rendements (**BENBELKACEM, 1997**).

C'est un problème sérieux dans beaucoup de zones arides et semi-arides, où les précipitations changent d'année en année et où les plantes sont soumises à des périodes plus ou moins longues de déficit hydrique (**BOYER, 1982**).

Le stress hydrique a été défini comme une baisse de la disponibilité de l'eau, traduisant par une réduction de la croissance de la plante et/ou de sa reproduction par rapport au potentiel du génotype. La contrainte hydrique est le facteur ou l'ensemble de facteurs ayant pour conséquence le stress. D'autres auteurs limitent la définition du stress aux seules conditions correspondant à une hydratation suboptimale des tissus (**LAMAZE et al., 1994**).

L'installation d'une sécheresse se manifeste par la combinaison d'une part, de la restriction de la disponibilité en eau du sol et, d'autre part, de l'augmentation de la demande évaporatrice (**KIANI, 2007**).

Le manque d'eau peut se manifester aussi bien dans le sol que dans l'atmosphère (**SCORIC, 1990**). Généralement, la sécheresse du sol est lente (**LARCHER, 1995**), mais la diminution de l'humidité de l'air peut parfois être rapide (**YOKOTA et al., 2006**).

D'un point de vue physique, le stress hydrique résulte d'un abaissement du potentiel hydrique dans l'air et/ou dans le sol en dessous d'une certaine valeur, dépendant du génotype, du phénotype et des caractéristiques du milieu (type de sol, température, vent, etc.) (**LAMAZE et al., 1994**).

L'évaporation de l'eau abaisse le potentiel hydrique et augmente la concentration du sol en sels. La plante perçoit la sécheresse du sol comme une augmentation de la concentration des sels autour de la surface des racines et/ou une augmentation de la pression osmotique des cellules racinaires (**YOKOTA et al., 2006**).

1. Effet du stress hydrique sur la plante

Le stress hydrique se traduit par une réduction de la croissance de la plante et de sa production par rapport au potentiel du génotype. Son effet dépend de son degré, sa durée, le stade de développement de la plante, le génotype et son interaction avec l'environnement (**YOKOTA et al., 2006**).

Le déficit hydrique constitue un important facteur limitant pour la production des cultures céréalière dans les zones arides et semi-arides (**EI MOURID et al., 1996**) qui se caractérisent par une forte irrégularité des précipitations (**BOUTIFIRASS et al., 1994**).

Selon (**BENSEDDIK et BENABDELLI, 2000**), le blé dur est confronté à plusieurs types de sécheresse qui l'affectent au cours de son cycle de développement, il s'agit de :

- la sécheresse au début de cycle végétatif et qui affecte l'installation de la culture ;
- la sécheresse au milieu de cycle végétatif et qui affecte principalement la fertilité des organes reproducteurs de la plante ;
- la sécheresse en fin de cycle végétatif qui affecte la formation et le remplissage du grain.

Chez le blé dur, le déficit en eau affecte son développement et ralentit son taux de croissance, ceci engendre un faible tallage, une réduction de la surface foliaire (**LEGG et al., 1979**), ce qui se traduit par réduction de la biomasse finale (**VILLEGAS et al., 2001**).

Ainsi la répercussion du déficit hydrique se traduit par la diminution de la matière sèche durant la période végétative et reproductrice et par conséquent la diminution des rendements (**TANNER et SINCLAIR, 1983**), ou 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**)

L'effet du déficit hydrique sur ces composantes, et par conséquent sur le rendement, dépend du stade au cours duquel ce déficit survient (**DEBAEKE et al., 1996**). Le déficit hydrique précoce, au cours de la montaison, réduit le nombre d'épis et le nombre de grains par épi. Le poids moyen du grain, quant à lui, est affecté par le déficit hydrique de la post-floraison, qui accélère la sénescence foliaire et réduit la durée de remplissage (**ECKHART, 2002**)

Le déficit hydrique peut affecter la durée des stades de croissance, en effet la durée du cycle du semis à l'anthèse se raccourcit au fur et à mesure qu'augmente le déficit hydrique, particulièrement le stade de floraison qui se manifeste par sa diminution (**GARCIA DEL MORAL et al., 2003; MAGRIN, 1990**).

Le processus le plus sensible au stress hydrique est la croissance cellulaire, la diminution de la turgescence réduit l'expansion cellulaire (**RASMUSSEN et MOSS, 1972**). Sous l'effet du stress hydrique la diminution de la synthèse de la paroi cellulaire et des protéines entraîne la réduction de la croissance des jeunes pousses et des feuilles. Le stress hydrique réduit la vitesse d'élongation des cellules de la tige, en partie, à cause de l'accumulation de l'acide abscissique (**ECKHART, 2002**)

2. Influence de la sécheresse sur le développement racinaire du blé dur

Le déficit hydrique n'affecte pas seulement la partie aérienne, mais la partie racinaire prend aussi sa place où la racine représente le premier organe de détection de stress hydrique et, en particulier, leur extrémité qui est le site principal pour une telle perception (**SHIMAZAKI et al., 2005**). La répercussion se traduit par un ralentissement de la croissance du système racinaire (**BENLARIBI et al., 1990**).

Il existe une variation génotypique dans la morphologie des systèmes racinaires de blé face à une sécheresse (**KAROU, 1992; GREGORY, 2006; RICHARDS et al., 2007; PALTA et WATT, 2009; LILLEY et KIRKEGAARD, 2011**).

DAALOUL et al. (2002), démontre qu'en conditions de déficit hydrique, le blé dur intensifie la longueur des racines séminales ainsi que leur ramification dans les couches de sol les plus humides alors que **BENLARIBI et al. (1990)** observent que le déficit hydrique

affecte significativement le nombre de racines chez le blé dur, réduisant le volume et la masse racinaire (**KHALDOUN et al., 1990**).

3. Mécanisme d'adaptation des plantes au stress hydrique

3.1 Notion d'adaptation, de résistance et de tolérance

AHMADI(1983), définit l'adaptation des végétaux au déficit hydrique comme étant un résultat de l'intervention de plusieurs caractéristiques morphologiques, physiologiques et anatomiques .Elle se traduit en réponse à la contrainte hydrique par une succession des modifications à l'échelle cellulaire, subcellulaire et moléculaire selon les potentialités génétiques de l'espèce (**DEMARLY, 1984 in Ait kaki,1993**).

La tolérance à la sécheresse est un mécanisme par laquelle les plantes maintiennent un métabolisme régulier malgré une réduction du potentiel hydrique foliaire, le maintien de la turgescence cellulaire consécutive à une diminution du potentiel hydrique à la baisse du potentiel osmotique (**TURNER,1976; JONES,1980**).

La résistance d'une plante à une contrainte hydrique peut être définie, du point de vue physiologique, par sa capacité à survivre et à s'accroître et du point de vue agronomique, par l'obtention d'un rendement plus élevé que celui des plantes sensibles (**MADHAVA RAO et al.,2006**). La résistance globale d'une plante au stress hydrique apparaît comme le résultat de nombreuses modifications phénologiques, anatomiques, morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui interagissent pour permettre le maintien de la croissance, du développement et de la production (**HSISSOU, 1994**).

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 (Esquive, évitement et tolérance) (**TURNER, 1986**).

3.2 Adaptation phénologique

Pour éviter les périodes difficiles pour la croissance et le développement, certaines variétés accomplissent leurs cycles de développement avant l'installation de stress hydrique. La précocité constitue donc un important mécanisme d'évitement au stress hydrique de fin de cycle (**BEN NACEUR et al.,1999**). Dans ces conditions, les paramètres phénologiques d'adaptation ou paramètres de précocité définissent le calage du cycle vis-à-vis des contraintes environnementales (**BEN NACEUR et al.,1999**).

La précocité assure une meilleure efficacité de l'utilisation de l'eau. En effet, en produisant la biomasse la plus élevée, les génotypes à croissance rapide et à maturité précoce utilisent mieux l'eau disponible et ils sont moins exposés aux stress environnementaux que les génotypes tardifs (**BAJJI, 1999**). Le rendement en grains est positivement corrélé à la précocité d'épiaison (**GONZALEZ et al., 1999**). En effet, les variétés qui ont une vitesse de croissance élevée ont la capacité de mieux utiliser les sources nutritives à la fin du cycle de développement lorsque celles-ci deviennent limitantes (**POORTER, 1989**). La précocité de l'épiaison peut donc être utilisée comme critère de sélection pour améliorer la production dans les zones sèches. C'est l'un des traits les plus importants dans l'adaptation des plantes au stress hydrique (**BEN SALEM et al., 1997**).

3.3 Adaptation morphologique

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 (**BAJJI, 1999**).

3.3.1 Au niveau de la plante

La diminution de la surface foliaire des feuilles et du nombre de talles est considérée comme une réponse ou adaptation au manque d'eau (**BLUM, 1996**).

Chez le blé, l'enroulement des feuilles chez certaines variétés peut être considéré comme un indicateur de perte de turgescence en même temps qu'un caractère d'évitement de la déshydratation, il entraîne une diminution de 40 à 60 % de la transpiration (**AMOKRANE et al., 2002**). La longueur des barbes est un paramètre morphologique qui semble également étroitement lié à la tolérance au stress hydrique (**HADJICHRISTODOULOU, 1985**). Ainsi la hauteur de la plante apparaît comme un critère de sélection important particulièrement dans les zones arides, ceci s'expliquerait par le fait qu'une paille haute s'accompagne souvent d'un système racinaire profond ce qui conférerait à la plante une capacité d'extraction de l'eau supérieure (**BAGGA et al., 1970**). Les plantes à enracinement superficielle et peu dense souffrent plus du déficit hydrique que ceux à enracinement profond (**EL HASSANI et PERSOONS, 1994**).

3.3.2 Au niveau structurel

Une des principales modifications structurelles, observée sur des plantes ayant subi un stress hydrique, concerne l'altération des propriétés physico-chimiques des parois cellulaires (DIXON et PAIVA, 1995). Ces changements peuvent être induits par des modifications au niveau des enzymes impliquées dans la biosynthèse des monolignols ou dans leur assemblage dans la paroi. L'augmentation de l'expression de ces gènes peut être reliée à l'arrêt de la croissance et à l'épaississement de la paroi (DIXON et PAIVA, 1995).

Tableau 01 : Paramètres phénologiques et morpho physiologiques d'adaptation au déficit hydrique.

		Exemple
Paramètres phénologiques		Précocité
Paramètres morphologiques	Paramètres Macromorphologiques	Extension du système racinaire Port et surface des feuilles Taille du chaume Longueur des barbes Enroulement des feuilles Densité du trichome Glaucescence et couleur des feuilles
	Paramètres micromorphologiques	Présence de cires Densité et taille des stomates Compaction du mésophylle Epaisseur de la cuticule Nombre et diamètre des vaisseaux au xylème racinaire
Paramètres physiologiques		Effets stomatiques et non stomatiques du déficit hydriques sur la photosynthèse Réduction de la transpiration par fermeture des stomates Maintien d'un potentiel hydrique élevé Osmorégulation (accumulation d'ions minéraux, de proline, de sucres solubles)

(D'après MONNEVEUX, 1991)

Matériel et méthodes

Le travail présenté tente d'étudier la dynamique racinaire de 5 variétés de blé dur sous condition hydrique normale et sous condition de stress hydrique qui permette d'observer les différents remodelages morpho-anatomiques susceptibles d'améliorer les capacités de tolérance au stress.

Deux expérimentations ont été menées sous serre dans des conditions semi-contrôlées au niveau de l'Institut des Sciences Agronomiques et Biologiques de l'Université de Tiaret.

2. Expérimentation 01

3.5. Protocole expérimental

3.5.1. Le matériel végétal utilisé

L'étude a porté sur cinq génotypes de blé dur (*Triticum durum Desf*) d'origine locale et introduite (Tab. 01). Le matériel végétal a été fourni par l'Institut Techniques des Grandes Cultures (I.T.G.C) de Tiaret.

Tableau 01. Les principales caractéristiques du matériel végétal utilisé

Génotype	Origine	Cycle végétatif	Tolérance à la sécheresse
LANGLOIS	ALGERIE	Tardif	Tolérante
OFANTO	IEC (ITALIE)	Semi-précoce	Tolérante
OUED ZENATI	LOCALE(Algérie)	Tardif	Tolérante
SIMETO	IEC (Italie)	Semi-précoce	Sensible
VITRON	Espagne	Semi-précoce	Sensible

Le substrat de culture utilisé est composé de sable, sol et fumier à des proportions respectives de 8 : 1: 1, Un tamisage approprié est appliqué afin de supprimer les différents débris et déchets dans le but d'obtenir un substrat fin.

3.5.2. Conditions de conduite de l'essai

Le semis des grains désinfectés et pré-germés est réalisé dans des cylindres en PVC de 100cm de long et 4cm de diamètre. L'essai comporte trois traitements hydriques. Un traitement témoin conduit à un régime d'irrigation de 100 % de la capacité au champ et deux autres traitements ayant subis des déficits hydriques progressifs de 60 % et 30 % de la capacité au champ.

Les cylindres sont disposés selon 3 lots (Figure 01). Tous les cylindres sont irrigués à la capacité au champ jusqu'au stade troisième feuille. Le régime d'irrigation est ensuite modifié. Un lot continue à être irrigué jusqu'à la fin de l'expérimentation, Au niveau des deux autres on a procédé par un arrêt d'arrosage progressif donnant des niveaux de 30% et 60 % de la capacité au champ.

Les cylindres sont répartis selon les trois traitements, au niveau des quelles les cinq génotypes sont répétés 3 fois donnant un total de 45 cylindres disposés de manière aléatoire. La dose d'irrigation pratiquée est déterminée par des pesées quotidiennes des cylindres. L'eau d'irrigation est substituée la première fois par une solution nutritive commerciale de type ACTIVEG.les irrigation qui poursuivent se font avec de l'eau seulement.



Figure 01. Dispositif expérimental

3.5.3. Les mesures effectuées

3.5.3.1. La teneur en eau du sol :

Après prélèvement des plants, les différents horizons du sol (0-10cm, 10-20cm, 20-30cm, 30-40cm, 40-50cm, 50-60cm, 60-70cm, 70-80cm, 8-90cm et 90-100cm) sont récupérés et l'humidité équivalente est déterminée. Un échantillon du sol est pesé, et son poids sec est déterminé après étuvage à 105°C pendant un durée de 24 heures.

L'humidité est déterminée selon le rapport suivant:

%H= (Poids frais-Poids sec)/poids frais.

3.5.3.2. Les paramètres morphologiques

3.5.3.2.1. Les paramètres racinaires

Au cours du stade début tallage l'essai a été interrompu le 02-03-2015. Les racines ont été récupérées et soigneusement lavées.

Les paramètres étudiés sont:

- La longueur de la racine séminale principale (LRP) : paramètre plus fréquemment retenu, est mesurée en cm à l'aide d'une règle plate.
- Le volume racinaire (VR) : déterminé à deux profondeurs (0-40cm, 40-80cm, et au-delà de 80cm), exprimé en cm³, a été apprécié selon la méthode de **MUSICK et al. (1965)**, en comparant les niveaux d'eau, avant et après immersion de la totalité des racines dans un volume d'eau connu.
- La masse de matière sèche des parties, aérienne et racinaire exprimée en grammes, a été déterminée après séchage à l'étuve à 80°C pendant 48 heures. Le rapport, matière sèche racinaire/matière sèche aérienne est calculé.
- Diamètre des racines séminales et adventives : On a utilisé un *pied à coulisse* pour mesurer le *diamètre* moyen des *racines* séminales et adventives.
- Le nombre de racines adventives totales.
- Taux de ramification : nombre de racines secondaires par unité de longueur de racine principale.

3.5.3.3. Paramètres hydriques de la plante

L'état hydrique des plantes est évalué par des mesures de la teneur relative en eau (TRE). La teneur relative en eau est mesurée sur l'avant dernière feuille bien développée à partir de la méthode de **BARRS et al. (1968)** puis par **SCIPPA et al (2004)**. La feuille est prélevée à la base du limbe et immédiatement pesée, constituant le poids frais (Pf). La partie sectionnée de la feuille est ensuite trempée dans de l'eau distillée et placée à l'obscurité à une température de 4°C pendant 12 heures et à nouveau repesée donnant le poids en pleine turgescence (Ppt). La matière sèche est enfin obtenue par passage à l'étuve (80°C pendant 48 heures). La teneur relative en eau est déterminée par la relation suivante : $TRE = ((Pf - Ps) / (Ppt - Ps)) \times 100$.

3.5.3.4. Paramètre anatomique

Les paramètres structuraux impliqués dans la tolérance de la plante au déficit hydrique se rapportent à ceux, de la partie et racinaire.

La structure racinaire a été illustrée par la pratique des coupes au niveau des extrémités racinaires. deux échantillons d'environ 2cm sont prélevés des extrémités des racines séminales et adventives et immédiatement fixée avec l'éthanol 100%.

Les échantillons sont ensuite placés dans une solution de NaOH (6N) pendant 36 heures afin de permettre une dispersion cellulaire. Sous une loupe binoculaire on a procédé par des isollements cellulaires épidermiques. Les cellules sont récupérées et placées dans une solution de safranine et observées par un microscope muni d'un phototube et d'un micromètre oculaire de type OPTIKA.

. Les mesures ont porté sur :

- La longueur et le diamètre des cellules parenchymateuses, et la paroi de ces cellules.

4. Expérimentation 02

4.1. Préparation du substrat de culture

Le substrat de culture utilisé est composé de sable, un tamisage approprié est appliqué afin de supprimer les différents débris et déchets dans le but d'obtenir un substrat fin.

4.2. Conditions de conduite de l'essai

Le matériel végétal utilisé pour la réalisation de cette manipulation est identique à celui utilisé dans la première expérimentation.

Le semis des grains désinfectés et pré-germés est réalisé dans des cylindres en PVC de 100cm de long et 4cm de diamètre. L'essai comporte trois traitements hydriques. Un traitement témoin conduit à un régime d'irrigation de 100 % de la capacité au champ et deux autres traitements ayant subi des déficits hydriques progressifs de 60 % et 30 % de la capacité au champ).

Les cylindres sont disposés selon 3 lots (Figure 01). Les 2 lots conduits à 30%CC et 60%CC sont irrigués dès le début par la quantité d'eau nécessaire pour atteindre le niveau du traitement hydrique approprié, le lot témoin est irrigué à la capacité au champ dès l'installation et continue à être irrigué jusqu'à la fin de l'expérimentation.

. Les cylindres sont répartis selon les trois traitements, aux niveaux desquels les cinq géotypes sont répétés 3 fois donnant un total de 45 cylindres disposés de manière aléatoire. La dose d'irrigation pratiquée est déterminée par des pesées sur des cylindres. L'eau d'irrigation est substituée par une solution nutritive commerciale de type ACTIVEG.



Figure 02. Dispositif expérimentale

4.3. Les mesures effectuées

2.3.1. Les paramètres morphologiques

4.3.1.1. Les paramètres racinaires

- La longueur de la racine séminale principale (LRP) : paramètre plus fréquemment retenu, est mesurée en cm à l'aide d'une règle plate.

4.3.2. Paramètre anatomique

La structure racinaire a été illustrée par des coupes à main levée pratiquées au niveau de la zone pilifère des racines. Une partie de la zone pilifère des racines séminale est prélevée et immédiatement fixée avec l'éthanol pendant 24 h. A l'aide d'une lame et sous un binoculaire on procède par des coupes fines qui sont récupérées et colorées avec du safranine et surmontées d'une lamelle. Les observations et les mesures sont réalisées sous un microscope muni d'un phototube et d'un micromètre oculaire de type OPTIKA. Les mesures ont portées sur le diamètre des cellules parenchymateuses, le diamètre du métaxylème, et l'épaisseur du parenchyme cortical.

4.3.3. Analyse statistique

Les données des différents essais que comporte l'étude anatomique des deux expérimentations ont fait l'objet d'une analyse statistique (ANOVA et Corrélation) par STATISTICA Version 8.0.

RESULTATS

III. Expérimentation 01

Le système racinaire chez le blé dur est représenté par la coexistence de deux types de racines, séminales et adventives.

Les racines séminales sont les premières racines formées après la germination de la graine, à partir de la radicule de l'embryon. Elles sont également appelées les racines des premiers stades de développement de la plante. La durée de leur fonctionnement au cours du cycle de développement de la plante, reste un sujet fortement discuté. Certaines études (ZHANG et al., 2004) limitent cette période au stade épiaison, tandis que d'autres ADIKU et al., 1996 l'étendent durant toutes les phases de développement.

Les racines adventives peuplent la plante au niveau des parties des tiges souterraines à partir du stade tallage. Leur fonctionnement assure grandement la nutrition minérale et hydrique de la plante durant tout son cycle à commencer de cette période.

Les différents paramètres racinaires ainsi que leurs modifications conditionnent grandement le comportement de la plante dans son environnement. En conditions de déficit hydrique les rôles joués par ces organes sont primordiaux dans la tolérance de la plante à ce stress abiotique HAMBLIN et TANANT 1987

Les principaux objectifs du présent travail consistent en l'évaluation de l'expression des différents paramètres racinaires, la caractérisation des modes de leurs modifications en conditions de déficit hydrique et leur implication dans le maintien de l'état hydrique de la plante sous ces conditions stressantes.

2. La teneur relative en eau

L'étude des résultats dégagés (Tableau 03) démontre que les deux facteurs d'étude, la nature des génotypes ainsi que l'alimentation hydrique adopté, ne présentent aucun effet significatif sur la teneur relative en eau des feuilles ($p > 0,05$). Aucune distinction génotypique n'est apparue également en réponse au déficit hydrique appliqué pour l'élaboration de cette caractéristique. Ceci se justifie par l'absence d'influence de l'interaction entre ces facteurs sur la teneur relative en eau des feuilles ($p > 0.05$).

Tableau 03 : Effets de la nature des géotypes et du traitement hydrique sur les variations de la teneur relative en eau

Variable	Test F	probabilité
Géotype	1,3ns	0,2854
Situation hydrique	0,8ns	0,4595
Géotype*s.hydrique	0,6ns	0,7338

ns : non significatif

Les résultats moyens obtenus (Tableau 04) montrent que chez l'ensemble des géotypes testés et au niveau des trois traitements hydrique adoptés (100%CC, 60%CC ,30%CC), les valeurs de la teneur relative en eau des feuilles sont maintenues à un niveau supérieur à 90%. Une teneur exposant un état de turgescence optimale écartant tout déficit de saturation qui serait induit par l'application du déficit hydrique.

Les résultats moyens de la teneur relative en eau (Tableau 04), exposent qu'au niveau du traitement 100%CC, la variété Langlois présente la valeur la plus élevée avec $98.59\% \pm 0.24$ et la valeur la plus faible est donnée par Ofanto avec $95.33\% \pm 3.22$. Au niveau du lot du conduit à 60%CC, les valeurs de ce paramètre varient entre $95.84\% \pm 0.85$ notée chez la variété Ofanto et $97.86\% \pm 0.23$ enregistrée chez le géotype Vitron. Enfin, dans le lot conduit à 30%CC, les valeurs extrêmes de ce paramètre sont extériorisées par les géotypes Oued Zenati et Simeto avec respectivement, $96.53\% \pm 0.76$ et $97.99\% \pm 0.5$.

Tableau 04: les résultats moyens de la teneur relative en eau, chez les différents géotypes testés sous les différents régimes hydriques

Géotype	Régime hydrique	La teneur relative en eau	écart type
Vitron	100%CC	97,52	0,42
Vitron	60%CC	97,86	0,23
Vitron	30%CC	97,54	0,41
Langlois	100%CC	98,59	0,24
Langlois	60%CC	96,57	0,45
Langlois	30%CC	97,7	0,63
Ofanto	100%CC	95,23	3,22
Ofanto	60%CC	95,84	0,85
Ofanto	30%CC	97,04	0,11
Oued Zenati	100%CC	98,34	0,13
Oued Zenati	60%CC	97,09	0,98
Oued Zenati	30%CC	96,53	0,76
Simeto	100%CC	98,21	0,26
Simeto	60%CC	96,54	1,41
Simeto	30%CC	97,99	0,50

Les paramètres morphologiques

2.4. La longueur des racines séminales

L'étude des résultats (Tableau 05), montre que la longueur des racines séminales s'élaborent de manières indifférentes de la nature des géotypes testés ($p>0.05$) et de la situation hydrique appliquée ($p>0.05$). L'interaction entre la nature des géotypes testés et les régimes hydriques adoptés n'exerce également aucune influence significative. Ceci démontre que les géotypes expérimentés n'ont manifesté aucune distinction à l'égard du déficit hydrique appliqué pour l'élaboration de cette caractéristique racinaire.

Tableau 05 : Effets de la nature des géotypes et du traitement hydrique sur les variations de la longueur des racines séminales

Variable	Test F	probabilité
Géotype	1,80ns	0,1545
Situation hydrique	0,80ns	0,4579
Géotype*s.hydrique	1,19ns	0,3378

ns : non significatif

Les résultats moyens obtenus (Tableau 06), expose que la longueur des racines séminales ne varie que faiblement entre les génotypes et à travers les trois situations hydriques menées. Au niveau du lot conduit à 100%CC, les longueurs enregistrées varient entre 102cm (Ofanto, Vitron, Simeto) et 103cm (Langlois, Oued Zenati). Au niveau du lot conduit à 60%CC, les longueurs sont délimitées par des valeurs de 97.93cm±4.02 (Langlois) et 105.8cm±2.04 (Simeto). Enfin dans le traitement conduit à 30%CC, les valeurs extrêmes sont détenues par les génotypes, Oued Zenati (100.73cm±0.14) et Simeto (103.83cm±1.16). D'une manière générale, les génotypes ayant inscrits les racines les plus longues en conditions irriguées sont ceux qui se trouvent plus ou moins pénalisés en conditions de sécheresse. On évoque dans ce contexte les génotypes, Oued Zenati et Langlois.

Tableau 06 : Les résultats moyens de la longueur des racines séminales, chez les différents génotypes testés sous les différents régimes hydriques

Génotype	Régime hydrique % CC	La longueur des racines séminales (cm)	écart type
Vitron	100%CC	102,6	0,46
Vitron	60%CC	99	2,52
Vitron	30%CC	101,17	1,01
Langlois	100%CC	103,13	1,57
Langlois	60%CC	97,93	4,03
Langlois	30%CC	101,93	1,62
Ofanto	100%CC	102,33	1,43
Ofanto	60%CC	101,27	1,65
Ofanto	30%CC	101,63	0,09
Oued Zenati	100%CC	103,5	1,76
Oued Zenati	60%CC	103,67	1,2
Oued Zenati	30%CC	100,73	0,15
Simeto	100%CC	102,67	0,17
Simeto	60%CC	105,8	2,04
Simeto	30%CC	103,83	1,17



Figure 3 : plante de blé dur dans les trois lot, à droite 100%CC, au milieu 60%CC, à gauche 30%

2.5. Le nombre des racines adventives

L'étude des résultats obtenus (Tableau 07), montre que la formation des racines adventives dépend étroitement et d'une manière hautement significative du régime hydrique appliqué ($p < 0.001$). En effet, l'application des régimes hydriques différents permet des comportements divergents quant à la formation des racines adventives chez les génotypes testés. La nature des génotypes conduits n'exerce aucun effet significatif sur les variations du nombre de racines adventives ($p > 0.05$). On note également que l'interaction des deux facteurs d'étude ne provoque aucun effet marquant sur les variations du nombre de racines ($p > 0.05$), ce qui s'explique par des comportements similaires des génotypes testés à l'égard des situations hydriques appliqués.

Tableau 07 : Effets de la nature des génotypes et du traitement hydrique sur les variations de nombres des racines adventives

Variable	Test F	Probabilité
Génotype	1,29ns	0,1021
Situation hydrique	6,63***	0,0007
Génotype*s.hydrique	1,54ns	0,0765

***** : significatif au seuil de 0,1% ; ns : non significatif**

Les résultats obtenus (Tableau 08), s'avère d'une grande importance pour l'explication des remodelages racinaires en conditions de déficit hydrique. En effet, les modifications du nombre de racines adventives par plante dépendent de l'intensité du déficit hydrique. D'une manière générale, l'application du déficit hydrique s'accompagne d'une augmentation du nombre de racines par plante. Cette augmentation est plus marquée dans le traitement conduit à 60%CC. Les résultats moyens exposent que dans le traitement témoin (100%CC), le nombre de racines adventives varient entre 5 racines/plante $\pm 0,33$ (Oued Zenati), et 7 racines/plante $\pm 1,20$ (Ofanto). L'application du déficit hydrique à un niveau de 30%CC a provoqué une modification de ce nombre, où les génotypes testés se distinguent en deux groupes. Un premier englobe ceux dont le nombre a progressé par rapport à celui inscrit dans le lot témoin et qui sont représenté par Oued Zenati, Siméto et Vitron. Les nombres enregistrés chez ces génotypes sont de l'ordre de 6 racines (Oued Zenati), 7 racines (Simeto) et 8 racines (Vitron) représentant des taux d'augmentation respectifs de 12, 16 et 39%. Dans

un second groupe s'affiche les géotypes dont cette situation hydrique a provoqué la régression de leurs nombres de racines et sont représentés par Langlois et Ofanto. Les données détenues par ces derniers géotypes sont de l'ordre de 5 racines, ce qui représente des taux de réduction de -22% (Langlois) et 30% (Ofanto).

L'application du déficit hydrique à une intensité de 60%CC a provoqué une augmentation du nombre de racines en comparaison avec le lot témoin, chez l'ensemble des géotypes expérimentés. Le géotype Vitron se distingue parmi l'ensemble en inscrivant le taux de progression le plus important avec 111% et un nombre de racines par plante, sous ces conditions de 13. Chez le reste des géotypes ces augmentations varient entre 47% (Oued Zenati) et 37% (Simeto) et inscrivant des nombres de racines respectifs de 6 et 7.

Tableau 08 : Les résultats moyens de nombres des racines adventives, chez les différents géotypes testés sous les différents régimes hydriques

Géotype	Régime hydrique	Nombre moyen des racines adventives	écart type
Vitron	100%CC	6,00	0,58
Vitron	60%CC	12,67	2,03
Vitron	30%CC	8,33	0,33
Langlois	100%CC	6,00	1,00
Langlois	60%CC	8,67	2,19
Langlois	30%CC	4,67	0,88
Ofanto	100%CC	7,67	1,20
Ofanto	60%CC	10,67	1,67
Ofanto	30%CC	5,33	0,67
Oued Zenati	100%CC	5,67	0,33
Oued Zenati	60%CC	8,33	1,33
Oued Zenati	30%CC	6,33	1,33
Simeto	100%CC	6,33	0,33
Simeto	60%CC	8,67	0,33
Simeto	30%CC	7,33	1,45

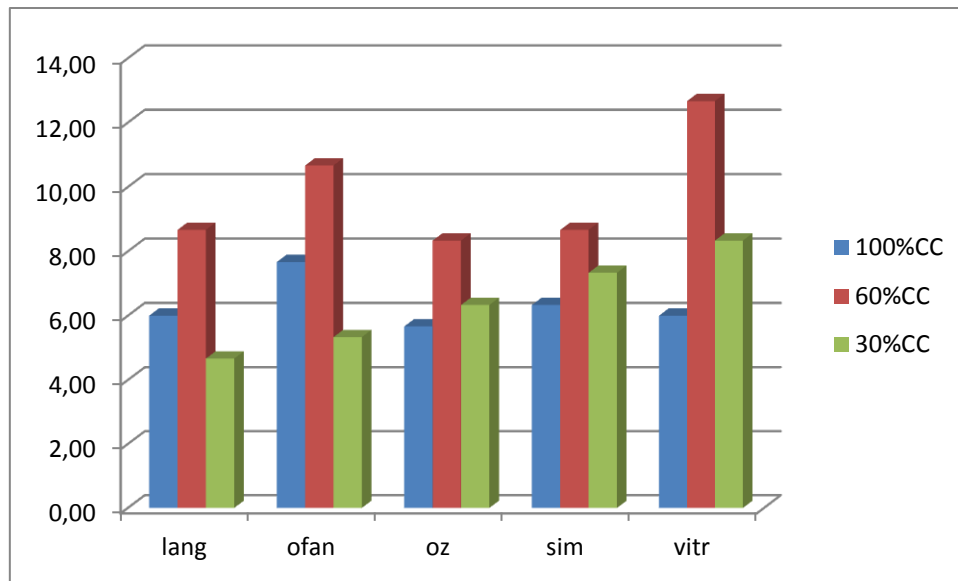


Figure 04 : Diagramme représente le nombre de racines adventives chez les différents génotypes testés sous les différents régimes hydriques

2.6. Le taux de ramifications des racines séminales

L'analyse des résultats obtenus (Tableau09) montre que le taux de ramification des racines se réalisent indifféremment de la nature des génotypes ($p > 0.05$). Les variations de l'alimentation hydrique pratiquées permettent par conséquent des fluctuations très hautement significatives des données relevées ($p < 0.001$). En effet, l'accroissement du déficit hydrique s'est accompagné d'une nette progression du taux de ramification des racines séminales ($r = 0.308^{**}$). Cette augmentation concerne essentiellement le lot conduit à 60%CC. Aucune distinction génotypique n'a été constaté à l'égard de l'application du déficit hydrique ($p > 0.05$).

Tableau 09: Effets de la nature des génotypes et du traitement hydrique sur les variations de taux de ramifications des racines séminales

Variable	Test F	probabilité
Génotype	1,012ns	0,4167
Situation hydrique	22.56***	0.0000
Génotype*s.hydrique	0.884ns	0.5410

*** : significatif au seuil de 0,1% ; ns : non significatif

Les résultats moyens (Tableau10) indiquent qu'au niveau du traitement témoin (100%CC), le génotype Simeto enregistre le taux de ramification le plus élevé avec 7 racines secondaires par unité de longueur de la racine principale. Contrairement à cette constatation les autres génotypes (Vitron, Oued Zenati, Langlois, Ofanto) donnent des taux identiques et qui sont évalués à 6 racines secondaires.

Dans le traitement conduit à 60%CC, les génotypes, Simeto et Ofanto extériorisent une valeur extrême évaluée à 9 racines. Langlois, Oued Zenati et Vitron inscrivent le faible taux de ramification avec une valeur de 6 racines. Enfin dans le lot le plus stressé et conduit à 30%CC, les valeurs de la ramification sont vacillent entre 7 (Vitron) et 8 (Siméto, Oued Zenati, Ofanto, Langlois). D'une manière générale.

Tableau 10 : Les résultats moyens de nombre de ramifications, chez les différents génotypes testés sous les différents régimes hydriques

Génotype	Régime hydrique	taux de ramification des racines séminales sur 2 cm
Vitron	100%CC	6
Vitron	60%CC	8
Vitron	30%CC	8
Langlois	100%CC	6
Langlois	60%CC	8
Langlois	30%CC	7
Ofanto	100%CC	6
Ofanto	60%CC	9
Ofanto	30%CC	7
Oued Zenati	100%CC	6
Oued Zenati	60%CC	8
Oued Zenati	30%CC	7
Simeto	100%CC	7
Simeto	60%CC	9
Simeto	30%CC	7

2.7. La longueur des racines adventives

L'analyse de la variance des résultats obtenus (Tableau 11), démontre que l'élaboration de la longueur des racines adventives dépend d'une manière hautement significatives des régimes hydriques appliqués ($p < 0.01$). L'effet du génotype de ce paramètre racinaire s'avère faible ($p > 0.05$). De son côté, l'interaction de ces deux facteurs d'étude est sans effet marquant sur les variations des valeurs relevées pour cette caractéristique ($p > 0.05$), ceci qui prouve des comportements identiques des génotypes testés à l'égard des situations hydriques adoptées.

Tableau 11: Effets de la nature des génotypes et du traitement hydrique sur la longueur des racines adventives

Variable	Test F	probabilité
Génotype	2,1718ns	0,0962
Situation hydrique	14,8126***	0,0000
Génotype*s.hydrique	1,8533ns	0,1057

***** : significatif au seuil de 0,1% ; ns : non significatif**

Au niveau du traitement témoin (100%CC), le génotype Oued Zenati se distingue par les racines les plus longues avec une valeur de $7.67\text{cm} \pm 2.73$. A l'opposé, le génotype Langlois inscrit la plus faible longueur avec une valeur de $2.43\text{cm} \pm 0.37$. Les génotypes, Ofanto et Simeto inscrivent des valeurs intermédiaires avec respectivement $4.80\text{cm} \pm 0.80$ et $4.07\text{cm} \pm 1.51$.

Dans le lot conduit à 60%CC, toutes les valeurs de la longueur des racines inscrites par les génotypes sont inférieures à 3cm. Les deux génotypes Vitron et Langlois se distinguent par les valeurs extrêmes de cette série de données en inscrivant respectivement des valeurs de $2.60\text{cm} \pm 0.17$ et $1.03\text{cm} \pm 0.17$.

Au niveau du lot le plus stressé et conduit à 30%CC, on remarque un rehaussement des valeurs de la longueur par rapport à la situation précédente (60%CC). Ainsi, à ce niveau, les valeurs de la longueur sont comprises entre $3.70\text{cm} \pm 0.40$ (Simeto) et $1.43\text{cm} \pm 0.22$ (Langlois).

Tableau 12 : Les résultats moyens de la longueur des racines adventives, chez les différents géotypes testés sous les différents régimes hydriques

Géotype	Régime hydrique	Longueur des racines adventives	écart type
Vitron	100%CC	4,7	0,97
Vitron	60%CC	2,6	0,17
Vitron	30%CC	2,93	0,93
Langlois	100%CC	2,43	0,37
Langlois	60%CC	1,03	0,17
Langlois	30%CC	1,43	0,22
Ofanto	100%CC	4,8	0,8
Ofanto	60%CC	1,4	0
Ofanto	30%CC	1,77	0,03
Oued Zenati	100%CC	7,67	2,73
Oued Zenati	60%CC	1,27	0,54
Oued Zenati	30%CC	1,53	0,24
Simeto	100%CC	4,07	1,51
Simeto	60%CC	2,37	0,17
Simeto	30%CC	3,7	0,4

2.8. Le diamètre des racines

Le diamètre de la zone pilifère des racines a concerné les deux types des racines, séminales et adventives. L'étude des résultats obtenus (Tableau13) démontre que ce paramètre, chez les racines adventives, est d'une influence hautement significative des deux facteurs, géotype et situation hydrique ($p < 0.01$). Concernant les racines séminales, cette caractéristique est sous la seule influence de l'alimentation hydrique ($p < 0.05$), la nature des géotypes influe d'une manière très faible ($p > 0.05$). Chez les deux types de racines, l'interaction des deux facteurs d'étude n'a provoqué aucune variation notable des valeurs de diamètre racinaire induisant ainsi des comportements similaires des géotypes en réponse du déficit hydrique imposé ($p > 0.05$). On note dans ce contexte que l'accentuation de l'intensité du déficit hydrique s'accompagne d'une réduction du diamètre des racines adventives ($r = -0.478^{**}$), et séminales ($r = -0.408^{**}$).

Tableau 13: Effets de la nature des géotypes et du traitement hydrique sur le diamètre des racines séminales et adventives

Paramètres	Effet génotypique		Effet hydrique		Interaction géotypes*situation hydrique	
	F	p	F	p	F	p
DRS	1,557ns	0,2112	3,862*	0,0321	0,169ns	0,9934
DRA	4,592*	0,0051	8,262**	0,0013	0,837ns	0,5774

ns : non significatif, *significatif au seuil de 5%, **significatif au seuil de 1%

Concernant les racines séminales l'exposé des résultats (Tableau 14) indique que dans le lot témoin (100%CC), les valeurs enregistrées fluctuent dans l'intervalle délimité par 1.20 ± 0.15 (Langlois) et $1.08 \text{mm} \pm 0.03$ (Simeto). A l'échelle de la même situation hydrique, les géotypes, Vitron, Ofanto et Oued Zenati détiennent des valeurs intermédiaires respectives de $1.08 \text{mm} \pm 0.11$, $1.14 \text{mm} \pm 0.06$ et $1.14 \text{mm} \pm 0.15$. Dans le traitement conduit à 60%CC, le géotype Langlois se distingue par une valeur maximale de $1.15 \text{mm} \pm 0.04$ et une autre minimale de $0.83 \text{mm} \pm 0.13$ détenue par Vitron. Enfin dans le lot mené à 30%CC, les valeurs extrêmes sont enregistrées par les géotypes, Langlois ($1.03 \text{mm} \pm 0.17$) et Vitron ($0.81 \text{mm} \pm 0.15$).

Pour les racines adventives les résultats moyens obtenus (Tableau 14) expose qu'à l'échelle du traitement mené à 100%CC, le diamètre est limité par une valeur maximale de $2.11 \text{mm} \pm 0.30$ enregistré chez le géotype Siméto et une autre minimale inscrite chez le géotype Ofanto (1.3 ± 0.01). A l'échelle du traitement conduit à 60%CC, le géotype Vitron a enregistré le diamètre le plus élevé avec $1.79 \text{mm} \pm 0.52$, contrairement au géotype Oued Zenati qui est caractérisé par le diamètre le plus faible avec une valeur de $0.70 \text{mm} \pm 0.06$. Dans le traitement conduit à 30%CC, le géotype Simeto se distingue parmi les géotypes par le diamètre de racines adventives les plus important (1.25 ± 0.35) et le diamètre racinaire le plus faible est données par Oued zenati $0.68 \text{mm} \pm 0.00$.

Tableau 14 : Les résultats moyens des diamètres des racines séminales et adventives, chez les différents génotypes testés sous les différents régimes hydriques (mm)

Génotype	Régime hydrique	Diamètre des racines séminales (mm)	Diamètre des racines adventives (mm)
Vitron	100%CC	1,08±0,10	1,84±0,27
Vitron	60%CC	0,83±0,12	1,79±0,52
Vitron	30%CC	0,81±0,15	1,07±0,24
Langlois	100%CC	1,2±1,15	1,51±0,12
Langlois	60%CC	1,14±0,04	1,31±0,11
Langlois	30%CC	1,026±0	1,09±0,09
Ofanto	100%CC	1,13±0,06	1,33±0,01
Ofanto	60%CC	1,09±0,04	1,28±0,12
Ofanto	30%CC	0,94±0,06	1,10±0,05
Oued Zenati	100%CC	1,14±0,15	1,29±0,07
Oued Zenati	60%CC	0,97±0,10	0,70±0,06
Oued Zenati	30%CC	0,95±0,13	0,68±0,00
Simeto	100%CC	1,083±0,03	2,11±0,30
Simeto	60%CC	0,97±0,01	1,33±0,29
Simeto	30%CC	0,93±0,16	1,25±0,35

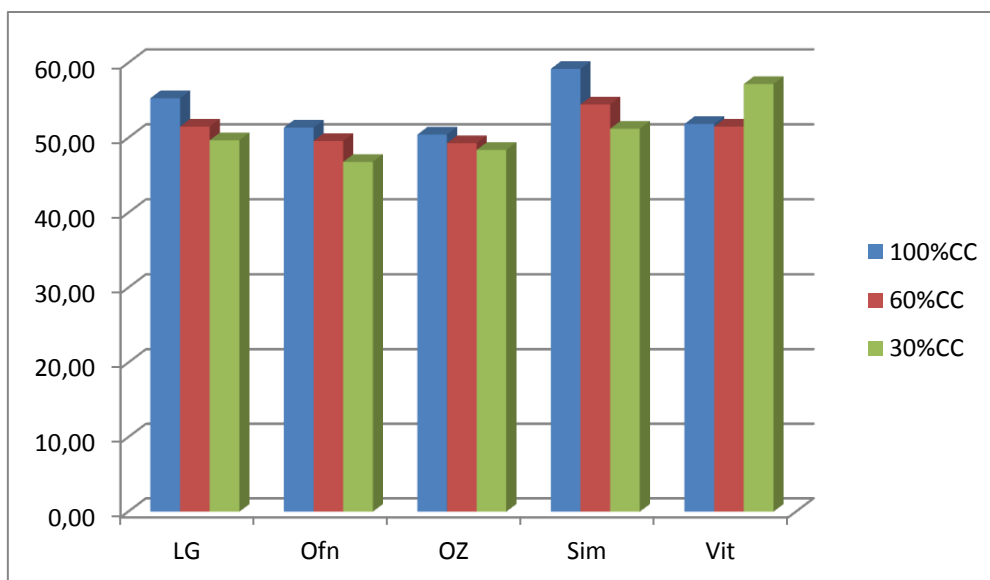


Figure 05 : Diagramme représente le Diamètre des racines séminales (mm), chez les différents génotypes testés sous les différents régimes hydriques

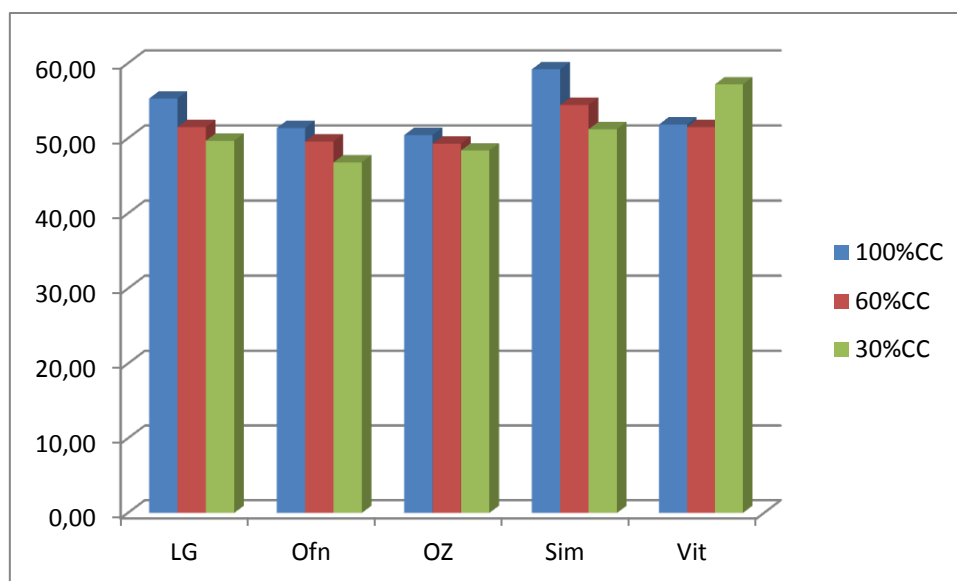


Figure 06 : Diagramme représente le Diamètre des racines adventives (mm), chez les différents génotypes testés sous les différents régimes hydriques

2.9. Le volume des racines

Le volume des racines séminales a été estimé à trois profondeurs différentes, 0-40, 40-80, et +80 cm. L'étude des résultats (Tableau 15) montre que seule la troisième tranche de volume est variable et ce fonction du degré de déficit hydrique ($p < 0.001$) et de la nature des génotypes ($p < 0.05$). Sous ces conditions, les deux premières tranches de volume n'extériorisent aucune variation notable.

Tableau 15 : Effets de la nature des génotypes et du traitement hydrique sur le volume des racines séminales estimé à trois profondeurs différentes

Paramètres	Effet génotypique		Effet hydrique		Interaction génotypes*situation hydrique	
	F	p	F	p	F	p
V1	1,583	0,2043ns	2,4744	0,1012ns	0,967	0,4789ns
V2	1,647	0,1882ns	1,6818	0,2031ns	0,360	0,9329ns
V3	4,722	0,0044	5,2283	0,0112ns	1,073	0,4075ns

* : Significatif au seuil de 5% ; ** : Significatif au seuil de 1% ; ns : non significatif

2.9.1. Le volume des racines 0-40cm

Les valeurs des volumes enregistrés par l'ensemble des géotypes dans le traitement témoin (100%CC) (Tableau 16), sont comprises entre 6.67ml et 4.67ml données dans l'ordre par Oued Zenati et Vitron. Au niveau des traitements ayant subis les deux intensités de déficit hydrique, ces volumes enregistrent des diminutions par rapport au témoin sauf pour le géotype Vitron. Ainsi, au niveau de lot mené à 60%CC, la plus grande valeur, 5.33 ml est remarquée chez la variété Oued Zenati, tandis que le plus faible volume qui est de 3.33 ml est observé chez le géotype Vitron.

Dans le traitement conduit à 30%CC, le géotype Langlois annonce la valeur la plus élevée avec 6 ml, Ofanto affiche le plus faible volume avec 4,33ml.

2.9.2. Le volume des racines 40-80cm

Les données moyennes obtenues des mesures (Tableau 16), expose qu'à l'échelle du traitement mené à 100%CC, le volume est limité par une valeur maximale de 6.66 ml donnée par les deux géotypes (Vitron, Langlois), et une autre minimale de 5.33ml manifestée par le géotype Ofanto. A l'échelle du traitement conduit à 60%CC le volume varie entre 6ml valeur enregistrée par le géotype Langlois et 4.66ml observé chez le géotype Ofanto. les valeurs moyennes au niveau du traitement conduit à 30%CC le volume est compris dans l'intervalle délimité par 6.66ml notée par le géotype Simeto et 4.66ml relevée chez les géotypes, Vitron et Oued Zenati.

2.9.3. Le volume des racines au-delà de 80cm

Les données moyennes obtenues des mesures (Tableau 16) démontrent qu'au niveau du traitement témoin le volume de cette tranche racinaire est compris entre 3ml, valeur dégagée par le géotype Vitron et 0.43ml notée chez le géotype Langlois. Au niveau du dispositif conduit à 60%CC ce volume varie entre 3.33 ml valeur donnée par la variété Vitron et 1,33 ml chez la variété Ofanto. Les valeurs moyennes à l'échelle du traitement mené à 30%CC sont comprises entre 3.67ml une donnée affichée par les deux géotypes Langlois et Vitron et 1,67ml dégagé par le géotype Ofanto.

Tableau 16: les résultats moyens des volumes (ml) des racines séminale (0-40, 40-80, et +80 cm) des génotypes testés sous les différents régimes hydriques

Génotype	Régime hydrique	Volume des racines séminales 0-40 (ml)	Volume des racines séminales 40-80 (ml)	Volume des racines séminales +80 (ml)
Vitron	100%CC	4,67±0.67	6.67±0.67	3.00±0.58
Vitron	60%CC	3,67±0.33	5.00±0.58	3.33±1.20
Vitron	30%CC	6,00±1.15	4.67±0.67	3.67±0.33
Langlois	100%CC	5,00±0.00	6.67±1.20	0.43±0.07
Langlois	60%CC	5,00±1.00	6.00±0.58	2.67±0.67
Langlois	30%CC	4,67±0.67	6.33±1.20	3.67±0.33
Ofanto	100%CC	5,00±0.58	5.33±0.67	1.00±0.00
Ofanto	60%CC	3,33±0.33	4.67±0.88	1.33±0.33
Ofanto	30%CC	4,33±1.20	4.67±0.67	1.67±0.33
Oued Zenati	100%CC	6,67±0.33	6.33±0.33	2.33±0.33
Oued Zenati	60%CC	5,33±0.33	5.67±0.67	2.67±0.88
Oued Zenati	30%CC	5,00±0.58	6.33±1.20	3.00±0.00
Simeto	100%CC	6,33±0.33	6.33±0.33	2.00±0.00
Simeto	60%CC	5,00±1.53	5.33±1.20	2.17±0.83
Simeto	30%CC	4,67±0.67	6.67±0.33	2.67±0.88

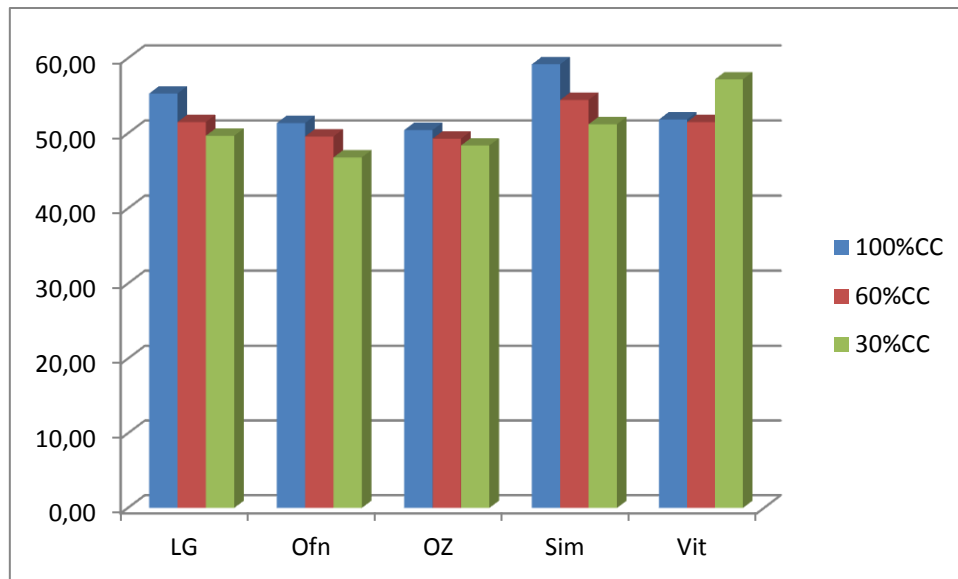


Figure 07 : Diagramme représente le volume racinaire au delà de 80cm, chez les différents génotypes testés sous les différents régimes hydriques

2.10. Le rapport MSR/MSA

D'après l'analyse des résultats enregistrés (Tableau 17), il se dévoile qu'il existe un effet hydrique juste significatif sur les variations de cette caractéristique ($p < 0,05$). Aucun effet significatif n'émane de la variation des natures des génotypes testés sur l'expression de ce paramètre ($p > 0,05$). On ne révèle également aucune influence des effets conjugués des deux facteurs sur ce rapport.

Tableau 17: Effets de la nature des génotypes et du traitement hydrique sur le rapport MSR/MSA

Variable	Test F	probabilité
Génotype	1,1901ns	0,3353
Situation hydrique	2,8867*	0,0713
Génotype*s.hydrique	0,1443ns	0,9962

* : significatif au seuil de 0,5% ; ns : non significatif

Les résultats du rapport, déterminés (Tableau 18), montrent qu'au niveau du traitement conduit à 100%CC, le rapport est compris entre $2.12 \pm 0,39$ (Oued Zenati) et 1.39 ± 0.12 (Langlois). Au niveau du lot conduit à 60%CC, Ces résultats sont compris entre 2.62 ± 1.09 donnée par Oued Zenati et 1.48 ± 0.16 dégagé par Langlois. A l'échelle du lot conduit 30%CC on note que la plus faible valeur de ce paramètre est inscrite par le génotype Langlois avec 1.98 ± 0.20 et la plus grande par le génotype Ofanto avec une valeur de 2.82 ± 1.41 . A ce niveau, on constate que les rapports exprimés par les génotypes testés sont supérieurs à ceux exprimés dans le traitement témoin. Ceci indique alors que l'accentuation du déficit hydrique s'accompagne d'un accroissement du rapport de la matière sèche racinaire et aérienne ($r=0.356^{**}$).

Tableau 18: Les résultats moyens du rapport MSR/MSA, chez les différents génotypes testés sous les différents régimes hydriques

Génotype	Régime hydrique	Volume des racines +80cm (ml)	écart type
Vitron	100%CC	1,45	0,037
Vitron	60%CC	1,70	0,10
Vitron	30%CC	2,33	0,23
Langlois	100%CC	1,39	0,13
Langlois	60%CC	1,48	0,16
Langlois	30%CC	1,99	0,20
Ofanto	100%CC	1,66	0,36
Ofanto	60%CC	1,75	0,58
Ofanto	30%CC	2,83	1,41
Oued Zenati	100%CC	2,12	0,40
Oued Zenati	60%CC	2,62	1,09
Oued Zenati	30%CC	2,65	0,31
Simeto	100%CC	1,48	0,21
Simeto	60%CC	1,51	0,40
Simeto	30%CC	2,20	0,06

3. Les paramètres anatomiques

3.1. Le diamètre des cellules parenchymateuses des racines séminales

L'acquisition du diamètre des cellules parenchymateuses, s'effectue sous une forte influence de la nature du génotype ($p < 0.05$), du traitement hydrique mené ($p < 0.05$) et de leur interaction ($p < 0.01$), ce qui démontre une nette distinction génotype à l'égard de la nutrition hydrique adopté dans la réalisation de cette caractéristique structurale.

Tableau 19: Effets de la nature des géotypes et du traitement hydrique sur les variations du diamètre des cellules parenchymateuses

Variable	Teste F	probabilité
Géotype	3.0394*	0,0323
Situation hydrique	3.8131*	0,0329
Géotype*s.hydrique	3.6365**	0,0045

* : Significatif au seuil de 5% ; ** : Significatif au seuil de 1% ; ns : non significatif

Les résultats moyens enregistrés (Tableau 20), montrent que le diamètre des cellules parenchymateuse fluctue au niveau du lot conduit à 100%CC, entre une valeur maximale de $94.84\mu\text{m}\pm 24.04$ enregistrée chez le géotype Vitron et une autre minimale de $29.5\mu\text{m} \pm 11.30$ noté par le géotype Vitron, Les géotypes Ofanto, Oued zenati et Simeto déteint des valeurs intermédiaires respectives de $64.34\pm 1.80\mu\text{m}$, $47.46\mu\text{m}\pm 5.25\mu\text{m}$ et $90.5\mu\text{m} \pm 13.39$. Pour le lot mené à 60%CC, ces valeurs fluctuent entre $56.22\mu\text{m}\pm 4.48$ estimée chez le géotype Vitron, et $52.22\mu\text{m}\pm 2.42$ affiché par le géotype Oued zenati. Enfin pour le lot conduit à 30%CC, le diamètre varie entre $60.64\mu\text{m}\pm 0.68$ inscrite par le géotype Ofanto et $45.18\mu\text{m}\pm 0.35$ obtenue par le géotype Simeto.

Tableau 20: les résultats moyens du diamètre des cellules parenchymateuses des racines séminales, chez les différents génotypes testés sous les différents régimes hydriques

Génotype	Régime hydrique	Largeur des cellules parenchymateuse (μm)	écart type
Vitron	100%CC	94,84	24,04
Vitron	60%CC	55,67	2,17
Vitron	30%CC	45,29	3,51
Langlois	100%CC	29,50	11,30
Langlois	60%CC	52,63	0,78
Langlois	30%CC	52,95	5,32
Ofanto	100%CC	64,34	1,80
Ofanto	60%CC	53,14	2,89
Ofanto	30%CC	60,04	0,68
Oued Zenati	100%CC	47,46	5,25
Oued Zenati	60%CC	52,22	2,42
Oued Zenati	30%CC	48,43	0,82
Simeto	100%CC	90,57	19,39
Simeto	60%CC	56,22	4,48
Simeto	30%CC	45,18	0,35

3.2. La longueur des cellules parenchymateuses des racines séminales

L'analyse des résultats obtenus de l'évaluation de ce paramètre (Tableau 21) indique que son élaboration dépend de la nature du génotype et de la situation hydrique et de leur interaction.

Tableau 21 : Analyse de la variance de la longueur des cellules parenchymateuses des racines séminales

Variable	Test F	Probabilité
Génotype	2,5414ns	0,0602
Situation hydrique	2,7324ns	0,0812
Génotype*s.hydrique	2,9767*	0,0140

* : Significatif au seuil de 5% ; ** : Significatif au seuil de 1% ; ns : non significatif

Les résultats moyens obtenus (Tableau 22) exposent qu'au niveau du traitement témoin (100%CC), les longueurs des cellules parenchymateuses oscillent entre des extrêmes de $267.63 \mu\text{m} \pm 67.12$ (Vitron) et $141.71 \mu\text{m} \pm 28.92$ (Simeto). Dans le lot conduit à 60%CC, les

longueurs enregistrées varient entre des extrêmes de $226.71\mu\text{m}\pm 31.77$ (Vitron) et $191.01\mu\text{m}\pm 18.97$ (Langlois). Dans le traitement ayant subi le déficit hydrique le plus sévère (30%), ces valeurs fluctuent entre $250.06\mu\text{m}\pm 7.83$ affichée par Oued Zenati et $133.03\mu\text{m}\pm 4,87$ inscrite par Langlois.

Tableau 22 : les résultats moyens de la longueur des cellules parenchymateuses des racines séminales

Génotype	Régime hydrique	Diamètre des cellules parenchymateuse μm (R.S)	écart type
Vitron	100%CC	267,63	67,12
Vitron	60%CC	226,71	31,77
Vitron	30%CC	150,06	7,83
Langlois	100%CC	150,45	7,42
Langlois	60%CC	191,01	18,97
Langlois	30%CC	133,03	4,87
Ofanto	100%CC	152,85	7,95
Ofanto	60%CC	215,32	18,95
Ofanto	30%CC	180,64	19,46
Oued Zenati	100%CC	182,56	7,15
Oued Zenati	60%CC	191,6	28,49
Oued Zenati	30%CC	250,34	18,83
Simeto	100%CC	146,71	28,92
Simeto	60%CC	233,46	1,18
Simeto	30%CC	190,55	2,4

3.3. L'épaisseur de la paroi des cellules parenchymateuses des racines séminales

L'étude des résultats obtenus (Tableau 23) indique que cette variable n'est pas influencée par la nature des génotypes testés ($p > 0.05$). A l'opposé, l'alimentation hydrique influe d'une manière significative les grandeurs de ce paramètre ($p < 0.05$). L'interaction entre les deux facteurs d'étude influe également d'une manière significative sur son expression ($p < 0.05$), révélant ainsi une distinction génotypique à l'égard des variations de l'alimentation hydrique ($p < 0.05$).

Tableau 23: Effets de la nature des génotypes et du traitement hydrique sur le diamètre des cellules parenchymateuses

Variable	Teste F	probabilité
Génotype	0,094ns	0,983719
Situation hydrique	8,493**	0,001195
Génotype*s.hydrique	3,076*	0,011826

* : Significatif au seuil de 5% ; ** : Significatif au seuil de 1% ; ns : non significatif

Les résultats moyens enregistrés dans le tableau 24 montrent que l'épaisseur de la paroi des cellules parenchymateuses varie au niveau du lot conduit à 100%CC entre une valeur de $6.81\mu\text{m} \pm 0.68$ enregistré par le génotype Langlois et $3.81\mu\text{m} \pm 0.03$ affichée par le génotype Langlois. Au niveau du traitement conduit à 60%CC, ces valeurs oscillent entre $6.34\mu\text{m} \pm 1.32$ observée chez le génotype Vitron et $5.17\mu\text{m} \pm 0.67$ chez le génotype Langlois. Enfin, au niveau du lot le plus stressé et conduit à 30%CC, Oued Zenati affiche l'épaisseur de la paroi la plus importante avec $5.14\mu\text{m} \pm 0.03$, et contrairement à cela, le génotype Langlois manifeste la valeur la plus faible et qui est de $3.64\mu\text{m} \pm 0.18$.

Tableau 24: les résultats moyens du diamètre des cellules parenchymateuses des racines séminales, inscrite chez les différents géotypes testées sous un régime hydrique appliqué

Géotype	Régime hydrique	diamètre des cellules parenchymateuses (µm)	écart type
Vitron	100%CC	4,51	1,15
Vitron	60%CC	6,34	1,32
Vitron	30%CC	4,60	0,23
Langlois	100%CC	6,81	0,68
Langlois	60%CC	5,17	0,67
Langlois	30%CC	3,46	0,18
Ofanto	100%CC	5,53	0,43
Ofanto	60%CC	5,82	0,04
Ofanto	30%CC	3,76	0,00
Oued Zenati	100%CC	3,83	0,03
Oued Zenati	60%CC	5,96	0,09
Oued Zenati	30%CC	5,14	0,03
Simeto	100%CC	5,20	0,43
Simeto	60%CC	5,23	0,52
Simeto	30%CC	4,35	0,05



Figure 08 : cellule parenchymateuse des racines adventives dans le lot conduit à 30%CC

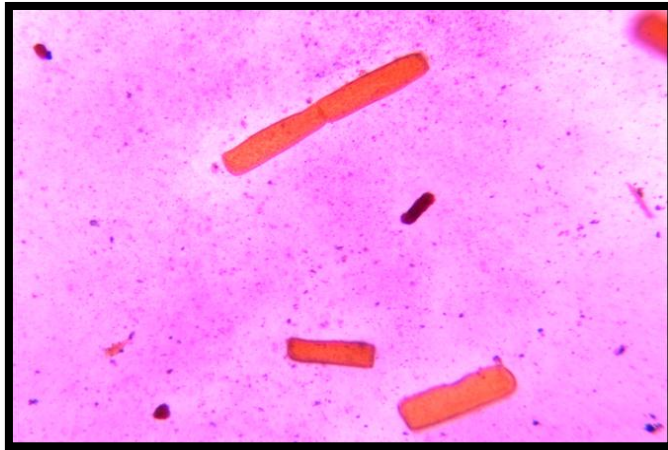


Figure 09 : cellule parenchymateuse des racines adventives dans le lot conduit à 60%CC

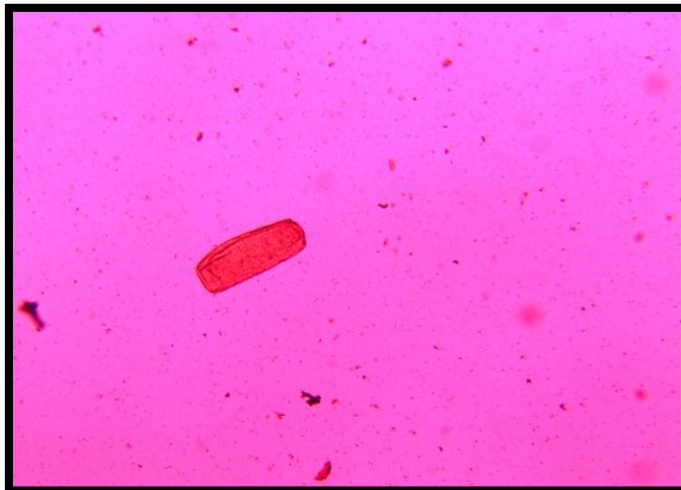


Figure 10 : cellule parenchymateuse des racines adventives dans le lot conduit à 100%CC

3.4. La longueur des cellules parenchymateuses des racines adventives

L'analyse des résultats moyens obtenus (Tableau25) montrent que l'élongation des cellules parenchymateuses des racines adventives s'opère d'une façon indépendante de la nature des géotypes ($p>0,05$). Cependant, la situation hydrique affecte d'une manière très importante ce paramètre ($p<0.001$). L'interaction entre ces deux facteurs d'étude provoque également des oscillations des données notables de cette longueur ($p<0.05$), démontrant ainsi une distinction génotypique pour l'élaboration de ce paramètre.

Tableau 25 : Effets de la nature des géotypes et du traitement hydrique sur la longueur des cellules parenchymateuses des racines adventives

Variable	Test F	probabilité
Géotype	1,5602ns	0,2104
Situation hydrique	11,6579***	0,0001
Géotype*s.hydrique	2,2651*	0,0500

***** : significatif au seuil de 0,1% * : Significatif au seuil de 5% ; ns : non significatif**

Les résultats moyens enregistrés dans le Tableau26 montrent que les longueurs des cellules parenchymateuses sont variables à travers les différents géotypes étudiés et en fonction de l'alimentation hydrique concernée. Dans le lot conduit à 100%CC, le géotype Simeto se distingue parmi la collection en extériorisant la plus haute valeur avec $160.20\mu\text{m}\pm 16.60$ et Langlois enregistre au contraire la plus faible et qui est de $140.48\mu\text{m}\pm 2.42$. Dans le lot de conduit à 60%CC, ces valeurs vacillent dans l'intervalle délimité par une valeur maximale de $70.95\mu\text{m}\pm 13.31$ qui est relevée chez Ofanto et $38.79\mu\text{m}\pm 2.39$ donnée par le géotype Langlois. Enfin au niveau du lot conduit à 30%CC les valeurs sont comprises entre $63.01\mu\text{m}\pm 0.47$ donnée par Vitron et $33.55\mu\text{m} \pm 3.09$ affichée chez le géotype Oued Zenati.

Tableau 26 : Les résultats moyens de la longueur des cellules parenchymateuses des racines adventives (μm)

Génotype	Régime hydrique	La longueur des cellules parenchymateuses (μm), R.A	écart type
Vitron	100%CC	133,04	10,35
Vitron	60%CC	242,47	2,41
Vitron	30%CC	190,51	3,21
Langlois	100%CC	140,58	2,42
Langlois	60%CC	162,94	12,65
Langlois	30%CC	250,21	5,2
Ofanto	100%CC	93,56	8,77
Ofanto	60%CC	274,66	2,65
Ofanto	30%CC	192,52	10,56
Oued Zenati	100%CC	228,01	92,43
Oued Zenati	60%CC	229,25	43,68
Oued Zenati	30%CC	224,61	2,85
Simeto	100%CC	160,2	16,6
Simeto	60%CC	293,67	16,61
Simeto	30%CC	223,47	47,56



Figure 11 : Cellule parenchymateuse dans le lot conduit à 30% CC

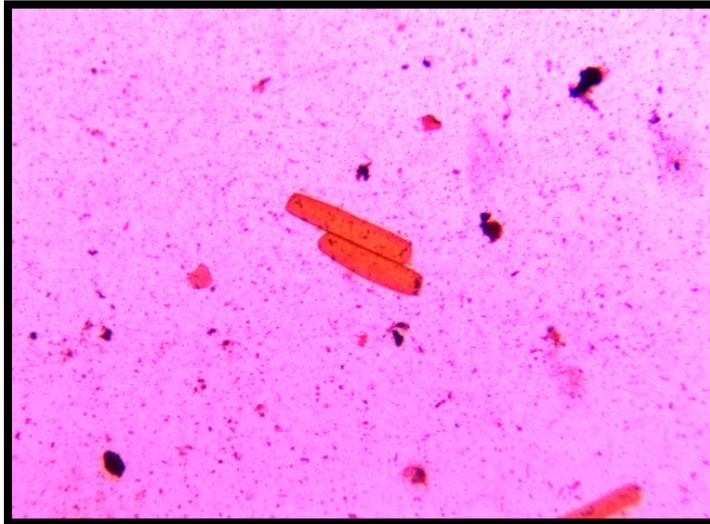


Figure 12 : Cellule parenchymateuse dans le lot conduit à 60% CC



Figure 13 : Cellule parenchymateuse dans le lot conduit à 100% CC

IV. Expérimentation 02

2. Les paramètres morphologiques

2.1. La longueur des racines séminales

L'étude statistique des résultats mentionnés dans le tableau 27 montrent que la longueur des racines séminales dans ces conditions expérimentales, est influencée par la nature des génotypes ($p < 0.05$). Une autre influence est également évoquée et qui émane du régime hydrique appliqué ($p < 0.001$). En effet, l'application du déficit hydrique provoque une nette régression de la longueur de ces racines ($r = -0.641$). L'impact du déficit hydrique sur la longueur est perceptible de manières différentes par les génotypes testés et il se confirme par la présence d'un effet significatif de l'interaction des deux facteurs d'étude ($p < 0.01$).

Tableau 27 : Effets de la nature des génotypes et du traitement hydrique sur la longueur des racines séminales

Génotype	2,9791*	0,0348
Situation hydrique	92,3807***	0,0000
Génotype*s.hydrique	3,8798**	0,0030

* : Significatif au seuil de 5% ; ** : Significatif au seuil de 1% ; *** : significatif au seuil de 0,1%

Les résultats moyens obtenus (Tablea28) montrent que la longueur des racines séminales varient au niveau du lot conduit à 100%CC entre $51.97\mu\text{m} \pm 2.73$, valeur exprimée par Simeto, et une autre de $36.17\mu\text{m} \pm 4.78$ affichée par Ofanto. Tandis qu'au niveau du lot conduit à 60%CC, la plus haute valeur est inscrite par le génotype Vitron avec $14.40\mu\text{m} \pm 0.70$ et la plus faible est enregistrée par le génotype Oued Zenati avec une valeur de $8.40\mu\text{m} \pm 2.26$. Enfin au niveau du lot conduit à 30% les génotypes Simeto et Langlois inscrivent des données extrêmes évaluées respectivement à $14.50\mu\text{m} \pm 2.02$ et $11.47\mu\text{m} \pm 1.39$.

Tableau 28 : Les résultats moyens de la longueur des racines séminales, chez les différents génotypes testés sous les différents régimes hydrique

Génotype	Régime hydrique	Longueur des racines séminales	écart type
Vitron	100%CC	28,13	2,22
Vitron	60%CC	14,4	0,7
Vitron	30%CC	14,03	2,64
Langlois	100%CC	45,57	3,95
Langlois	60%CC	8,87	1,99
Langlois	30%CC	11,47	1,39
Ofanto	100%CC	36,17	4,78
Ofanto	60%CC	17,3	4,3
Ofanto	30%CC	14,5	2,02
Oued Zenati	100%CC	48	8,66
Oued Zenati	60%CC	8,4	2,26
Oued Zenati	30%CC	24,3	4,36
Simeto	100%CC	51,97	2,73
Simeto	60%CC	7,17	0,6
Simeto	30%CC	24,87	5,12

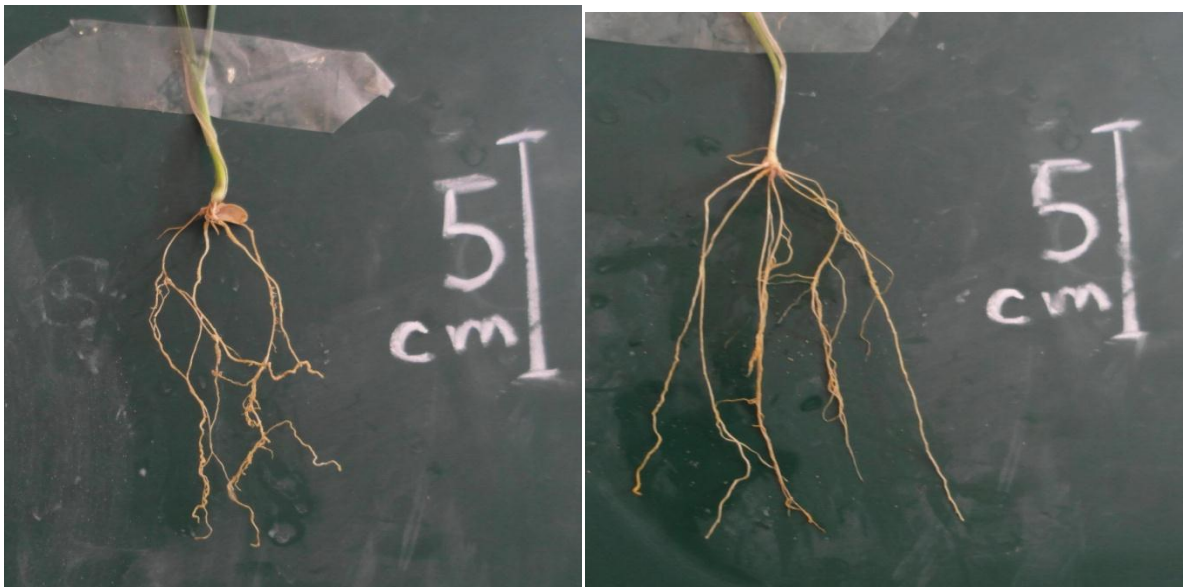


Figure 14 : plante de blé dur dans les deux lot, à droite 60%CC, à gauche 30%

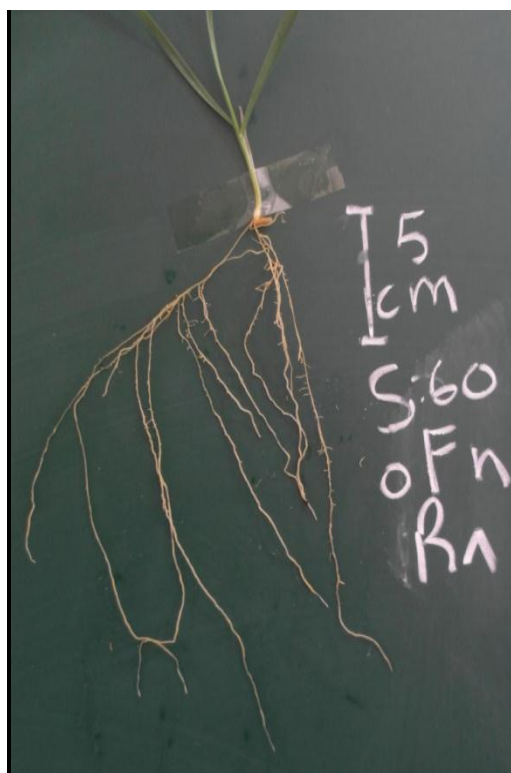


Figure 15 : plante de blé dur dans le lot conduit à 100%CC

3. Les paramètres anatomiques

3.1.Épaisseur du parenchyme corticale

L'analyse de la variance des résultats obtenus (Tableau29) démontre que l'épaisseur de parenchyme cortical est fortement influencée par la nature des génotypes testés ($p < 0.001$), ainsi le régime hydrique adopté ($p < 0.001$). Ces résultats démontrent que l'accentuation du déficit hydrique s'est accompagnée d'une légère diminution de l'épaisseur de cette partie de la racine ($r = -0.020$). L'interaction des deux facteurs de l'étude induit également un effet significatif ($p < 0.001$) sur les variations de grandeurs de ce paramètre.

Tableau 29 : Effets de la nature des génotypes et du traitement hydrique sur l'épaisseur du parenchyme corticale des racines séminales

Variable	Test F	probabilité
Génotype	125,45***	0.0000
Situation hydrique	65,51***	0.0000
Génotype*s.hydrique	69,74***	0.0000

*** : significatif au seuil de 0,1%

Les résultats moyens enregistrés dans le (Tableau30) affichent que l'épaisseur de parenchyme cortical au niveau du lot conduit à 100% oscille entre des extrêmes de $252.46\mu\text{m}\pm 15.68$ (Ofanto) et $211.65\pm 0,63$ (Oued Zenati). Dans le lot conduit à 60%CC, la valeur la plus élevée est observée chez le génotype Oued Zenati ($487.53\mu\text{m}\pm 12.62$). A l'opposé, le génotype Simeto inscrit la plus faible valeur $164,8\mu\text{m} \pm 0.94$.

Au niveau du lot conduit à 30%, ces valeurs fluctuent entre $289.06\mu\text{m}\pm 9.95$ (Oued Zenati) et $164.32\mu\text{m} \pm 3.88$ notée par le génotype Langlois.

Tableau 30 : les résultats moyens obtenus de l'épaisseur du parenchyme cortical des génotypes testés sous les différents régimes hydriques

Génotype	Régime hydrique	Epaisseur du parenchyme cortical des R.S (μm)	écart type
Vitron	100%CC	217,23	4,43
Vitron	60%CC	266,82	19,42
Vitron	30%CC	233,31	0,79
Langlois	100%CC	229,61	4,95
Langlois	60%CC	218,05	4,17
Langlois	30%CC	164,32	3,88
Ofanto	100%CC	252,46	15,68
Ofanto	60%CC	236,02	0,27
Ofanto	30%CC	212,3	0,28
Oued Zenati	100%CC	211,65	0,63
Oued Zenati	60%CC	487,53	12,62
Oued Zenati	30%CC	289,06	9,97
Simeto	100%CC	214,84	2,47
Simeto	60%CC	164,80	0,94
Simeto	30%CC	207,75	6,76

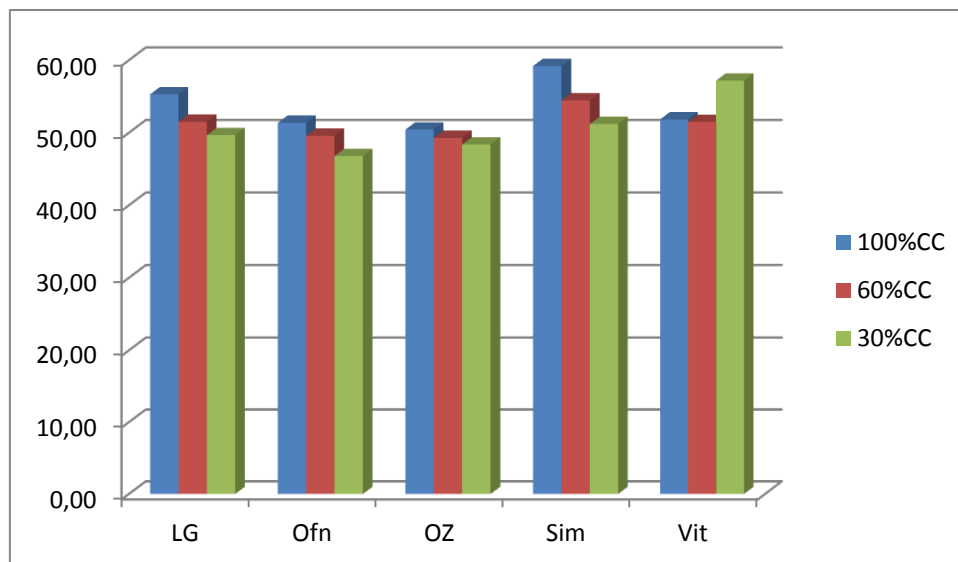


Figure 13 : Diagramme représente le Diamètre de l'épaisseur du parenchyme cortical, chez les différents génotypes testés sous les différents régimes hydriques

3.2. Diamètre des vaisseaux ligneux du métaxylème

L'étude statistique des résultats obtenus (Tableau 31), montre que l'élaboration du diamètre des éléments conducteurs du xylème primaire est grandement influencée par les deux facteurs d'étude, le génotype et la situation hydrique ($p < 0.001$). On note également un effet très hautement significatif sur l'expression de ce paramètre ($p < 0.001$), ce qui indique que les génotypes testés ont manifesté des comportements divergents à l'égard des situations hydriques appliquées.

Les résultats indiquent que l'application du déficit hydrique a provoqué une importante réduction du diamètre des éléments conducteurs ($r = -0.347^{**}$).

Tableau 31 : Effets de la nature des génotypes et du traitement hydrique sur le diamètre de métaxylème des racines séminale

Variable	Test F	Probabilité
Génotype	21,85	0,0000
Situation hydrique	14,17	0,0000
Génotype*s.hydrique	8,19	0,0000

*** : significatif au seuil de 0,1%

Les résultats moyens obtenus (Tableau32), montrent que le diamètre des cellules d'xylème, au niveau du traitement témoin menée à 100%CC le diamètre de métaxylème est limité par les valeurs, $59.20\mu\text{m}\pm 0.91$ (Simeto) et 50.44 ± 0.19 (Oued Zenati). Dans le lot conduit à 60%CC, le génotype Simeto enregistre la plus haute valeur avec 54.45 ± 2.65 et le génotype Oued Zenati affiche la plus faible valeur ($49.30\mu\text{m}\pm 0.49$). Enfin au niveau de lot conduit à 30%CC, Ces valeurs fluctuant entre 57.19 ± 0.88 marqué par Vitron et 48.38 ± 0.08 enregistré chez Oued Zenati.

Tableau 32 : Les résultats moyens du diamètre de métaxyleme des racines séminale, chez les différents génotypes testés sous les différents régimes hydriques

Génotype	Régime hydrique	Diamètre de métaxyleme des racines séminales (μm)	écart type
Vitron	100%CC	51,84	0,2
Vitron	60%CC	51,5	2,03
Vitron	30%CC	57,19	0,88
Langlois	100%CC	55,29	0,13
Langlois	60%CC	51,5	0,14
Langlois	30%CC	49,67	0,1
Ofanto	100%CC	51,37	0,22
Ofanto	60%CC	49,58	0,18
Ofanto	30%CC	46,79	0,19
Oued Zenati	100%CC	50,43	0,19
Oued Zenati	60%CC	49,29	0,13
Oued Zenati	30%CC	48,38	0,07
Simeto	100%CC	59,19	0,9
Simeto	60%CC	54,45	2,65
Simeto	30%CC	51,21	0,038

3.3.Diamètre des cellules parenchymateuses

L'élaboration du diamètre des cellules parenchymateuses est grandement influencée par la nature des génotypes ($p < 0.001$) et la situation hydrique adoptée ($p < 0.001$). Les résultats démontrent que l'application du déficit hydrique s'est soldée par une nette diminution du diamètre de ces cellules ($r = -0.389^{**}$).

Tableau 33 : Effets de la nature des géotypes et du traitement hydrique sur le diamètre des cellules parenchymateuses des racines séminales

Variable	Test F	probabilité
Géotype	125,45***	0.0000
Situation hydrique	65,51***	0.0000
Géotype*s.hydrique	69,74***	0.0000

*** : significatif au seuil de 0,001%

Les résultats moyens (Tableau 34) montrent qu'au niveau du traitement témoin conduit à 100%CC, le diamètre des cellules parenchymateuses observé est compris entre $72.07\mu\text{m}\pm 3.70$ (Ofanto) et $57.11\mu\text{m}\pm 0,76$ (Simeto). Dans le lot conduit à 60%CC ces valeurs sont de l'ordre de $79.39\mu\text{m}\pm 1.02$ (Vitron) et $1,12\mu\text{m}\pm 031$ (Oued Zenati). Enfin dans le lot conduit à 30%CC les diamètres des différents géotypes se concentrent dans les limites de $72.48\mu\text{m}\pm 0,98$ (Vitron) et $34.39\mu\text{m}\pm 0,39$ (Simeto).

Tableau 34 : Les résultats moyens du diamètre des cellules parenchymateuse des racines séminales, chez les différents géotypes testés sous les différents régimes hydriques

Géotype	Régime hydrique	Diamètre des cellules parenchymateuses (RA)	écart type
Vitron	100%CC	63,11	3,45
Vitron	60%CC	79,39	1,02
Vitron	30%CC	72,48	0,98
Langlois	100%CC	61,78	0,25
Langlois	60%CC	56,32	2,28
Langlois	30%CC	49,56	0,98
Ofanto	100%CC	72,07	3,70
Ofanto	60%CC	67,86	0,79
Ofanto	30%CC	60,87	0,18
Oued Zenati	100%CC	58,84	0,87
Oued Zenati	60%CC	60,86	1,81
Oued Zenati	30%CC	39,09	0,25
Simeto	100%CC	57,11	0,76
Simeto	60%CC	51,77	1,02
Simeto	30%CC	34,39	0,39

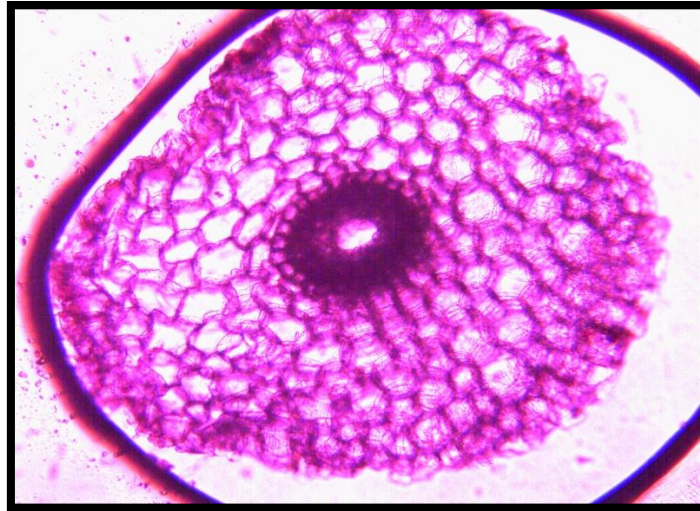


Figure 16: Coupe transversale au niveau de la zone pilifère de la racine séminale (100%CC)

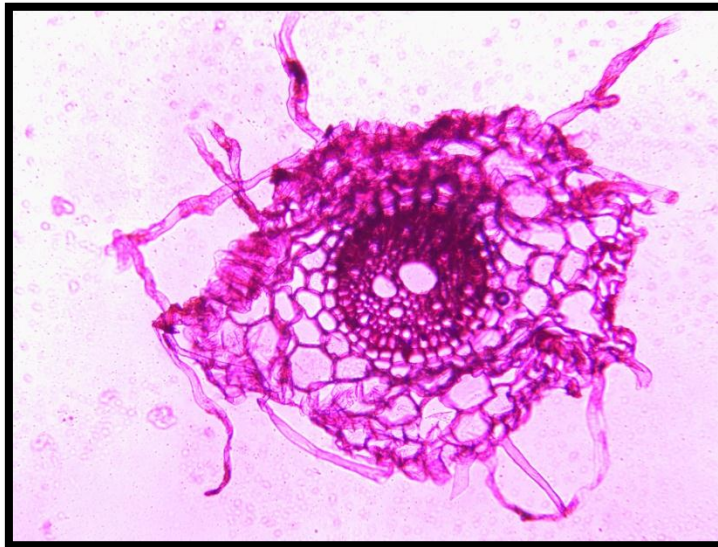


Figure 17 : Coupe transversale au niveau de la zone pilifère de la racine séminale (60%CC)

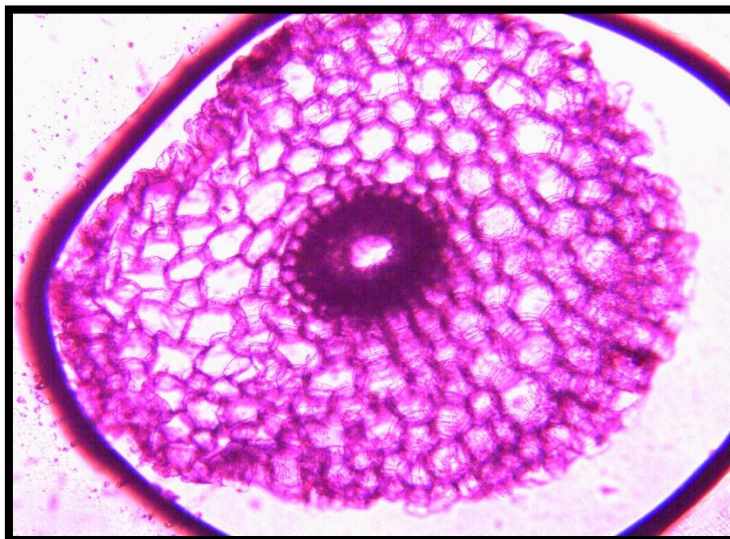


Figure 18: Coupe transversale au niveau de la zone pilifère de la racine séminale (30%CC)

Discussion

D'après **MONNEVEUX (1992)**, le statut hydrique de la plante exprimé à travers la teneur relative en eau constitue un indice de référence d'adaptation des plantes au déficit hydrique. Les résultats émanant de la première expérimentation n'indiquent aucune altération de la teneur relative en eau en conditions de déficit hydrique. Le maintien de la teneur relative en eau à un niveau optimal et supérieur 90%, résulterait des mécanismes extériorisés par les plantes pour lutter contre le déficit hydrique. Parmi ces mécanismes, et qui est introduit dans notre étude, le comportement du système racinaire. La préservation du statut hydrique de la plante à des niveaux similaires entre le traitement témoin et les lots stressés revient à la croissance en longueur des racines dont l'extrémité a atteint les couches profondes du substrat demeurant plus humides (Figure 19,20,21). Ces propos se confirment suivant les essais portant sur ce remodelage et qui est présenté dans ce travail.

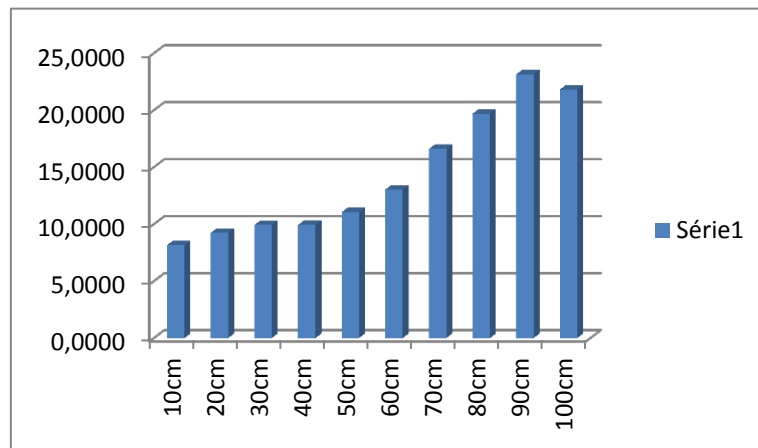


Figure 19 : l'évolution de l'humidité du sol au niveau du cylindre conduit à 100%

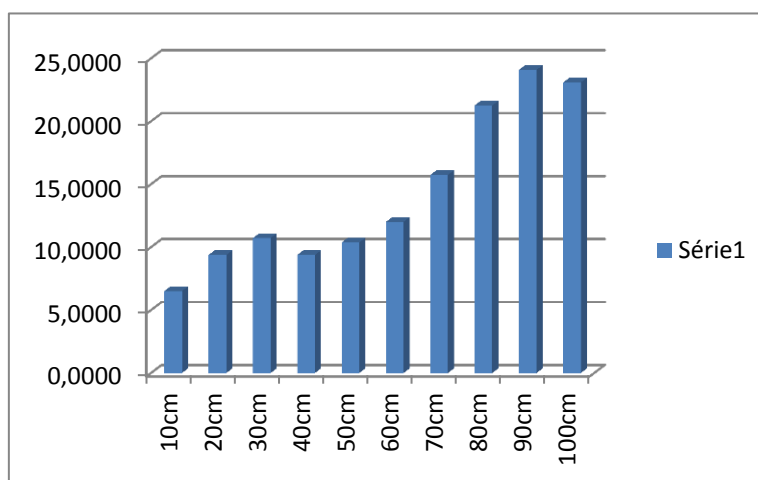


Figure 20 : l'évolution de l'humidité du sol au niveau du cylindre conduit à 60%

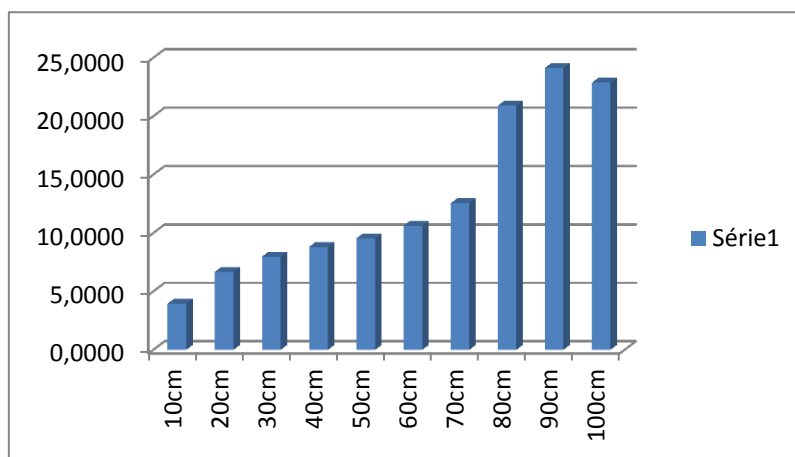


Figure 21 : l'évolution de l'humidité du sol au niveau du cylindre conduit à 30%

Le système racinaire avec les modifications morphologiques, fonctionnelles et anatomiques constituent les paramètres fondamentaux dans la fonction de tolérance à la sécheresse chez le blé dur. **Différents travaux tels que Benlaribi et al. (1990), Ali dib et al. (1992), et Al hakimi et al. (2005)** ont montré l'importance des remodelages morphologiques des racines impliqués dans la tolérance au déficit hydrique survenant essentiellement pendant les stades de forte activité végétative (montaison-floraison). Ils démontrent que l'élongation racinaire avec une forte ramification à l'extrémité des racines contribuent à une meilleure exploration des couches les plus profondes et par conséquent les plus humides. Peu de travaux se sont consacrée et encore moins ceux qui expliquent les mécanises conditionnant ces remodelages.

Les résultats obtenus dans cette étude démontrent que la dynamique et la répartition sont fortement liées au profil hydrique du substrat. Ainsi, la croissance en longueur des racines sous un régime hydrique déficient serait qualifiée d'hydrotropisme racinaire et a fait l'objet de certaines études tenant d'expliquer les mécanismes qui sont responsables (**ADDA, 2005**). Toute croissance végétale repose sur le déroulement de la multiplication et la croissance cellulaires qui induit cette élongation. Mais ceci reste conditionné par la répartition du profil hydrique au niveau du substrat et doit être croissant. Cette dynamique racinaire et l'exploration des couches profondes maintenues plus en cas de survenue d'un déficit hydrique est à l'origine d'un maintien d'une alimentation hydrique optimale de la plante concernée. Ceci se justifie durant le travail réalisé par l'absence de toute déperdition du statut hydrique de la plante évalué par la teneur relative en eau, en situation de déficit hydrique. Ainsi, les

résultats obtenus de cette étude montrent l'absence de toute différence dans la longueur de l'axe racinaire entre les plantes issues des différents traitements hydriques adoptés. Cette situation serait expliquée par une élongation racinaire initiée par une cinétique de croissance plus importante au niveau des plantes conduites en situation de déficit hydrique. Néanmoins, il rappelle que la croissance en longueur des racines reste conditionnée par la disponibilité d'une humidité pondérale, le long du profil hydrique, permettant de maintenir et induire l'accroissement de la croissance en longueur des racines.

Le résultat obtenu de ce travail, indique que le nombre de ramification/unité de surface des racines séminales augmente significativement avec l'accroissement de l'intensité du déficit hydrique ($r=0.31$). Ces résultats rejoignent les travaux de **DAALOUL et al. (2002)** ; **ADDA et al. (2005)** qui démentirent qu'en condition de déficit hydrique, le blé dur intensifie la longueur des racines ainsi que leur ramification dans les couches de sol les plus profondes permettant de donner une appréciation de l'aptitude de l'espèce à développer un système plus ou moins étendu dont l'importance contribue à l'augmentation du volume du sol exploité et par conséquent l'obtention d'une quantité d'eau plus importante.

Une autre particularité morphologique est acquise suite à la déclaration du déficit hydrique et qui concerne la réduction du diamètre des racines adventives ($r=-0.478^{**}$) et séminales ($r=-0.408^{**}$). Cette réduction s'explique par de profondes modifications anatomiques et concernent essentiellement la réduction de l'épaisseur du parenchyme cortical des racines et ce par diminution des files et des dimensions cellulaires.

Une situation inverse a été constatée lors de la deuxième expérimentation, où une répartition différente de l'humidité, comparativement à ce qu'on a constaté lors de la première expérimentation, s'est soldée par une modification profonde de l'élaboration de cette morphologie racinaire. Ainsi, au cours de cet essai la réduction de l'humidité le long du profil des cylindres des traitements conduits à 60%CC et plus particulièrement ceux menés à 30%CC a provoqué une apparente inhibition de la croissance en longueur des racines qui demeurent dans ce cas superficielles.

Tableau 35 : Les corrélations entre les paramètres étudiés dans la première expérimentation

variable	SH	TRE	LRS	NRA	LRA	NRS	DRS	DRA	V1	V2	V3	MSR/ MSA	LCP (RA)	DCP (RA)	LnCP (RS)	DCP (RS)	DPCP (RS)	EPCP
SH																		
T.R.E	-0,05																	
L.R.S	-0,13	0,21																
N.R.A	0,01	0,02	-0,07															
L.R.A	-0,46	0,16	0,24	-0,17														
NBR	0,31	-0,01	-0,07	0,41	-0,32													
D.R.S	-0,41	0,11	0,12	-0,24	0,16	-0,21												
D.R.A	-0,48	0,06	-0,13	0,00	0,16	-0,19	0,07											
V1	-0,18	0,14	0,30	-0,23	0,28	-0,25	0,26	-0,04										
V2	-0,16	0,17	-0,03	-0,15	0,12	-0,02	0,10	0,01	0,00									
V3	0,39	-0,02	-0,20	0,15	0,00	0,20	-0,34	0,08	-0,07	0,19								
MSR/ MSA	0,36	-0,06	-0,01	-0,13	0,00	-0,17	-0,05	-0,33	0,29	-0,27	-0,07							
Ln.C.P (RA)	0,39	0,04	0,20	0,18	0,02	0,44	-0,15	-0,21	-0,07	-0,23	0,14	0,23						
D.C.P (RA)	0,18	-0,05	0,02	0,22	-0,14	0,25	-0,08	0,02	-0,01	-0,42	0,00	0,24	0,30					
EPCP (RA)	-0,02	-0,20	-0,10	0,14	-0,05	0,19	0,02	0,12	-0,30	-0,04	0,21	0,01	0,07	0,31				
Ln.C.P (RS)	0,01	-0,07	-0,04	0,29	-0,07	0,15	0,00	0,04	-0,24	-0,11	0,03	0,19	0,18	0,36	0,61			
D.C.P(RS)	-0,30	-0,06	-0,02	-0,01	0,01	-0,13	0,08	0,53	0,00	-0,03	0,09	-0,16	-0,18	0,25	0,43	0,30		
EPCP(RS)	-0,31	-0,13	0,07	0,48	-0,28	0,11	0,00	0,17	-0,16	-0,15	-0,27	-0,21	-0,06	0,03	0,10	0,28	0,14	1,00

Tableau 36 : Les corrélations entre les paramètres étudiés dans la deuxième expérimentation

SH	LRS	EPC	DM	DCP
LRS				
EPC	-0,151244			
DM	0,349213	-0,217929		
DCP	-0,012962	0,148277	0,175921	

Conclusion générale

La recherche et l'étude des paramètres d'adaptation au déficit hydrique constituent un travail incontournable dans toute tentative visant l'amélioration de la tolérance et la productivité du blé dur en zones régies par les déficits hydriques.

L'effet de la sécheresse sur le comportement de cette espèce dépend de son intensité et l'époque de sa déclaration pendant le cycle de développement de la plante. L'implication des mécanismes de tolérance au déficit hydrique des différents organes conduit assurément à des variations de la période de leur extériorisation et mène également à des retombées d'utilités différentes sur le comportement de cette espèce.

Un système racinaire capable d'extraire l'eau du sol serait un caractère essentiel pour l'adaptation à la sécheresse. Cette caractéristique revêt une importance particulière pour les cultures qui subissent régulièrement des déficits hydriques durant le cycle de développement. Son impact sur le rendement serait particulièrement élevé car il interviendrait directement dans la disponibilité de l'eau pour la plante en condition de stress.

Au terme de ce travail, les résultats dégagés démontrent que le bilan hydrique de la plante est fortement conditionné par les différentes transformations dont il est sujet le système racinaire. L'étude de la réponse au stress chez les cinq génotypes de blé dur testés révèle l'existence d'une variabilité pour l'ensemble des paramètres retenus.

Parmi les principaux résultats dégagés de cette étude, on évoque celle qui se rapporte à la préservation de l'état hydrique de la plante en conditions de déficit hydrique. En effet, le maintien de l'hydratation à un niveau optimal résulterait des modifications qu'à subit le système racinaire en conditions hydriques déficientes. Ces modifications qualifiées de remodelage morphologique sont conditionnées essentiellement par une élongation racinaire accompagnée de leur ramification à l'échelle des horizons du substrat demeurant plus humides en cas d'arrêt d'arrosage. Ces modifications restent donc liées à la répartition de l'humidité à travers le profil du substrat de culture.

Un autre résultat qui serait intéressant et qui concerne le peuplement de la plante par les racines adventives. Les résultats obtenus démontrent que l'application du déficit hydrique au début de tallage de la plante induit la formation des racines adventives. Cette formation

s'opère dans le cadre de la compensation des facultés d'absorption d'eau par la plante en situation de déficit hydrique. Néanmoins l'élongation et le fonctionnement de ces racines restent tributaire des conditions hydriques du substrat. Ainsi, une humidité faible au voisinage du collet limite sérieusement la formation et l'élongation des racines adventives.

Les transformations morphologiques s'accompagnent de profondes modifications structurales qui seraient à l'origine de l'accroissement des potentialités de tolérance de la plante au déficit hydrique. Parmi ces transformations on cite principalement la réduction de l'épaisseur du parenchyme cortical par diminution du diamètre des cellules qui le forme, qui contribuerait à un meilleur transit horizontal de l'eau en conditions de déficit hydrique.

Liste des références

- ABASSENNE F., BOUZERZOUR H. HACHEMI L., 1998.** Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi – aride d'altitude. Annales Agronomiques. INA, 18: 24 -36.
- ADDA A., SAHNOUNE M., KAID-HARCHE M., MERAH O., 2005.** Impact of water deficit intensity on durum wheat seminal roots. C.R. Biologies III. Plant biol. Path.328 : 918-927.
- ADIKU S.G.K., BRADDOCK R.D. and ROSE C.W., 1996.** Modelling the effect of varying soil water on root growth dynamics of annual crops. Plant and Soil 185 : 125-135.
- ALI DIB.T., MONNEUVEUX.P., 1992.** Adaptation à la sécheresse et notion d'idiotype chez le blé dur. I. Caractères morphologiques d'enracinement. Agronomie(12) ;PP/371-379.
- AMOKRANE A., Bouzerzour H., Benmahammed A. & Djekoun A., 2002.** Caractérisation des variétés locales, syriennes et européennes de blé dur évaluées en zone semi-aride d'altitude. Sciences et Technologie. Univ. Mentouri. Constantine. N° spécial D:33 -38.
- ANONYME, 2003.** Le débat des semences. Solution pour les lois nationales régissant le contrôle de ressources génétiques et des innovations biologiques. Groupe crucible μ . Centre de recherches pour le développement international. Institut International des Ressources phytogénétiques et la Fondation Dag Hammarskjöld. Vol II, 265p.
- BAGGA A.K., Ruwal K.N. & Asana R.D., 1970.** Comparison of some Indian and semi-dwarf Mexican wheat to unirrigated cultivation. Indian J. agric. Sci. **40**: 421- 427 p.
- BALDY C., 1984.** Utilisation efficace de l'eau par la végétation en climats méditerranéens. Bull. Soc. Boton. Fr 131 (2, 3, 4) (Actuel Boton) 491- 499.
- BAHLOULI F., BOUZERZOUR H., BENMAHAMMED A., 2005.** Selection of stable and high yielding cultivar of durum wheat under semi – arid conditions. Pakistan Journal of Agronomy 360 –365p.
- BARBOTIN 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 INA Paris Grignon, 237p.
- BATCHO E., DAOUDA O.S., ANNEROSE D.M.J., KHALFAOUI J.L., FOFANA A., D. LAFFRAY, P. LOUGUET J., 1990.** Bulletin APAMA, 6:51-63.
- BENLARIBI M., MONNEVEUX P. et GRIGNAC P., 1990.** Etude des caractères d'enracinement et de leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf). Agronomie, 10: 305-322.
- BENLARIBI M., 1990.** Adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) : Etude des caractères morphologiques et physiologiques. Thèse de Doctorat d'Etat, I.S.N.- Université de Constantine, 164-190 p.

BEN NACEUR M., GHARBI M.S., PAUL R., 1999. L'amélioration variétale et les autres actions contribuant à la sécurité alimentaire en Tunisie en matière de céréales. *Sécheresse*. 10:27- 33 p.

BEN Salem M., Boussen H. & Slama A., 1997. Évaluation de la résistance à la contrainte hydrique et calorique d'une collection de blé dur : recherche de paramètres précoces de sélection. Sixièmes Journées scientifiques du réseau Biotech.-Génie Génétique des plantes, Agence francophone pour l'enseignement supérieur et la recherche (AUPELF /U R E F). Orsay. *Sécheresse*. 2 : 75- 83 p.

BENSEDDIK B., BENABDELLI K., 2000. Impacts du risque climatique sur le rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride : approche écophysiole. *Sécheresse* 11(1). Ed. John Libbey Euro text. Paris, pp : 45-51.

BILL I., 2007. La biologie de A à Z : 1100 définitions. Ed. Dunod, Paris, pp : 123.

BOZZINI A., 1988. Origin, distribution, and production of durum wheat in the world. Dans Fabiani G. et C. Lintas (éd). *Durum: Chemistry and Technology*. AACC (Minnesota), États-Unis. p. 1-16.

Blum A., 1996. Crop responses to drought and the interpretation of adaptation plant growth regulation. 20: 135 - 148 p.

BOUFENAR-ZAGHOUANE F., ZAGHOUANE O., 2006. Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie (blé dur, blé tendre, orge et avoine). Ed. ITGC, 154P.

BOULAL H., ZAGHOUANE O., EL MOURID M., REZGUI S., 2007. Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). Ed. ITGC, INRA, ICARDA. 176P.

BOUTFIRASS M., KARROU M., et EL MOURID M., 1994. Irrigation supplémentaire et variétés de blé dans les zones semi-arides du Maroc. In : El Gharous M., Karrou M. et El Mourid M. (Eds) ; Aquis et perspectives de la recherche agronomique dans les zones arides et semi-arides du Maroc. INRA-MIAC Eds. Actes de conférence, Rabat 24-27 Mai 1994, Maroc : 176-179.

BOYER J.S., 1982. Plant productivity and environment. *Sci*, New series. 218: 443 - 448 p.

BROWN SC., GREGORY PJ et WAHBLA ., (1978). Root characteristics and water use in mediterranean environment, in Srivastava Jp , Proccedu , Acevedo E, Varmas Eds, Drought Tolerance in winter cereals, Proceedings of the international work shop , Ed : 23-31. October 1985, Capri (Italy) Wiley ; Chichester ; UK.

CAMEFOR H., 1984. Morphologie des végétaux vasculaires, Ed. doin, p.432.

CLARKE, J.M., NORVELL W.A., CLARKE F.R., BUCKLEY T.W., 2002. concentration of cadmium and other elements in the grain of near-isogenic durum lines. *Can. J. Plant Sci. / Revue canadienne de phytochnie*, 82:27-33.

Climent.; Grand.; PRATZ .; 1971. les céréales .Ed : Baillièrre et fils. p351.

DAALOUL A BCHINI H., SAYAR R., 2002. Variabilité génétique de quelques paramètres du système racinaire du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous deux régimes hydriques, Plant Genet. Resour. Newslett. 129 25–31.

DAALOUL A, BCHINI H et SAYAR R., 2006. Variabilité génétique quelques paramètres du système racinaire du blé dur (*Triticum durum* Desf) sous deux régimes hydriques, PGR newsletter FAO-IPGRI , 129, pp. 25-31.

DEBAEKE P., CABELGUENNE M., CASALS ML., PUECH J., 1996. Élaboration du rendement du blé d'hiver en conditions de déficit hydrique. II. Mise au point et test d'un modèle de simulation de la culture de blé d'hiver en conditions d'alimentation hydrique et azotée variées. Epicphase-blé. *Agronomie*. **16**: 25 - 46 p.

DJELLAOUI A., 2005. Etude des paramètres morpho-anatomique racinaires d'adaptation de déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf). Mémoire Ingénieur d'Etat en Sci. Agron. université Ibn Khaldoun. 3-5.

DIXON R. & Paiva N. L., 1995. Stress - induced phenylpropanoid metabolism. The plant cell. **7**: 1085 - 1097 p.

EL HASSANI T.A. & Persoons E., 1994. Agronomie moderne. Bases physiologiques et agronomiques de la production végétale. (éd). *AUPELF-UREF* : 544 p.

EI MOURID M., KARROU M., et EL GHAROUS M., 1996. La recherche en aridoculture respectueuse de l'environnement. *Al Awamia*, **92**: 69-81.

ESSAU K., 1965. Plant anatomy, second edition, Ed. John Wiley & Sons, 767P.

FAO. Agriculture mondiale: *horizon 2015/2030. Rapport abrégé...* , [En ligne], 2015. [<http://www.fao.org/docrep/004/y3557f/y3557f08.htm>] (10-04-2015) à 21h

GARCIA DEL MORAL L.F., RHARRABTI Y., VILLEGAS D., et ROYO C., 2003. Evaluation of Grain Yield and its Components in Durum Wheat under Mediterranean Conditions: An Ontogenic Approach. *Agron*, **95**: 266-274.

GATE P., 19-95. Ecophysiologie du blé, Edit. Lavoisier, Paris, Techniques et Documentations, 429 p.

GATE P., GIBAN M., 2003. Stades du blé. Ed. Paris, ITCF, 68p.

Gonzalez A., Martin I. & Ayerbe L., 1999. Barley yield in water stress conditions. The influence of precocity, osmotic adjustment and stomatal conductance. *Field Crop Res* . **62**: 23 -34 p

GREGORY, P.J., 2006. Plant roots. In: Growth, Activity and Interaction with Soils. Blackwell Publishing Ltd, Oxford.

Hadjichistodoulou A. 1985. Stability performance of cereals in low rainfall areas as related to adaptive traits. in : drought tolerance in winter cereals. **Srivastava J.P., Porceddu E., Acevodo E., Varma S.**(éd).John Wiley and sons.UK: 191 -200 p.

HAMMICHE., 1995.Morphologie et systématique botanique,département des pharmacies.INEssmd'alger office des publications universitaires Benaknoun.P190(PP2-3).
HELLER R,ROBERTE,CIAUDE L.,2000.Physiologie végétale I Nutrition.Ed.Dunod p.366.

HESS C.E.,1969.Internal and external factors regulating root initiation.IN :root graph.

Hsissou D., 1994. Sélection *In vitro* et caractérisation de mutants de blé dur tolérants à la sécheresse. Thèse de doctorat. Univ. Catholique de Louvain.

KAROU M ., HAFFID R., SMITH D.N., SAMIR K., 1998. Roots and shoot growth water use and water use efficiency of spring durum wheat under early – season drought .Agronomie 18 , 18:186 .

KIANI P., 2007. Analyse génétique des réponses physiologiques du tournesol (*Helianthus annuus*L.) soumis à la sécheresse. Thèse Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse.

KHALDOUN A., CHERY J., MONNEVEUX P., 1990. J. Agronomie 10.369-379.

KRAMER P.J. AND BOYER J.S., 1995.Water relations of plants and soils (Book). AcademicPress, San diego.56-77.

LAFON JP,THARAUD PAYER C,LEVYG.,1996.Biologie des plantes cultivées, Tome1,Organisation/physiologie de la nutrition.2^ed.219p.

LAMAZE T., TOUSCH D., SARDA X., GRIGNON C., DEPIGNY-THIS D., MONNEVEUX P. et BELHASSEN E., 1994. Résistance de plantes a la sécheresse: mécanismes physiologiques. Le sélectionneur Français, 45: 75-85.

LARCHER W., 1995.Plant under stress.In, Physiological Plant Ecology. 3^eme ed. Springer: 321-448.

LEGG B.J., DAY W., LAWLOR D.W., et PARKINSON K.J., 1979. The effects of drought on barley growth: models and measurements showing the relative importance of leaf area and photosynthetic rate. J. Agric. Sci., 92: 703-716.

LILLEY J.M., KIRKEGAARD J.A., 2011.Benefits of increased soil exploration by wheat roots. Field Crops Res. 122, 118–130.

LUTTGE U KLUGE M,BAUER G .,1997.Botanique 2^{ème} édition.Ed.lavoisier.pp213-243,p574.

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

MAGRIN G., 1990. Facteurs de stress agissant sur la production du blé en Argentine. Evaluation de mécanismes d'adaptation à la sécheresse. Thèse. Ing. ENSA Montpellier France.

MAZOUZ L., 2006.,Etude de la contribution des paramètres phéno-morphologiques dans l'adaptation du blé dur (*Triticumdurum*Desf.) dans l'étage bioclimatique semi -aride .Mémoire de Magistère. Déprt.Agronomie. Université Hadj Lakhdar, Batna ,70p.

MONNEVEUX P., 1991. Quelles stratégies pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique chez les céréales d'hiver ?. In L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides (CHALBI N. and DEMARLY Y. eds.) AUPELF-UREF, John LibbeyEurotext Montrouge pp. 165-186.

MAZOYER M., 2002. La rousse agricole. Ed. Paris, pp : 320-321 ; 673.

PFEIFFER W.H., SAYRE K.D., REYNOLDS M.P., 2000. Enhancing genetic grain yield potential and yield stability in durum wheat. *Options méditerranéennes* .40: 83-93p.

PALTA, J., WATT, M., 2009. Vigorous crop root systems: form and function for improving the capture of water and nutrients. In: Sadras, V.O., Calderini, D.F. (Eds.), *Crop Physiology.Applications for Genetic Improvement and Agronomy*. Elsevier Inc.

PICARD D .,1973 : Incidence d'une période sèche de courte durée sur l'émission des racines primaires de panicum maximum C.R.Acad.Agric.Fr :59,1475-1485.

Poorter H., 1989. Interspecific variation in relative growth rate: on ecological consequences. In: Causes and consequences of variation in growth rate and productivity of higher plants.

PORST P.J .,1980.la botanique ,tome2.Application agricoles et horticales .Ed :J-Baillière.Paris.PP153-155.

TANNER C.B. et SINCLAIR T.R.,1983. Efficient water use in crop production: Research or re-search? In: Taylor, H.M, Jordan, W.R , Sinclair, T.R . (Eds). Limitations to efficient water Use in Crop Production.American Society of Agronomy Madison WI. : 29-43.

SCHULZE E.D., BECK E. et MULLER-HOHENSTEIN K., 2005.Plant ecology.Edition Springer Berlin- Heidelberg. 692p.

SOLTNER D., 1990. Les grandes productions végétales.17^{ème} édition,Science et technique agricole.France,pp :21-25.

RICHARDS, R.A., WATT, M., REBETZKE, G.J., 2007.Physiological traits and cereal germplasm for sustainable agricultural systems. *Euphytica* 154, 409–425.

Roland GS.,ROBERT D.,1999.Biologie végétale.Nutrition et métabolisme.Edit.Masson Paris,pp3-21.

ROLAND JC.,Roland F.,1983.Atlas de biologie végétale volume2.Oraganisationdes plants à fleurs .Ed.Masson.8-26.

YOKOTA A., TAKAHARA K. et AKASHI K., 2006. Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants.Springer: 15-39.

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.

VILLEGAS D., APARICIO N., BLANCO R. et ROYO C., 2001.Biomass accumulation and Main Stem Elongation of Durum Wheat Grown under Mediterranean Conditions.*Annals of Botany*, 88: 617-627.

المخلص

يعتبر العامل الاساسي المحدد للتغيرات المسجلة على مردود القمح بالجزائر. من خلال هذا العمل حاولنا تبين مدى تاثير النقص المائي على 6 انواع من القمح الصلب، ونلك بدراسة بعض التغيرات على مستوى من الجانب المورفولوجي، التشريحي ومدى استجابة الاستطالة الخلوية. النتائج المتحصل عليها اثبتت ان النقص المائي له تاثير واضح على العديد من العوامل و التي تكون عن طريق التغيرات البنيوية لمختلف الاعضاء خاصة الجذور. الكلمات المفتاحية: نقص الماء، القمح الصلب، مورفولوجي، تشريحي، جذور، استطالة خلوية.

Résumé

Le déficit hydrique représente le facteur principale du faible rendement du blé dur en Algérie, pour tolérer ce stress abiotique les plantes développent différentes stratégies dont le remodelage du système racinaire s'avère le plus important. Le présent travail traite les principales modifications morphologique et anatomique de la structure racinaire impliqués dans la dynamique de ce système pour cinq géotypes de blé dur, conduit sous trois régimes hydriques (100, 60, 30% CC). L'étude démontre que l'élongation racinaire induite par une croissance en longueur des cellules plus élevée en conditions de déficit hydrique qui s'explique par la perception de la sécheresse et par le phénomène d'hydrotropisme.

Mots clés :

Blé dur, tolérance, stress hydrique, paramètres morphologiques, anatomiques, racines, élongation cellulaire.

الملخص

يعتبر العامل الاساسي المحدد للتغيرات المسجلة على مردود القمح بالجزائر. من خلال هذا العمل حاولنا تبين مدى تاثير النقص المائي على 6 انواع من القمح الصلب، ونلك بدراسة بعض التغيرات على مستوى من الجانب المورفولوجي، التشريحي ومدى استجابة الاستطالة الخلوية. النتائج المتحصل عليها اثبتت ان النقص المائي له تاثير واضح على العديد من العوامل و التي تكون عن طريق التغيرات البنيوية لمختلف الاعضاء خاصة الجذور. الكلمات المفتاحية: نقص الماء، القمح الصلب، مورفولوجي، تشريحي، جذور، استطالة خلوية.

Résumé

Le déficit hydrique représente le facteur principale du faible rendement du blé dur en Algérie, pour tolérer ce stress abiotique les plantes développent différentes stratégies dont le remodelage du système racinaire s'avère le plus important. Le présent travail traite les principales modifications morphologique et anatomique de la structure racinaire impliqués dans la dynamique de ce système pour cinq géotypes de blé dur, conduit sous trois régimes hydriques (100, 60, 30% CC). L'étude démontre que l'élongation racinaire induite par une croissance en longueur des cellules plus élevée en conditions de déficit hydrique qui s'explique par la perception de la sécheresse et par le phénomène d'hydrotropisme.

Mots clés :

Blé dur, tolérance, stress hydrique, paramètres morphologiques, anatomiques, racines, élongation cellulaire.