REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE El HADJ LAKHDAR BATNA
INSTITUT DES SCIENCES VETERINAIRES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES

DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de magistère en Amélioration
Et Valorisation de l'Agro-Biodiversité Végétale

(École Doctorale)

Présenté par : LOUCIF Linda

THEME

****

Etude du comportement variétal du blé dur (*Triticum durum* Desf.) vis-à-vis du nématode à kystes des céréales *Heterodera avenae* Woll. *(Nematoda, Heteroderidae*) dans la région de Batna en vue de l'amélioration de cette culture

****

JURY

Mme FRAH N.	Maître de conférences A (U. Batna A)	**Présidente**
M^R^ Si BACHIR A.	Professeur (U. Batna B)	**Rapporteur**
MR CHAFAA S.	Maître de conférences A (U. Batna B)	**Examinateur**
MR BENBELKACEM A.	Maître de recherche A (INRA/URC)	**Examinateur**

Année Universitaire: 2014/2015

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE El HADJ LAKHDAR BATNA
INSTITUT DES SCIENCES VETERINAIRES
ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES

DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de magistère en Amélioration
Et Valorisation de l'Agro-Biodiversité Végétale

(École Doctorale)

Présenté par : LOUCIF Linda

THEME

****

Etude du comportement variétal du blé dur (*Triticum durum* Desf.) vis-à-vis du nématode à kystes des céréales *Heterodera avenae* Woll. *(Nematoda, Heteroderidae*) dans la région de Batna en vue de l'amélioration de cette culture

****

JURY

Mme FRAH N.	**Maître de conférences A (U. Batna A)**	**Présidente**
M^R^ Si BACHIR A.	**Professeur (U. Batna B)**	**Rapporteur**
MR CHAFAA S.	**Maître de conférences A (U. Batna B)**	**Examinateur**
MR BENBELKACEM A.	**Maître de recherche A (INRA/URC)**	**Examinateur**

Année Universitaire: 2014/2015

REMERCIEMENTS

Je remercie en premier lieu mon promoteur : Mr SI BACHIR A. pour avoir accepté de m'encadrer et de m'avoir orientée au cours de ce travail, pour sa disponibilité et son soutien.

Je voudrais remercier :

Mme FRAH N. Maître de conférences à L'Université EL Hadj Lakhdar(Batna) d'avoir accepté de présider le jury.

J'adresse mes remerciements à :

Mr CHAFAA S. Maître de conférences à L'Université EL Hadj Lakhdar (Batna) et Mr BENBELKACEM A. Maître de recherche INRA ; d'avoir accepté de juger ce travail.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements et toute ma reconnaissance à :

Mr le Directeur de l'ITGC de Sétif, et Mr le Directeur de la Subdivision Agricole d'EL Madher pour leur aide.

Mr le Directeur de la ferme pilote Arrar Mohamed : BOUBIDI H. qui m'a beaucoup aidé dès le début jusqu' à la fin de ce travail.

Mr CHAFAA S. pour sa disponibilité, son implication dans mon travail, et son aide notamment lors des analyses nématologiques au laboratoire.

Je souhaite remercier tout particulièrement

Mr SMAHA D. (Laboratoire de nématologie, Institut National de la Protection des Végétaux, Alger) pour l'identification des nématodes et Mr BENSASSI O. Maître assistant à l'Université EL Hadj Lakhdar (Batna) pour l'identification des champignons, qu'ils trouvent ici toute ma gratitude.

J'adresse un immense merci aux personnels et étudiants du laboratoire : LAPAPEZA (Université El hadj Lakhdar) à leur tête Mr Halitim A. et mes collègues Soumia et Fatiha sans oublier tous les étudiants de l'école doctorale (2011/2012).

Je terminerais en remerciant ma famille pour son soutien et je suis très fier de lui dédier ce modeste travail surtout ma sœur Sihem.

SOMMAIRE

Listes des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction **1**

Chapitre 1 : **Recueil bibliographique sur le blé dur**

1. Classification botanique **3**
2. Descripltion générale de la plante **3**
3. Cycle de développement **4**
   - 3.1 Période végétative..... **4**
   - 3.2 Période reproductrice **6**
   - 3.3 Période de maturation **7**
4. Exigences écologiques du blé dur **7**
5. Origine et histoire du blé dur **8**
   - 5.1 Origine géographique **8**
   - 5.2 Origine génétique **9**
6. Répartition géographique et importance du blé dur **10**
   - 6.1 Répartition géographique et importance économique **10**
   - 6.2 Importance alimentaire **13**

Chapitre 2 : **Recueil bibliographique sur le nématode à kystes des céréales *Heterodera avenae* Wollenweber 1924.**

1. Position systématique **15**
2. Cycle de développement **15**
3. Polymorphisme **17**
   - 3.1 Ecotype..... **17**
   - 3.2 Pathotype..... **17**
4. Historique et répartition géographique **18**
5. Importance agronomique **18**
6. Importance économique **19**
7. Symptomatologie **19**
8. Méthodes de lutte contre les nématodes à kystes **20**

8.1 Prophylaxie …… **20**

8.2 Lutte culturale ……..... **20**

8.3 Lutte physique …… **20**

8.4 Lutte chimique ……... **20**

8.5 Lutte biologique ……. **21**

9. Biologie de la relation avec la plante hôte …… **21**

9.1 Altérations physiologiques de la plante hôte ……. **22**

9.2 Action de la plante hôte sur *H. avenae* …….. **24**

Chapitre 3 : **Méthodes d'étude**

1. Présentation de la région d'étude d'El Madher ……. **27**

1.1 Situation géographique ……... **27**

1.2 Relief …..…… **27**

1.3 Cadre pédologique …… **29**

1.4 Climat …… **29**

1.4.1 Facteurs climatiques primaires …….. **29**

1.4.2 Phénomènes secondaires …… **31**

1.4.3 Synthèse climatique ……... **33**

1.5 Situation de l'agriculture dans la région d'El Madher …….. **34**

2. Méthodes et techniques d'étude ……..…….. **35**

2.1 Sur terrain …….. **35**

2.1.1 Echantillonnage des nématodes à kystes…… **35**

2.1.2 Période d'échantillonnage …….. **36**

2.1.3 Test sur sol naturellement infesté **36**

2.2 Au laboratoire ……..... **37**

2.2.1 Extraction des nématodes à kystes ……. **37**

2.2.2 Test du comportement variétal …….. **40**

2.3 Mesure des paramètres morphologiques, biochimiques et agronomiques ……. **41**

2.3.1 Paramètres morphologiques ……... **41**

2.3.2 Paramètres biochimiques ……... **41**

2.3.3 Paramètres agronomiques …….. **42**

2.4 Traitement statistique …… **43**

Chapitre 4 : **Résultats et discussions**

1. Evolution de l'abondance des populations d'*H.avenae* sur les trois variétés étudiées sur champ …… **44**

1.1 Analyse de la variance des densités initiales (février) et finales (juillet) des kystes d'*H. avenae* et des kystes néoformés (différence) ……... **45**

2. Paramètres morphologiques, biochimiques et agronomiques ……... **46**

2.1 Paramètres morphologhiques ……. **46**

2.1.1 Analyse de la variance appliquée aux paramètres morphologiques ……... **52**

2.2 Paramètres biochimiques ……... **54**

2.2.1 Analyse de la variance appliquée aux paramètres biochimiques ……... **58**

2.3 Paramètres agronomiques ……... **61**

2.3.1 Analyse de la variance appliquée aux paramètres agronomiques …….. **66**

3. Incidence d'*H. avenae* sur les variétés de blé dur étudiées au laboratoire …… **68**

4. Incidence d'*H. avenae* sur les variétés de blé dur étudiées sur champ ……..... **68**

5. Discussions …… **70**

Conclusion …..……... 82

Références bibliographiques

Annexes

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Cycle de développement du blé (Henry et *al*., 2001) ……. 5

Figure 2 : Schéma simplifié montrant l'évolution des blés depuis l'apparition de ses progéniteurs jusqu'au blé dur et blé tendre cultivées aujourd'hui (Anonyme, 2015) .. 10

Figure 3 : Régions de production mondiale du blé dur (UN.A.F.PA, 2007) …… 11

Figure 4 : Evolution de la production nationale du blé dur en Mt entre 2000 et 2011…… 13

Figure 5 : Cycle biologique des nématodes à kystes (Blanchard, 2007) …… 16

Figure 6 : Définition du caractère d'hôte en fonction du parasitisme (Mataille, 1994) 24

Figure 7: Situation géographique de la commune d'El Madher (Conception : Arour, 2014) 28

Figure 8 : Limites de la commune d'El Madher et situation de la ferme pilote Araar Mohamed (Conception : Arour, 2014) ……..... 28

Figure 9 : Diagramme ombrothermique de Gaussen pour la région d'El Madher (1993- 2013) …….. 34

Figure 10 : Schémas représentant les méthodes d'échantillonnage des nématodes (Coyne et *al*., 2010) …….. 36

Figure 11 : Schéma du dispositif expérimental mené au champ …… 38

Figure 12 : Forme des kystes des nématodes (Baldwin et *al*., 1991) ……. 39

Figure 13 : Photos des kystes d'*H. avenae* prises au laboratoire (originales) …… 39

Figure 14 : Boites à moustaches représentant le nombre de talles herbacées par pied des trois variétés de blé dur cultivées dans le champ et au laboratoire …… 48

Figure 15 : Boites à moustaches représentant la longueur des talles des trois variétés de blé dur cultivées dans le champ et au laboratoire …..…… 50

Figure 16 : Boites à moustaches représentant la hauteur de la plante des trois variétés de blé dur cultivées dans le champ…… 51

Figure 17: Boites à moustaches représentant la surface de la dernière feuille des trois variétés de blé dur cultivées dans le champ ……. 52

Figure 18 : Boites à moustaches représentant les taux des chlorophylles des trois variétés de blé dur cultivées dans le champ, dosées à différents stades de leur développement …. 56

Figure 19 : Boites à moustaches représentant les teneurs en sucres solubles des trois variétés

de blé dur cultivées dans le champ, dosés à différents stades de leur développement 57

Figure 20 : Boites à moustaches représentant les taux de proline des trois variétés de blé dur cultivées dans le champ, dosés à différents stades de leur développement …….. 59

Figure 21 : Boites à moustaches représentant le nombre d'épillets par épi des trois variétés de blé dur cultivées dans le champ ……. 62

Figure 22: Boites à moustaches représentant le nombre d'épis/ m2 des trois variétés de blé dur cultivées dans le champ …….……. 63

Figure 23 : Boites à moustaches représentant le nombre de grains / épi des trois variétés de blé dur cultivées dans le champ ……. 63

Figure 24 : Boites à moustaches représentant le taux de fertilité de l'épi des trois variétés de blé dur cultivées dans le champ ……. 64

Figure 25 : Boites à moustaches représentant le poids de mille grains des trois variétés de blé dur cultivées dans le champ ……. 65

Figure 26 : Boites à moustaches représentant le rendement des trois variétés de blé dur cultivées dans le champ …… 66

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Evolution de la production du blé dur dans le monde (en Mt) entre 2000 et 2001 (FranceAgrimer, 2013) ……..… 11

Tableau 2 : Répartition de la production des céréales en Algérie en milliers de qx entre 2006 et 2011 (MADR, 2011) ……..... 13

Tableau 3 : Principales sources de résistance à *Heterodera avenae* (Nicol et Smiley, 2009) ……..……..... 26

Tableau 4 : Températures maximales (M), minimales (m) et moyennes (M+m/2) de la région d'El Madher durant la période de 1993 à 2013 et au cours de la campagne 2013/2014 ….. 30

Tableau 5 : Moyennes mensuelles de précipitation en (mm) de la région d'EL Madher durant la période de 1993-2013 et au cours de la campagne 2013-2014 …… 31

Tableau 6 : Nombre de jours de gelées par mois dans la région d'EL Madher durant la période 1993-2013 ……... 31

Tableau 7 : Nombre de jours de neige par mois dans la région d'El Madher durant la période 1993-2013 et au cours de la campagne 2013-2014 ……. 32

Tableau 8: Nombre de jours de grêle par mois dans la région d'El Madher durant la période période 1993-2013 ……..... 32

Tableau 9 : Vitesse maximale du vent (m/s) dans la région d'El Madher durant la période 1993-2013 …… 32

Tableau 10 : Nombre de jours de Sirocco par mois dans la région d'El Madher durant la période de 1993-2013 …….. 33

Tableau 11 : Répartition des surfaces cultivées (ha) dans la commune d'El Madher entre 2009 et 2014 …… 35

Tableau 12 : Evolution des surfaces et des rendements des céréalicultures dans la région d'El Madher pour 4 campagnes ……. 35

Tableau 13 : Représentation du dispositif expérimental installé au laboratoire……..... 40

Tableau 14 : Densités de kystes maximales, minimales et moyennes d'*H. avenae* recensés sur les trois variétés du blé dur étudiées dans la région d'El Madher…… 45

Tableau 15 : Résultats de l'analyse de la variance des densités des kystes d'*H. avenae* initialement formé (Février), formés en juillet et des kystes néoformés sur les trois variétés de blé dur dans la région d'El Madher ……... 46

Tableau16 : Valeurs minimales, maximales et moyennes des paramètres morphologiques des

variétés de blé dur étudiées au laboratoire et sur champ dans la région d'El Madher 47

Tableau17 : Analyse de la variance appliquée aux paramètres morphologiques mesurés au laboratoire et sur champ des variétés de blé dur ……. 53

Tableau18 : Analyse de la variance appliquée aux paramètres morphologiques mesurés sur champ pour les trois variétés blé dur étudiées dans la région d'El Madher ……. 53

Tableau 19: Valeurs minimales, maximales et moyennes des paramètres biochimiques dosés chez les trois variétés de blé dur cultivées sur champ dans la région d'El Madher … 54

Tableau 20 : Analyse de la variance appliquée aux paramètres biochimiques au cours des différents stades de leur développement …….. 60

Tableau 21 : Valeurs minimales, maximales et moyennes des paramètres agronomiques mesurés au champ des trois variétés de blé dur dans la région d'El Madher …… 61

Tableau 22 : Analyse de la variance appliquée aux paramètres agronomiques des trois variétés de blé dur étudiées dans la région d'El Madher …… 67

Tableau 23 : Analyse de la variance de l'interaction Variété*Nombre de kystes inoculés d'*H. avenae* apliquée pour les deux paramètres morphologiques mesurés au laboratoire 68

Tableau 24 : Analyse de la variance de l'interaction Variété*Densités initiales des kystes d'*H. avenae* appliquée pour les paramètres mesurés au champ …….. 69

LISTE DES ABRÉVIATIONS

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

LAPAPEZA : Laboratoire d'Amélioration des Productions Agricoles et Protection des Ecosystèmes en Zones Arides (Université de Batna).

SAT : Surface agricole totale

INTRODUCTION

INTRODUCTION

La culture des céréales est fort ancienne en Algérie, elle couvre actuellement une surface de 3,3 millions d'hectares soit 40 % de la surface agricole utile (Anonyme, 2011). Les blés tiennent une place de premier ordre parmi les cultures céréalières, ils constituent la majorité des ressources énergétiques dont dépend la population algérienne. Cependant, la production des blés, particulièrement celle du blé dur, reste insuffisante avec des rendements très variables d'une année à l'autre. Selon Belkharchouche et *al*. (2009), les performances du rendement de la culture du blé dur sont limitées par l'action des stress de nature abiotiques et biotiques.

Parmi ces facteurs biotiques induisant des pertes de rendements figurent les nématodes à kystes des céréales qui peuvent causer des dommages considérables aux racines des cultures hôtes. Le groupe d'*Heterodera avenae* est un complexe de 12 espèces dont *H. avenae*, *H.filipjevi* et *H. latipons* sont économiquement les plus importants (McDonald et Nicol, 2005).

Le nématode à kyste *Heterodera avenae* Woll. qui est largement distribué dans les zones céréalières d'Algérie (Mokabli, 2002) et à travers le monde cause des pertes de rendement peuvent aller selon B'chir et *al*. (2007) de 26 à 96 %. L'action parasitaire d'*H.avenae* se traduit aussi par des problèmes de qualité.

La présence de plusieurs pathotypes et la très grande longévité *d'H. avenae* dans le sol, même en absence de la plante hôte, augmente son pouvoir pathogène. Des stratégies de protection et des moyens de lutte sont alors nécessaires afin de maintenir un niveau élevé de production.

L'utilisation des résistances naturelles semble être la méthode la plus attractive, notamment parce qu'elle est respectueuse de l'environnement et moins coûteuse que l'application des nématicides (Blanchard, 2007). L'utilisation de variétés résistantes et tolérantes est la méthode la plus efficace pour le contrôle de ce nématode (Nicol et Smiley, 2009). Mais les mécanismes de défense qui déterminent la relation plante/nématode se caractérisent par une diversité morphologique, chimique et moléculaire (Blanchard, 2007). Aucun blé dur n'est résistant mais quelques variétés sont nettement moins multiplicatrices et pourraient être privilégiées dans des successions incorporant des variétés résistantes (Chabert et *al*., 2012).

A cet effet, nous avons jugé utile d'essayer dans ce travail d'identifier le comportement de la plante du blé dur tout en prenant en considération la perception variétale. La valorisation de la diversité génétique de nos variétés de blé dur constitue un enjeu fondamental pour l'amélioration de cette culture.

Pour cela, nous avons fixé comme objectifs de cette étude :

- De recenser les populations d'*H.avenae* développées sur les trois variétés de blé dur : Mohamed Ben Bachir, Boussallem et GTA/dur dans la région de Batna afin de déterminer la variabilité variétale pour la capacité d'hébergement de ce parasite.

- Caractérisation morphologique (Nombre de talles herbacées par pied, longueur des talles, hauteur de la plante et surface de la dernière feuille) et agronomique (nombre d'épillets par épi, nombre d'épis par m^2, nombre de grains par épi, poids de mille grains et rendement en grains) des variétés de blé dur cultivées sur champ.

- Caractérisation biochimique en dosant les chlorophylles, les sucres solubles et la proline à différents stades de développement des trois variétés de blé dur cultivées sur champ.

- Etude de l'effet de l'infestation des variétés cultivées au laboratoire par *H.avenae* pour suivre l'évolution de ce parasite et déterminer le comportement des trois variétés tout en s'appuyant sur l'étude des paramètres morphologiques, biochimiques et agronomiques précédemment cités.

Des améliorations certaines de la production sont possibles grâce à un choix adéquat des variétés sujettes à l'invasion parasitaire d'*H. avenae.*

CHAPITRE 1

Chapitre 1 : Recueil bibliographique sur le blé dur

1. Classification botanique

Le blé est le nom commun utilisé pour l'ensemble des espèces des deux genres *Triticum* L. et *Aegilops* L. Le premier comprenant des formes cultivées domestiquées et apparentées et le deuxième regroupe seulement des espèces sauvages (Couplan, 2002).

Blé du latin médiéval" blada" : récolte, dérivé du francique "blad" : produit de la terre. En ancien français, le mot s'employait d'une façon générale à propos de diverses céréales dont le grain sert à l'alimentation. Selon Couplan (2002), Il est devenu en France et en Suisse synonyme de froment (blé tendre).

Le blé dur est une monocotylédone de la famille des graminées. La classification du genre *Tritium* a connu plusieurs controverses. Le nombre exact d'espèces du genre *Triticum* n'est pas définitivement déterminé puisqu'il existe de nombreuses propositions de classification dont les unes considèrent certains taxons comme des espèces, alors que les autres les considèrent comme des sous-espèces (Khalighi et *al.*, 2008).

Le blé dur est classé selon Prats (1960), Crête (1965) et Feillet (2000) comme suit :

- **Embranchement :** Angiospermes
- **Sous embranchement :** Spermaphytes
- **Classe :** Monocotylédones
- **Ordre :** Glumiflorales
- **Super ordre :** Comméliniflorales
- **Famille :** *Gramineae (Poacae)*
- **Tribu :** *Triticeae*
- **Sous tribu :** *Triticinae*
- **Genre :** *Triticum*
- **Espèce :** *Triticum durum* Desf.

2. Description générale de la plante

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

- **Racines :** le blé dur dispose de deux systèmes radiculaires successifs. Un système racinaire primaire ou séminal, fonctionnel dés la germination. Il ne se forme en général que de 6 racines séminales (Monneveux, 1992), et d'un système racinaire secondaire ou racines adventices, de type fasciculé, qui apparaît au tallage et se substitue progressivement au précédent. Le nombre de racines est d'autant plus important que la phase de tallage est plus longue. Très actives jusqu'à la floraison, les racines adventices rentrent ensuite en sénescence (Boulal et *al.*, 2007).

- **Tige :** sur la partie aérienne, on distingue une tige principale appelée le maître brun cylindrique, lisse, plus ou moins creuse et des tiges secondaires appelées talles qui naissent à la base de la plante (Boulal et *al*., 2007).

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

L'appareil reproducteur (l'inflorescence) est un épi muni d'un rachis portant des épillets séparés par de courts entre-nœuds (Bozzini, 1988). Chaque épillet est une petite grappe de une à cinq fleurs bisexuées (Boulal et *al.*, 2007). Chaque fleur peut produire un fruit à une seule graine (Bozzini, 1988). Vitreux de couleur ambrée, le grain de blé dur est le plus dur de tous les blés, fruit sec et indéhiscent (caryopse), Il a un aspect ovoïde et allongé, muni d'un sillon central sur l'une des faces (Belay, 2006).

3. Cycle de développement

Le développement représente l'ensemble des modifications phénologiques qui apparaissent au cours du cycle des cultures. Le cycle de développement du blé dur comprend trois périodes bien distinctes (figure 1):

3.1 Période végétative

- **Phase semis-levée**

La germination du grain de blé commence quand il absorbe 25% de son poids d'eau (Grandcourt et Prats, 1970). La germination se traduit par la sortie des racines séminales et par la croissance du coléoptile qui s'entrouvre pour laisser passer la première feuille vers la surface du sol. Pendant cette phase, la jeune plantule vit sur les réserves de la graine (Boulal

et *al.*, 2007).

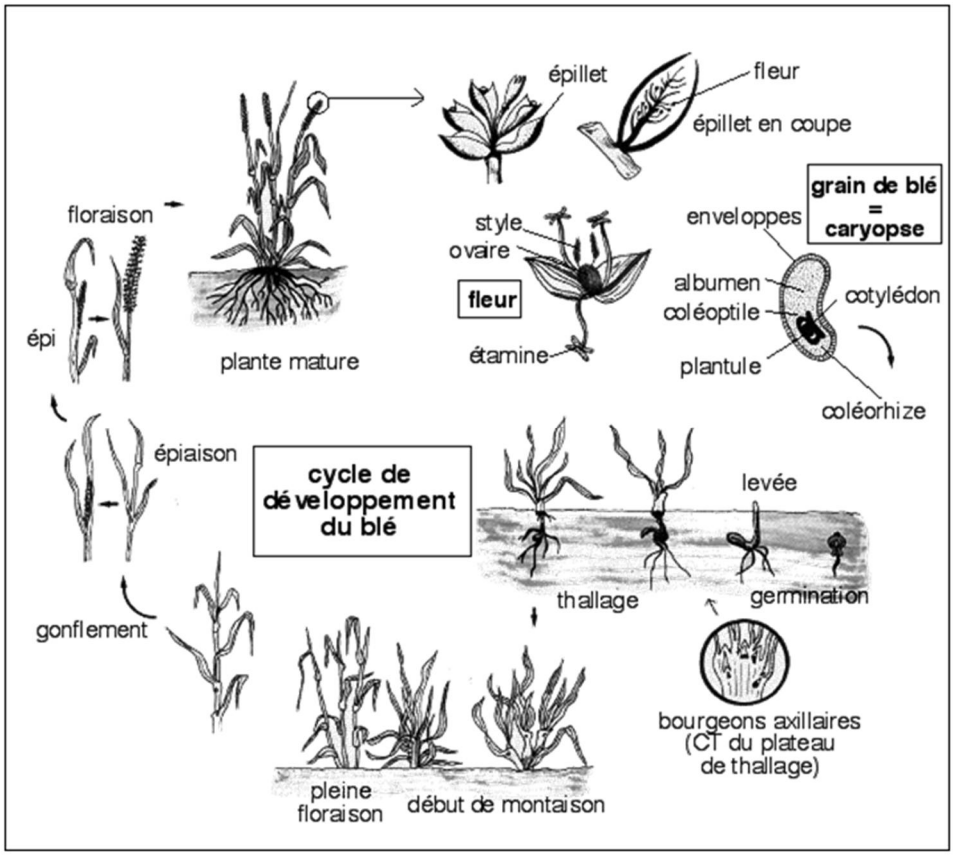


Figure 1: Cycle de développement de blé (Henry et *al.*, 2000)

- **Phase levée- début tallage**

Dès que la première feuille a percé le coléoptile, ce dernier s'arrête de croître et se dessèche. La première feuille fonctionnelle s'allonge, puis la deuxième, la troisième et la quatrième toutes en positions alternées (Boulal et *al.*, 2007). Le tallage est un mode de développement propre aux graminées, il débute à la troisième feuille lorsqu' un renflement apparaît à 2 cm de la surface du sol, c'est le futur plateau de tallage (Grandcourt et Prats, 1970).

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

- **Phase plein tallage-début montaison**

Pendant cette phase, en même temps que l'émission des feuilles du maître- brin, des talles apparaissent d'une façon synchrone. Le tallage se caractérise par l'entrée en croissance

de bourgeons différenciés à l'aisselle des feuilles. Les talles issues des premières feuilles sont appelées talles primaires. Chaque talle primaire émet une talle secondaire susceptible d'émettre une talle tertiaire (Boulal et *al*., 2007). Ce phénomène correspond en fait à une ramification de la tige principale. De nouvelles racines sortent de la base du plateau de tallage (zone de la sortie des talles), ce sont les racines secondaires, les racines primaires deviennent inactives (Bozzini, 1988).

La fin de cette phase est observée lorsque la jeune inflorescence (apex) est d'environ 1cm au-dessus du plateau de tallage. On atteint donc le stade début montaison qui se caractérise par la différenciation et l'élongation des ébauches des nœuds et d'entre-nœuds (Boulal et *al*., 2007).

3.2 Période reproductrice

- **Phase ébauches d'épillets (phase A-B)**

Le début de cette phase est marqué par une différenciation de l'ébauche d'épillet sur l'apex qui correspond au stade A. Le stade B est repéré par l'apparition de deux renflements latéraux qui apparaissent sur l'épillet, ce sont les ébauches des glumes (Boulal et *al*., 2007).

- **Phase montaison-floraison (anthèse)**

Dès le début de la montaison, on assiste à une différenciation des pièces florales : glumelles, organes sexuels ; et enfin méiose pollinique. En parallèle, la tige et l'inflorescence s'allongent. Les apex des talles se différencient des ébauches d'épillets puis des pièces florales et montent. Seules quelques talles donneront des épis. C'est le tallage épis (Boulal et *al.*, 2007).

L'épiaison se caractérise par l'émission de l'épi hors de la gaine de la feuille. La fécondation et l'anthèse suivent de quelques jours l'épiaison. Les épis dégainés fleurissent généralement entre 4 à 8 jours après l'épiaison (Bahlouli et *al*., 2005). La précocité de l'épiaison et de la floraison sont un facteur très recherché dans les environnements où les facteurs limitants hydriques et thermiques sont souvent une contrainte pendant la période de remplissage des grains (Boulal et *al.*, 2007).

3.3 Période de maturation

Au cours de cette période, l'embryon se développe et l'albumen se charge de substances de réserve (Boulal et *al.*, 2007). La première phase est une phase de multiplication des cellules du jeune grain encore vert, dont la teneur en eau est élevée (grain laiteux). Cette phase est suivie par la phase de remplissage actif du jeune grain dont le contenu en eau devient constant (grain pâteux) (Belkharchouche et *al.*, 2009). La phase de la maturation du grain est marquée par un arrêt de l'accumulation de la matière sèche et une chute de la teneur en eau du grain. Lorsque le grain devient dur et jaune, on considère que le stade de la maturité physiologique est atteint (Boulal et *al.*, 2007).

4. Exigences écologiques du blé dur

Le blé dur est bien adapté aux régions à climat relativement sec, où il fait chaud le jour et frais la nuit durant la période végétative, ce qui est typique des climats méditerranéens et tempérés (Bozzini, 1988).

4.1 Eau

Les blés ont des besoins en eau d'environ 550 mm/an en moyenne, bien répartis sur le cycle de développement (Boulal et *al*, 2007). Pour le blé dur, les besoins en eau jusqu' à fin tallage sont relativement faibles. Une bonne alimentation en eau est particulièrement importante entre l'épiaison et la floraison et entre les stades grain laiteux et grain pâteux (Clément, 1981).

4.2 Sol

Le blé prospère sur une gamme assez variée de sols et l'optimum semble être des terres neutres, profondes et de texture équilibrée. Les sols riches et profonds sont à réserver aux variétés exigeantes. Par contre, les sols légers peu profonds sont réservés aux variétés rustiques (Boulal et *al.*, 2007).

L'installation du blé dur dans les terres ressayant mal, le rend plus sensible aux maladies cryptogamiques (Bennasseur, 2003).

4.3 Température

Le zéro de germination de blé est de 0 $^{\circ}$C (Boulal et *al.*, 2007). La température optimale à partir de laquelle, la croissance est considérée comme maximale pour le blé, est

généralement de 20 °C (Ezzahiri, 2001). Selon la sensibilité variétale, le seuil thermique de mortalité varie entre -12 et -16 (Simon et *al.*, 1989).

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

4.4 Photopériode

Le blé dur a des besoins élevés en ensoleillement (Bennasseur, 2003). Le blé est adapté aux jours longs, il faut que la durée d'éclairement soit d'environ 12 heures pour que l'épi commence à monter dans la tige (Simon et *al.*, 1989). Dans les conditions du Maghreb, à partir du mois de mars lorsque les jours deviennent plus longs, les plantes émettent leurs épis (Boulal et *al.*, 2007).

4.5 Vernalisation

Elle consiste en une période de basses températures dont ont besoin les céréales pour l'initiation florale en automne. Sachant que la plupart des variétés de céréales (blé et orge) cultivées au Maghreb sont de type printemps, leurs besoins en vernalisation sont nuls (Boulal et *al.*, 2007).

5. Origine et histoire du blé dur

5.1 Origine géographique

Cultivé depuis la préhistoire, le blé a joué un rôle clé dans la révolution agricole du néolithique. En fait, la découverte des premiers signes des espèces de blé, date d'un peu de moins de 8000 ans avant Jésus-Christ (Feldman, 1976).

La plupart des recherches archéologiques ont confirmé que les origines du blé se situent dans les zones du Croissant fertile (Harlan, 1976 et Badr et *al.*, 2000) in (Boulal et *al.*,2007) et (Bonjean, 2001) , plus précisément au sud de l'Anatolie et au nord de la Syrie (Henry et De Buyser, 2000).C'est à partir de cette zone que les blés ont été diffusés vers l'Afrique, l'Asie et l'Europe. La route la plus ancienne de diffusion des céréales vers les pays du Maghreb fut à partir de la péninsule italienne et de la Sicile (Bonjean, 2001).

Au Maghreb, Erroux (1960) in Boulal et *al.*(2007), indique qu'à la fin du 19e siècle, les espèces de blé étaient représentées par le blé dur. Cependant "Trabut", cité par le même auteur, considérait que le blé tendre (Farina ou Bou Zeloun) était cultivé très anciennement en

mélange avec les blés durs dans les Aurès en Algérie.

Le blé dur est représenté en Afrique du Nord par un très grand nombre de variétés et de sortes, qui ont fait considérer cette région comme un centre d'origine de l'espèce. Toutefois, cette opinion a été combattue par Vavilov, pour qui ce centre serait l'Abyssinie et l'Afrique du Nord est le centre secondaire de diversité de *T. durum*, surtout dans les parties montagneuses, où ces formes sont les plus variées et les plus nombreuses (Miège, 1950).

5.2 Origine génétique

Le blé constitue un complexe d'espèces et forme une série polyploïde avec un nombre chromosomique de base égale à 7 (Belay, 2006). Certaines espèces sont diploïdes, d'autres tétraploïdes, d'autres encore hexaploïdes (Boulal et *al.*, 2007).

Le blé dur est un blé tétraploïde (2n=28) et porte le génome AABB. Des blés à grains nus, tels que le blé dur virent le jour par une accumulation de mutations et des sélections ultérieures opérées à partir de l'amidonnier (grain vêtu, génome AABB) (Belay, 2006).

Certains chercheurs estiment que l'origine des blés cultivés remonte à la fusion du génome de deux espèces ancestrales *Triricum urartu* (donneur du génome A) et *Aegilops speltoïdes* (donneur du génome B). D'autres chercheurs reconnaîssent comme ancêtre direct d'*Aegilops speltoïdes*, un *Triticum* diploïde de la section *Sitopsis.* C'est le donneur présumé du génome B du blé actuel. Son croisement avec *T. urartu* et le dédoublement des génomes ont donné naissance à *T. dicoccoïdes* (l'amidonnier sauvage). Après la formation de cette dernière, une translocation réciproque 4A-7B est intervenue, l'amidonnier cultivé *T.dicoccum* est alors né, (Henry et De Buyser, 2001) (Fig.2).

L'amidonnier (génome AABB) à épi moins fragile, est probablement le premier blé cultivé, il y a 11000 à 12000 ans. C'est l'ancêtre du blé poulard (*T. turgidum*) et du blé dur actuel (*T. durum*) (Henry et De Buyser, 2001). L'espèce *T. durum* s'est différenciée dans trois centres secondaires différents qui sont le bassin occidental de la Méditerranée, le sud de la Russie et le Proche Orient. Chaque centre donna naissance à des groupes de variétés botaniques aux caractéristiques phénologiques, morphologiques et physiologiques particulières (Monneveux, 1991).

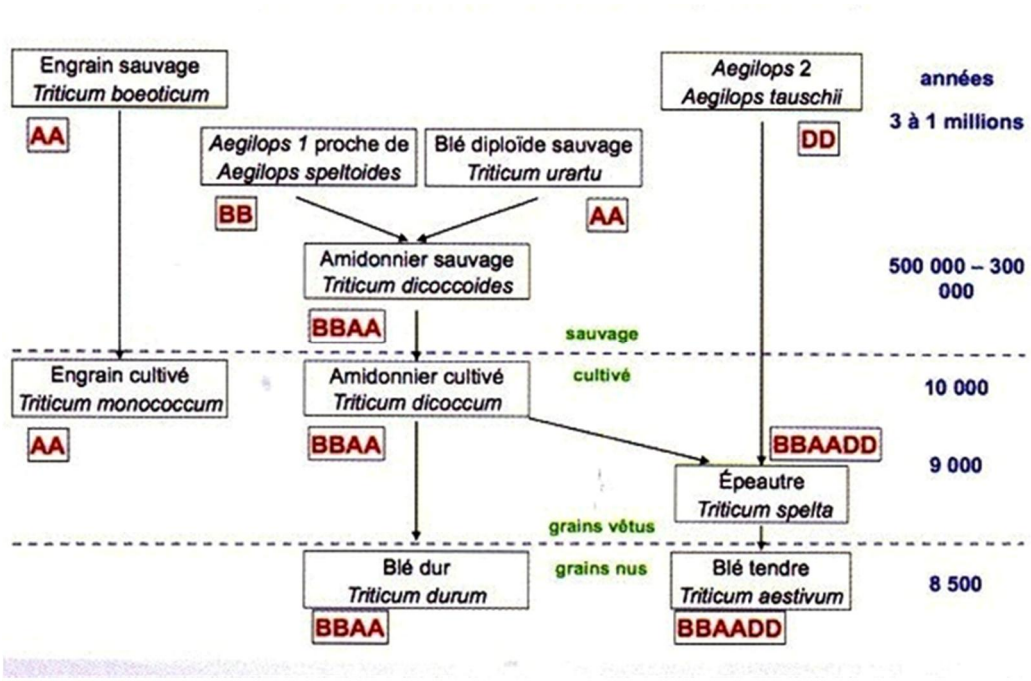


Figure 2 : Schéma simplifié montrant l'évolution des blés depuis l'apparition de ses progéniteurs jusqu'au blé dur et blé tendre cultivées aujourd'hui (AA, BB et DD : génomes) (Anonyme, 2015)

6. Répartition géographique et importance du blé dur

6.1 Répartition géographique

- **Dans le monde**

La production du blé dur des différents pays n'est pas stable, ceci relève du fait que cette céréale est produite dans des zones et climats très variables comme le bassin méditerranéen (la sécheresse en Andalousie et l'Afrique du nord). Le blé dur est aussi produit dans les plaines du nord des Etats-Unis, dans le désert d'Arizona, en Californie et au Canada, (FranceAgrimer, 2013). En plus, il existe une production de blé dur au Mexique, au Kazakhstan et en Australie (Tableau 1).

En terme de production mondiale, la moyenne annuelle durant la période allant de 2001 à 2011 est de l'ordre de 36.33 Mt avec des pics qui atteignent les 40 Mt en 2005, 2009 et en 2010. Les pays de la méditerranée produisent près de 50 % de la production mondiale, l'Italie et la France viennent en premier rang. Le Canada est le premier pays américain producteur du blé dur. Une partie non négligeable de la production mondiale est concentrée dans les pays du Maghreb, la Turquie et la Syrie (Tableau 1).

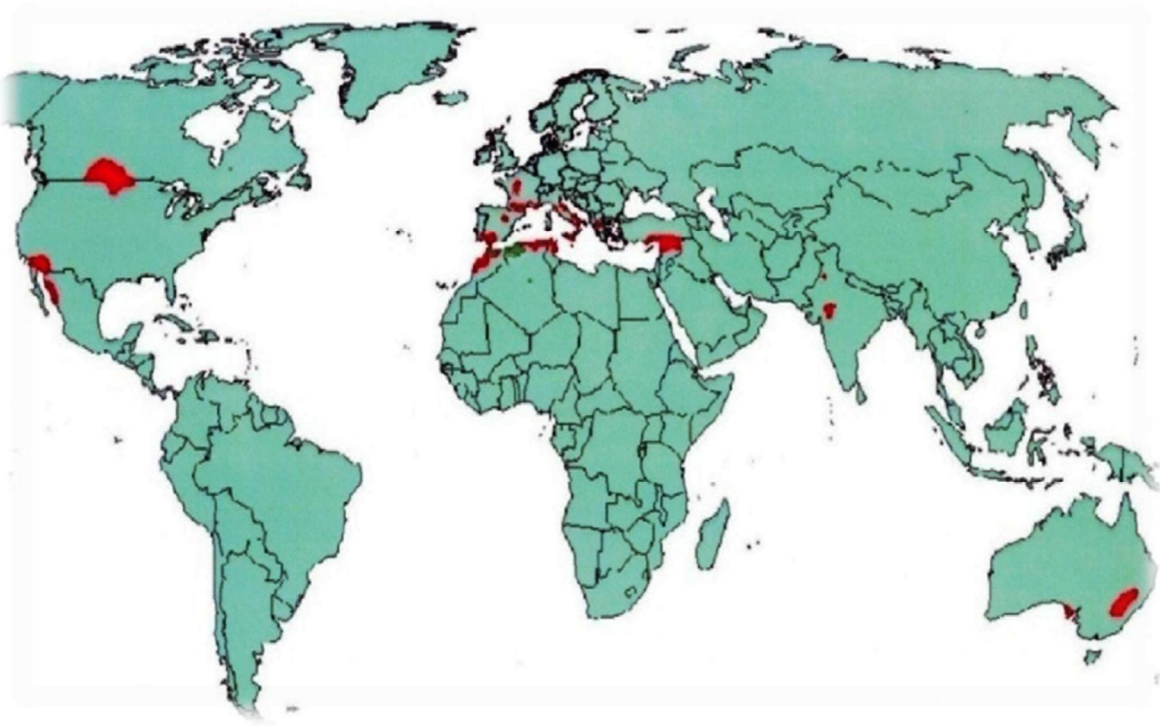


Figure 3 : Régions de production mondiale du blé dur

(UN.A.F.PA, 2007)

Tableau 1 : Evolution de la production du blé dur dans le monde

(en millions de tonnes) entre 2000 et 2011 ; / : absence de données.

Année	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**
U,européenne	9,1	6,9	8,9	8,2	11,4	8,4	9,1	8,2	10,1	8,7	9,1
France	1,3	1,6	1,7	2	2,04	2,1	1,9	2,1	2,09	2,4	2,07
Italie	3,6	4,2	3,7	5	4,4	3,7	3,9	5,01	3,6	4	3,9
Espagne	1,8	2,1	2	2,7	0,9	1,6	1,2	1,1	1,3	0,9	0,9
Grèce	1,42	1,4	1,2	0,9	0,9	0,89	0,92	1,4	1,3	1,2	0,9
Canada	5,6	3	3,9	4,3	5	5,9	3,3	3,7	5,5	5,4	3
Mexique	/	/	/	0,9	1,1	1,3	1,9	1,8	2	2,2	2,2
Etats-unis	3	2,3	2,2	2,6	2,5	2,8	1,5	2	2,3	3	2,9
Turquie	3	3	3	3,2	3,2	3,2	3	2,7	3	3,1	2,9
Algérie	0,5	1,2	1	1,8	2	1,8	1,5	0,8	2	2	2,2
Maroc	0,4	1	1	1,8	2	0,9	2,1	0,5	1	1,9	1,6
Tunisie	0,7	0,9	0,4	1,6	1,4	1,3	1,1	1,4	1,4	1,4	0,6
Syrie	2,1	3,1	2,8	3	2,5	2,5	2	1,8	1,2	1,8	1,6
Kazakhstan	2,2	2,5	2,6	2,6	2,2	2,4	2,6	3	2,5	2,6	1,7
Australie	/	/	/	0,6	0,5	0,6	0,2	0,3	0,5	0,5	0,5
Autres pays	6,9	7,9	8,8	6,2	6,8	6,7	7,2	7,7	8,5	7,5	6,7
Total	33,5	31,8	34,6	36,8	40,6	37,8	35,5	33,9	40	40,1	35

(FranceAgrimer, 2013)

Les échanges mondiaux se tiennent sur 21% de la production mondiale, soit entre 7,1 et 7,6 Mt de 2008 à 2012. Les premiers pays exportateurs sont : le Canada, les Etats-Unis et la France. Tandis que les premiers importateurs sont : l'Algérie, l'Italie et le Maroc, pays méditerranéens où la consommation du blé dur est concentrée (L'Herbier, 2014).

- **En Algérie**

Les céréales jouent un grand rôle dans l'agriculture nationale puisqu'elle occupe 40% de la surface agricole utile (8 445 490 ha), soit près de 3,3 millions hectares en 2011. Au plan spatial, le blé dur avec l'orge représentent 80% de la sole céréalière (MADR, 2011).

La céréaliculture est localisée essentiellement dans les régions semi-arides, selon Boulal et *al.* (2007), les principales régions de production en Algérie sont :

- La zone des plaines telliennes dont la pluviométrie est comprise entre 350 et 500 mm, mais avec une distribution irrégulière (Constantine, Bouira, Médéa,Tlemen, Mila, Souk Ahras, Aïn Defla, Chlef, Aïn Tmouchent, Relizane et Sidi Bel-Abbès).
- La zone des hauts plateaux caractérisée par une faible pluviométrie (200-350mm): Sétif, Saïda, Oum El-Bouaghi, Bordj bou Arréridj, Tiaret, Tissemssilt.
- La zone de la région littorale et sub-littorale : Centre-Est du pays à pluviométrie supérieure à 600 mm (Tipaza, Skikda, Guelma, El Taref, Béjaïa, Tizi ouzou et Annaba).
- La région du sud avec les périmètres irrigués et les cultures oasiennes.

L'analyse de la production nationale du blé dur se caractérise par des fluctuations en dents de scie (Tableau 1 et fig 4). Durant la période allant de 2001 à 2011, elle a oscillé entre 0.5Mt (2001) et 2.2 Mt (2011). Des variations brusques sont notées d'une année à une autre avec des rendements moyens faibles. Actuellement le déficit du besoin national est couvert par les importations qui constituent une hémorragie de l'économie nationale. L'enjeu est devenu plus préoccupant avec la crise alimentaire mondiale de 2007-2008 durant laquelle le prix du blé dur s'est doublé.

Tableau 2 : Répartition de la production des céréales en Algérie (en milliers de quintaux) entre 2006 et 2011

En milliers de qx	2005/0006	2006/2007	2007/2008	2008/20009	2009/2010	2010/2011
Céréales d'hiver	**40 128**	**35 979**	**15 336**	**52 522**	**45 581**	**42 457**
Blé dur	17 728	15 290	8 138	20 010	20 385	21957,9
Blé tendre	9 151	7 900	2 972	9 521	9142	7151
Orge	12 359	11 867	3 959	22 034	15 039	12580,8
Avoine	890	922	267	957	1015	767,3
Céréales d'été	49	40	21	10	10,34	8,8
Total céréales	**40 177**	**36 019**	**15 357**	**52 532**	**45 600**	**51 300**

(MADR, 2011)

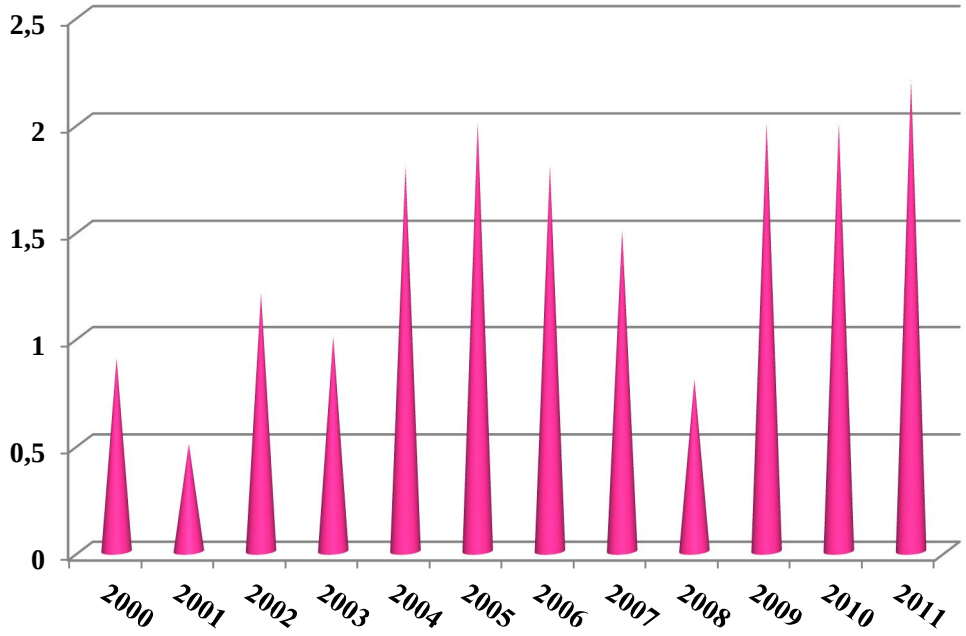


Figure 4 : Evolution de la production nationale du blé dur en millions de tonnes entre 2000 et 2011

6.2 Importance alimentaire

De mémoire d'homme, les céréales ont toujours constitué le principal aliment de toutes les civilisations. Les céréales complètes sont fondamentales pour l'organisme, contiennent des éléments nutritifs essentiels en quantité importante ; des glucides ou hydrates de carbone présents dans l'amidon, des protéines avec une composition variable en acides aminés, de nombreuses vitamines (surtout celles du groupe B), des minéraux et des oligo-éléments (Bonjean et Picard, 1990).

Parmi les céréales, le blé dur (*Triticum durum* Desf.) compte parmi les espèces les plus anciennes et constitue une grande partie de l'alimentation de l'humanité, d'où son importance économique et culturelle. Les blés fournissent également une ressource privilégiée pour l'alimentation animale et de multiples applications industrielles (Bonjean et Picard, 1990). La paille de blé dur sert aussi bien à l'alimentation du bétail qu'à sa litière ; on l'emploie également pour couvrir des toits.

Le blé dur, très riche en gluten : dans le monde entier il sert à produire de la semoule dont on fait toutes sortes de pâtes (macaronis, spaghettis), des pains et des plats traditionnels. Il est considéré comme une principale source en protéines. Dans le les pays du Maghreb, c'est le blé dur qui a la préférence pour la fabrication du couscous. En Algérie, il joue un rôle très important dans le régime alimentaire de la population. La galette et le couscous sont les principaux plats quotidiens confectionnés à partir de sa semoule. D'autres plats sont préparés à partir du grain de blé dur : frik, pâtes, certains produits de pâtisserie traditionnelle comme :Rfis , zlabia, tamina, braje et makroud…(Kezih et *a*l., 2014).

Le blé dur et tendre fournissent, selon Dever et Hales (2013), approximativement 75% des calories consommées par jour en Algérie. L'Algérie est l'un des plus grands consommateurs du blé dans le monde avec 220Kg/habitant/an (Benbelkacem et Zaghouane, 2012).

CHAPITRE 2

Chapitre 2 : Receuil bibliographique sur le nématode à kystes des céréales *Heterodera avenae*.

1. Position systématique

Les nématodes du genre *Heterodera* sont plus polyphages que les *Globodera*. Ils sont divisés en six groupes d'espèces. La phylogénie moléculaire des *Heteroderidae* a permis de mettre en évidence une coévolution de ces nématodes avec leur plante hôte (Subbotin et *al*., 2001). Selon Blanchard (2007), le groupe *avenae* est très spécialisé dont les espèces se développent exclusivement sur les plantes de la famille des *Poaceae.*

H. avenae occupe, selon Reddy (1983), la position systématique suivante :

- **Embranchement :** Némathelminthes
- **Sous embranchement :** Nématodes
- **Classe :** *Secernentea*
- **Ordre :** *Tylenchida*
- **Sous ordre :** *Tylenchina*
- **Super famille :** *Heteroderoidae*
- **Famille :** *Heteroderidae*
- **Sous famille :** *Heteroderinae*
- **Genre :** *Heterodera*
- **Espèce :** *Heterodera avenae*

2. Cycle de développement

La connaissance du cycle biologique de ce nématode et ses interactions avec la plante hôte permet d'identifier les étapes clés du parasitisme essentiel au succès du parasite à se développer à l'intérieur de l'hôte (Nicol et Smiley, 2009).

La durée de vie d'*H. avenae* implique une seule génération par an sans tenir compte de la région ou de l'espèce de la plante hôte. Il présente un dimorphisme sexuel très accentué avec des mâles filiformes, tandis que les femelles deviennent globuleuses en forme de citron et passent leur vie à l'intérieur ou attachées aux racines (McDonald et Nicol., 2005).

Le kyste n'est autre chose que le corps bourré d'œufs de la femelle qui, après la mort de celle-ci, se transforme en une coque protectrice brune, extrêmement résistante aux agents de

destruction. Williams et Siddiqi (1972), rapportent que le kyste contient en moyenne 200 à 250 œufs, mais les kystes les plus larges peuvent contenir plus de 600 œufs. Le cycle de développement d'*H. avenae* comporte cinq stades avec quatre mues larvaires. La première mue a lieu à l'intérieur de l'œuf (Doussinault et Person-Dedryver, 1989).

Les seconds stades larvaires (stades infestants) contenus dans les kystes perçoivent les exsudats radiculaires émis par la plante hôte et sortent du chorion (fig 5). Les juvéniles pénètrent la racine d'une façon mécanique à l'aide de leur stylet perforateur de la zone apicale et migrent de façon intra cellulaire jusqu'au cylindre central (Blanchard, 2007). Ils percent une cellule du cylindre central et induisent un site nourricier appelé syncytium, c'est la phase de sédentarisation du nématode (Blanchard, 2007). Les mécanismes d'induction du syncytium sont encore mal connus (Nicol et Smiley, 2009). Les nématodes sédentarises perdent leur aspect vermiforme et subissent trois mues successives pour passer au stade adulte. Les mâles ressortent de la racine pour migrer activement dans le sol. Les femelles quant à elles, se renflent et deviennent citriforme (Blanchard, 2007). Les mâles sont attirés par les phéromones libérées par la cuticule des femelles. La femelle fécondée produit des œufs puis meurt et se transforme alors en kyste qui se désolidarise de la racine (Blanchard, 2007).

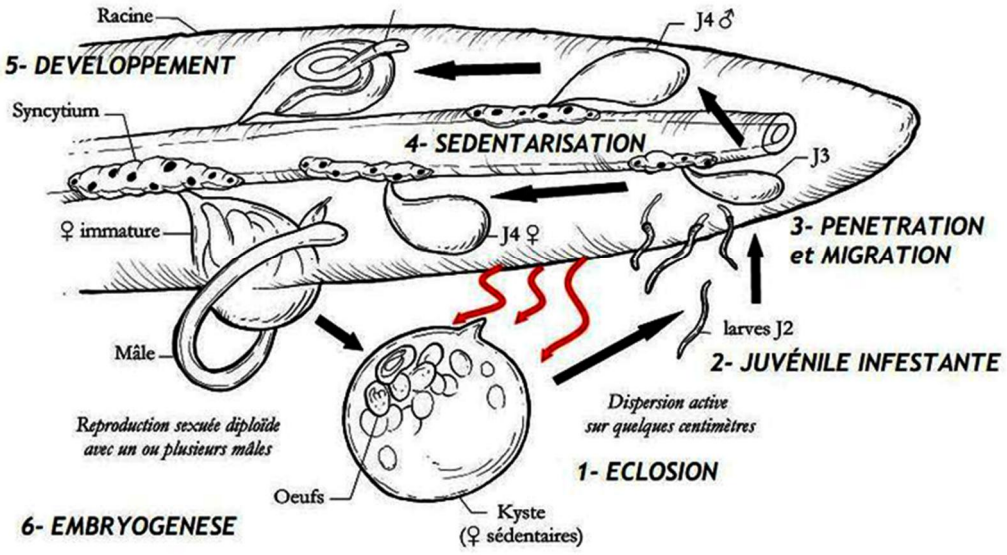


Figure 5 : Cycle biologique des nématodes à kystes (Blanchard, 2007)

Les flèches rouges symbolisent l'émission d'exsudats radiculaires par la plante hôte qui sont ensuite perçus par les nématodes dans le kyste.

3. Polymorphisme

Le polymorphisme chez *H. avenae* se traduit par l'existence de deux écotypes et d'au moins 10 pathotypes (Rivoal, 1983).

3.1 Ecotype

De nombreuses études effectuées en Europe et en Australie ont montré des différences dans les cycles d'activité d'*H. avenae* selon l'origine géographique des populations du parasite (Rivoal, 1978). On appelle écotype une population d'une espèce donnée qui a évolué différemment dans une région précise. Cette différentiation doit etre génétiquement déterminée pour pouvoir parler d'écotype (Smiley et Yan, 2010). L'écotype provenant des régions septentrionales à climat océanique plus ou moins tempéré du nord de l'Europe, en Grande Bretagne (Kerry, 1988) ou dans le nord de la France (Rivoal, 1983), a une diapause facultative et une période d'éclosion printanière. L'écotype méridional provenant des régions à climat méditerranéen en Australie (Meagher, 1970), dans le sud de la France (Rivoal 1983), en Italie (Greco, 1981) et en Algérie (Smaha et *al*., 2009) a une diapause estivale obligatoire et une activité hivernale. En France, une étude détaillée des processus d'éclosion en conditions contrôlées a montré que les deux écotypes d'*H. avenae* ont des exigences thermiques différentes et que la température est le facteur déterminant de la levée de la diapause obligatoire ou facultative (Rivoal, 1983).

3.2 Pathotype

Plusieurs chercheurs ont identifié au sein d'un même écotype la présence de différentes races biologiques. On peut définir la race biologique comme une partie d'une espèce de nématode qui diffère des autres représentants de cette espèce par quelques caractères physiologiques. Une race se distingue généralement par son aptitude à attaquer une certaine plante communément considérée comme fortement ou totalement résistante à cette même espèce de nématode (FAO, sd). Ces races biologiques ou pathotypes ne possèdent aucune différence morphologique mais se caractérisent soit par leurs affinités pour certaines plantes hôtes, dites plantes discrimantes, soit par leurs cycles et conditions thermiques d'éclosions (Rivoal, 1978, 1979, 1982). Il est en outre très délicat de vouloir différencier les races biologiques des races géographiques car bon nombre d'espèces de phytonématodes ont été largement disséminées par l'homme, si bien qu'il n'est guère possible de reconnaître leur répartition naturelle (Aubert, 1986).

4. Historique et répartition géographique

Après les champignons, les nématodes sont les plus anciens parasites connus du blé. L'anguillule historique *Anguina tritici* (*Anguinideae*) a été décrite comme ennemi important du blé en 1743 par Tuberville Needham en Angleterre (Wiese, 1987).

Heterodera avenae Wollenweber, 1924 ; le nématode à kystes des céréales, nommé aussi le nématode à kystes d'avoine ou anguillule des racines des céréales : Cereal root eelworm, a été mis en évidence pour la première fois sur l'avoine en Allemagne par Kuhn en 1874 et nommé *Heterodera schachtii*. Il a été rapporté sur le blé pour la première fois en Angleterre en 1908 (Wiese, 1987).

Ensuite, de nombreux auteurs ont montré l'importance d' *H. avenae* qui est largement distribué dans le monde et cause des dégâts aux différentes céréales à paille ainsi qu'au maïs. L'aire de répartition d' *H. avenae* s'étend à toutes les régions tempérées productrices des céréales : en Europe, aux Etats-Unis, au Canada, au Pérou, en Afrique du Nord et du sud, en Inde, en Russie, au Japon, en Chine, en Australie et en nouvelle Zélande (Rajvanshi et Sharma, 2007). Cette espèce sévit également dans les zones arides comme en Arabie Saoudite (Ibrahim et *al.*, 1999).

En Algérie, *H.avenae* a été signalé pour la première fois par Scotto La Massese en 1961 (Hamroun, 2006). Ensuite mis en évidence par Lamberti et *al.*, (1975) sur orge à Birtouta et sur blé à El Amra (Sidi Bel Abbès). Les études ont été reprises tout d'abord par Lounis en 1992, ensuite par d'autres chercheurs, Labdelli (1995) ; Haddadi (1997) ; Smaha (1998) ; Mokabli et *al.* (2001) ; Mokabli (2002) ; Ouniaghi (2004) ; Hamroun (2006) et Belfadel (2011). Ces études ont montré l'existence de l'espèce *H.avenae* dans la plupart des régions prospectées.

Cependant, les informations lacunaires sur les pertes réelles provoquées par ce parasite en Algérie constituent une entrave aux futures recherches.

5. Importance agronomique

Tous les nématodes phytoparasites sont des parasites obligatoires qui se nourrissent exclusivement du cytoplasme des cellules vivantes des plantes. Les coûts engendrés par les attaques des nématodes sont, selon Blanchard (2007), imputables aux baisses de rendement, aux problèmes de qualité, à l'augmentation d'irrigations pour pallier les perturbations subies

par le système radiculaire des plantes parasitées et aux traitements nématicides très coûteux. S'ajoutent à cela les problèmes environnementaux liés à la toxicité de ces produits.

6. Importance économique

H. avenae est le nématode causant le plus de dégâts aux cultures céréalières de par sa répartition géographique et sa gamme d'hôtes (Ritter, 1982). Selon Barker et *al*. (1998) cité par Pokhare et *al*. (2012), les nématodes à kystes des céréales, principalement *H. avenae*, causent près de 78 billion $ comme pertes sur la culture du blé dans le monde.

On estime cependant que les pertes de rendement causées par *H.avenae* peuvent être de l'ordre de 50% dans les cas les plus graves et au moins de 5 à 10% dans les zones céréalières en France (Ritter, 1982). En Australie, et selon Brown (1984), plus de 2 millions d'hectares des céréales à Victoria et au Sud de l'Australie sont infestés. Les pertes de rendement sont estimées sur le blé uniquement à plus de 72 millions $ AUS annuellement. En Inde, ce nématode cause la maladie de Molya sur les céréales et induit des pertes allant de 4 à 32 % (Singh et Yadav, 1986). Ces pertes varient de 40 à 50% dans la région de Rajasthan et parfois peuvent atteindre 64% (Rajvanshi et Sharma, 2007).

Toutefois, des densités croissantes du nématode réduisent significativement les différentes composantes du rendement de blé dur avec des pertes allant de 26 à 96% (B'Chir et *al*., 2007).

7. Symptomatologie

Les symptômes des attaques d'*H. avenae* au champ se traduisent selon Wiese (1987) par des taches claires où poussent des plants chétifs. Les symptômes visibles sur les parties aériennes ne sont malheureusement pas caractéristiques. Les feuilles se décolorent puis prennent une couleur rougeâtre sur le blé (Rivoal et Cook, 1993), ce qui peut être confondu avec les symptômes des carences en éléments minéraux.

Sur le système racinaire, les symptômes sont plus caractéristiques. La pénétration des larves infestantes du second stade se fait en arrière du point végétatif (Williams et Siddiqi, 1972). Le système racinaire attaqué est généralement peu profond et qualifié de coralliforme, à cause d'un nombre anormalement abondant de radicelles (Caubel et *al*., 1980).

8. Méthodes de lutte contre les nématodes à kystes

La très grande longévité des kystes d'*Heterodera*, même en l'absence de la plante hôte, dans le sol et la présence de différentes races biologiques rendent la lutte contre ce nématode très difficile. Les différentes méthodes de lutte, selon Blanchard (2007) et Mitchinson (2009) sont :

8.1 Prophylaxie

- Eviter les contaminations interparcelles et la dissémination du pathogène par les eaux d'irrigation, les machine et outils agricoles.

8.2 Lutte culturale

- Utiliser des variétés qui résistent le mieux aux attaques du nématode.
- Détruire les mauvaises herbes et les résidus des cultures céréalières.
- Abaisser le niveau de population au-dessous du seuil de nuisibilité par utilisation de plantes nématicides ou de plantes pièges (rotation dans le temps et dans l'espace).
- Modifier les pratiques culturales pour éviter la multiplication du nématode (date de semis, labour, pratique de la jachère).

Cependant, les capacités de survie d' *H. avenae* dans les sols en absence d'hôte rendent la rotation difficilement applicable et économiquement peu rentable.

8.3 Lutte physique

Il existe deux moyens de lutte physique :

- La solarisation (augmentation de la température du sol, en surface, par bâchage).
- L'inondation (les nématodes meurent par asphyxie).

Ce sont deux moyens très peu utilisés pour des raisons pratiques (manque d'ensoleillement, utilisation des parcelles difficile après inondation).

8.4 Lutte chimique

- Les fumigants qui ont des propriétés nématicides mais aussi bactéricides, fongicides et herbicides.
- Les organophosphorés et les carbamates qui sont insecticides. Ils sont très efficaces, induisant 80 à 90 % de mortalité (Blanchard, 2007).

8.5 Lutte biologique

- Certains microorganismes ovicides comme *Verticillium chlamydosporum* (*Plectosphaerellaceae*) est signalé depuis déjà longtemps comme ennemi des œufs d'*Heterodera*. C'est un parasite facultatif, son aptitude parasitaire limitée aux premiers stades de l'embryogenèse du nématode qui, au-delà, acquiert une coque résistante (Cayrol et *al*., 2009). Selon le même auteur, son efficacité parasitaire n'a jamais dépassé 43 % dans les meilleures conditions. Ce qui pourrait juste suffire pour maîtriser l'évolution d'une population limitée.
- Tandis que *Nematophtora gynophila* (*Leptolegniellaceae*) empêche, selon Kerry et *al*. (1982), la formation des kystes tout en diminuant la fécondité des femelles.
- Il existe aussi *Pochonia chlamydosporia* (*Clavicipitaceae*) et *Paecilomyces lilacinus* (*Trichocomaceae*), parasites des œufs et la bactérie *Pasteuria penetrans* (*Pasteuriaceae*) (Mitchinson, 2009). Cette dernière est un parasite obligatoire, son efficacité parasitaire remarquable permet de réduire les populations de nématodes de plus de 80% (Cayrol et *al.*, 2009).

Si cette méthode semble parfois efficace au laboratoire, elle parait difficilement applicable au champ du fait de la présence d'antagonistes potentiels dans l'environnement (Blanchard, 2007).

Toutefois, toutes ces méthodes ne sont pas forcément les plus adaptées ou les plus faciles à mettre en place pour des raisons économiques. L'application des nématicides ou le contrôle biologique sont très coûteux dans les cultures céréalières. Les principales méthodes utilisées dans ces cultures sont la rotation et l'utilisation des variétés résistantes (Mitchinson, 2009).

9. Biologie de la relation avec la plante hôte

Les interactions qui existent entre le nématode et la plante sont multiples et complexes. Les recherches sont menées, d'une part, sur l'incidence des nématodes sur la croissance et la physiologie des plantes parasitées essentiellement sur la nutrition minérale, en relation avec l'alimentation hydrique, la photosynthèse, la respiration et les biosynthèses qui lui sont liées. D'autre part, sur les mécanismes d'attraction des nématodes par les exsudats racinaires et le comportement de la plante vis-à-vis de ces parasites (Aubert, 1986).

9.1 Altérations physiologiques de la plante hôte

- **Histopathologie**

La pénétration dans la racine hôte fait certainement appel à l'action mécanique puissante du stylet et probablement à la mise en place d'une batterie d'enzymes pour digérer les parois cellulaires végétales et pour se protéger contre les réactions de défense de la plante (Davis et *al.*, 2004). La migration intra cellulaire provoque des nécroses conséquentes des cellules végétales et donc des réactions importantes de la plante hôte pouvant nuire au nématode (production de composés toxiques d'oxygène) (Blanchard, 2007)

Pour compléter son cycle de développement, le nématode phytoparasite sédentaire met en place une nouvelle batterie de protéines pour induire son site nourricier, le syncytium (Davis et *al.*, 2004).

Cette structure particulière est une des structures les plus complexes observées dans une interaction hôte/parasite. Cette étroite relation permettant un dialogue fin et très spécialisé entre les deux partenaires (Blanchard, 2007). Celui-ci induit des modifications physiologiques très importantes chez la cellule choisie et les cellules adjacentes. De nombreuses modifications cytologiques sont également observées telles que l'augmentation de la densité du cytoplasme, la réduction de la vacuole, l'augmentation du nombre d'organelles (mitochondries, ribosomes,…) (Blanchard, 2007).

- **Nutrition minérale et hydrique**

Le nématode à kystes est capable de détourner le système hydrique et le système de transport des nutriments à son propre profit (Hofmann et Grundler, 2006)**.** Les effets sont multiples et l'action des nématodes se fait sentir à plusieurs niveaux, tels le potentiel hydrique foliaire, le fonctionnement stomatique, la transpiration, ou la conductivité racinaire (Wilcox-Lee et Loria, 1987). Le simple calcul du bilan hydrique de plants d'avoine fortement infestée par *H. avenae* révéla que la consommation totale en eau des plants était diminuée et la proportion de matière sèche augmentée (Seinhorst, 1981).

Cela peut perturber la distribution des ions dans la plante en provoquant des déficiences en éléments utiles Na^+ et K^+ et en intoxiquant la plante par une absorption accrue de Cl^- (Edongali et Ferris, 1980) in (Mataille, 1994). Ce déséquilibre existe aussi entre les différents organes de la plante (Boneti et *al.*, 1982), mais il est variable selon le nématode (Mataille, 1994). Enfin, il a été démontré que les nématodes entravent aussi l'absorption des oligo-

éléments (Boneti et *a*l., 1982).

Rivoal et *al*.(1990), ont attribué les altérations histologiques dues à l'invasion par *H. avenae*, chez l'avoine, à une absorption excessive du calcium, à cause des cellules géantes qui perturbent l'endoderme. L'ion Calcium jouerait un rôle dans l'aptitude des plantes à se défendre contre une attaque parasitaire par modification de l'environnement minéral des cellules attaquées (Mataille, 1994).

- **Photosynthèse**

Les plantes sensibles présentent une altération et donc une réduction des pigments chlorophylliens actifs, capteurs de l'énergie lumineuse (Mataille, 1994). Nagesh et Dhawan (1988) in (Mataille, 1994), ont noté sur des plants de blé inoculés avec *H. avenae*, que la déficience chlorophyllienne allait de pair avec la réduction de l'assimilation de CO_2 et de la nutrition minérale.

- **Respiration**

Une diminution de l'intensité respiratoire a été mesurée sur des racines de blé infestées par *H. avenae* (Person-Dedryver et *al*., 1984). Selon les mêmes auteurs, le ralentissement marqué de l'activité respiratoire des tissus infectés pourrait jouer un rôle important dans l'expression de la résistance des tissus.

- **Protéogenèse**

L'influence des nématodes sur la synthèse des amino-acides et sur la protéogenèse n'a fait l'objet que d'études descriptives de dosages en relation avec le parasitisme: les résultats obtenus n'expliquent donc rien sur le principe actif des nématodes (Mataille, 1994).

La réaction des variétés résistantes est très diverse, pouvant aller dans le sens d'une accumulation ou d'une diminution de la proline (Mataille, 1994).

Les troubles de croissance et les différentes réactions tissulaires provoquées par *H. avenae* ont de graves conséquences sur les composantes de rendement des céréales. Selon Nicol et Smiley (2009), le nombre de talles/pied, d'épis/m^2 et de grains/épis sont réduits.

9.2 Action de la plante hôte sur *H. avenae*

Les relations entre le parasite et la plante peuvent être de différentes natures. On parle de résistance ou sensibilité si l'on fait référence à l'évolution des populations de nématodes qui parasitent la plante, de tolérance ou non tolérance si l'on fait référence (fig 6) à l'état (symptômes et dégâts) de la plante parasitée (Cook et Evans, 1987),et d'incompatibilité ou compatibilité si l'on fait référence selon Mataille (1994), aux mécanismes physiologiques et aux régulations métaboliques, acquis ou induits par le nématode, de la plante parasitée.

La résistance est définie par Smiley et Yan (2010) comme étant la capacité de l'hôte à inhiber la multiplication du nématode.

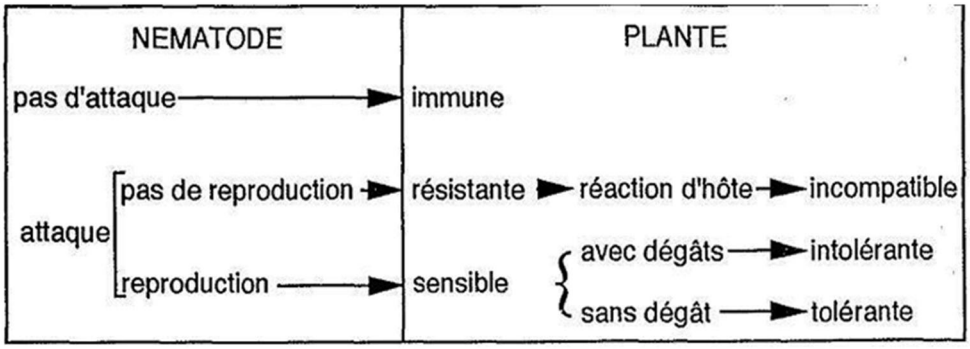


Figure 6 : Définition du caractère d'hôte en fonction du parasitisme
(Mateille, 1994)

- **Influence de l'hôte sur la fécondité et la multiplication du parasite**

Chez les *Heterodera*, deux modes de résistance ont été observés en fonction de leur délai d'action après attaque par le parasite (Mugniéry et *al*., 2001). Les réactions les plus précoces sont souvent des réactions d'hypersensibilité pendant l'induction du site nourricier. Cette réaction semble être identique à celles observées contre d'autres pathogènes (Williamson et Kumar, 2006). Les juvéniles de second stade n'évoluent alors pas jusqu'au stade adulte (Blanchard, 2007).

Dans le deuxième type de réaction, la plante-hôte peut, chez les nématodes à kystes, exercer une influence importante sur le déterminisme du sexe et provoquer de cette manière la production d'un nombre excessif de mâles. Ce phénomène conduit à une diminution des femelles, donc à une baisse de la population (Mugniéry et Fayet, 1984). Dans ce cas le tissu végétal influe sur le"sex ratio" des nématodes qu'il héberge (Nicol et Smiley, 2009). Même si la multiplication est inhibée, les juvéniles infestants envahissent le plus souvent les racines

des variétés résistantes en compromettant le rendement. L'idéal, une résistance doit être combinée avec une tolérance, qui est la capacité de la plante hôte à maintenir son potentiel de rendement en présence du nématode (Smiley et Yan, 2010).

- **Sources de résistance à *H.avenae***

Plusieurs sources de résistance ont été caractérisées chez l'orge, l'avoine et le blé (tableau 3). La résistance à *H. avenae* a été identifiée pour la première fois en Australie chez l'avoine, puis chez l'orge. Tandis que chez le blé, La première source de résistance a été rapportée au Danemark sur la variété de blé tendre "Loros" par Nielson en 1966 (Brown, 1984).

L'utilisation de résistances naturelles s'avère actuellement la méthode la plus intéressante et la plus efficace. La démonstration a été faite pour la protection du blé dur dans le sud de la France avec l'utilisation d'orges résistantes qui ont assuré l'assainissement des sols après seulement deux années de culture (Rivoal et Besse, 1982).

Les recherches actuelles visent à révéler la manière dont chaque variété exprime cette résistance, tolérance ou sensibilité envers *H. avenae*. Ces différents comportements variétaux sont possibles grâce à la présence des gènes impliqués dans la relation plante/nématode.

Tableau 3: Principales sources de résistance à *H. avenae* (Nicol et Smiley, 2009)

Cereal Species	Cultivar or Line	Origin	Resistance Gene(s)[a,b]	Response to Pathotypes[b,c]	Use in Cultivars
Wheat					
Triticum aestivum	Loros, AUS10894	?[d]	***Cre1***[e] (formerly *Ccn1*), on chromosome 2BL	pR to several pathotypes	NW Europe, Australia; NW USA under evaluation
	Katyil	Australia	*Ccn1*	S, India	Australia
	Festiguay	Australia	*Cre8 (Formerly CreF)* on chromosone 7L? Recent analysis suggests 6B	pR to *Ha13*	Australia
	AUS4930 = 'Iraq 48'	Iraq	possibly identical genetic location as *Cre1*; also resistance to Pt	R to several pathotypes and *Heterodera* species and Pt	Australia, France, CIMMYT; under evaluation
	Molineux	Australia	chromosome 1B (14% resistance)	R to Ha13	Australia
	Raj MR1 (Raj Molya Rodhak1)	landrace from Nidge, Turkey AUS 15854 x J-24	one dominant gene	R only to some populations of *H. avenae*, appears S to Indian *H. filipjevi*	Released cultivar in northern India in 2002
Triticum durum	Psathias 7654, 7655, Sansome, Khapli	?	?	S to some pathotypes, pR to others	
Triticale and rye					
Triticosecale	T701-4-6	Australia	*CreR* on chromosome 6RL	R to Ha13	Australia
	Drira (=Ningadhu)	Australia	?	R to Ha13	Australia
	Tahara	Australia	?	R to Ha13	
	Salvo	Poland	?		UK
Secale cereale	R173 Family		*CreR* on chromosome 6RL	R to Ha13	Australia
Wild grass relatives of wheat					
Aegilops tauschii	CPI 110813	Central Asia	*Cre4* on chromosome 2DL	R to Ha13	Australian synthetic hexaploid lines
Aegilops tauschii	AUS18913	?	***Cre3*** on chromosome 2DL	R to Ha13	Australian advanced breeding lines
Aegilops peregrina (= Ae. variabilis)	1		*Cre(3S) with Rkn2* on chromosome 3S; *CreX*, not yet located		
Aegilops longissima	18	?	?	R to four French pathotypes and *Meloidogyne naasi*	France
Aegilops geniculata	79; MZ1, MZ61, MZ77, MZ124	?		R and pR to several pathotypes	France – under evaluation
Aegilops triuncialis	TR-353	?	*Cre7 (formerly CreAet)*	R and pR to several pathotypes	France – under evaluation
Aegilops ventricosa	VPM 1		*Cre5* (formerly *CreX*), on chromosome 2AS	R to several pathotypes	Spain – under evaluation
	11; AP-1, H-93-8		*Cre2* (formerly *CreX*) on genome N^v		
	11; AP-1, H-93-8, H-93-35		*Cre6*, on chromosome $5N^v$		

R = résistant, **pR** = partiellement résistant, **S** = sensible.

? = absence de publications scientifiques.

CHAPITRE 3

Chapitre 3: Méthodes d'étude

1. Présentation de la région d'étude d'El Madher

Nous avons effectué plusieurs échantillonnages du sol dans différents champs du blé dur au niveau de la wilaya de Batna (Tazoult, El Madher, Aïn Djasser et Ouyoun El Assafir) afin de vérifier la présence ou l'absence du nématode à kystes *Heterodera avenae*. Ces échantillonnages nous ont permis de porter notre choix à la ferme pilote Arrar Mohamed qui se situe à l'est de la commune d'El Madher (fig 8) pour la réalisation de l'essai du champ dans un sol naturellement infesté et pour extraire les kystes servant à l'essai du laboratoire. C'est à cet effet que nous présentons ci-dessous le cadre de notre étude qui correspond à la commune d'El Madher.

1.1 Situation géographique

La commune d'El Madher (Daïra d'El Madher, Wilaya de Batna) se situe en Nord-Est de la ville de la wilaya de Batna à 23Km du chef-lieu de la wilaya (fig 7). Elle s'étend sur une superficie de 99,96 k m^2 et à une altitude de 900 m par rapport au niveau de la mer. Le chemin de la wilaya N^0 26 relie la commune au chef-lieu de la wilaya (fig 8).

La commune d'El Madher est limitée au Nord par les communes de Djerma et Aïn Yagout ; au Sud par la commune d'Ain Lassafeur ; à l'Est par la commune de Boumia et à l'Ouest par la commune de Fesdis (fig 8).

1.2 Relief

La commune d'El Madher se situe au piémont de Djebel Bouarif, elle appartient à l'extrémité du Nord-Ouest du massif des Aurès (Subdivision agricole d'El Madher, 2014). Elle est étendue en majorité sur des terres plates dont la pente est de 0 à 8 %, ses éléments de relief se répartissent, selon (Subdivision agricole d'El Madher, 2014) comme suit :

- 20 % de montagnes.
- 10 % de collines.
- 40 % de plaines.
- 30% de plateaux.

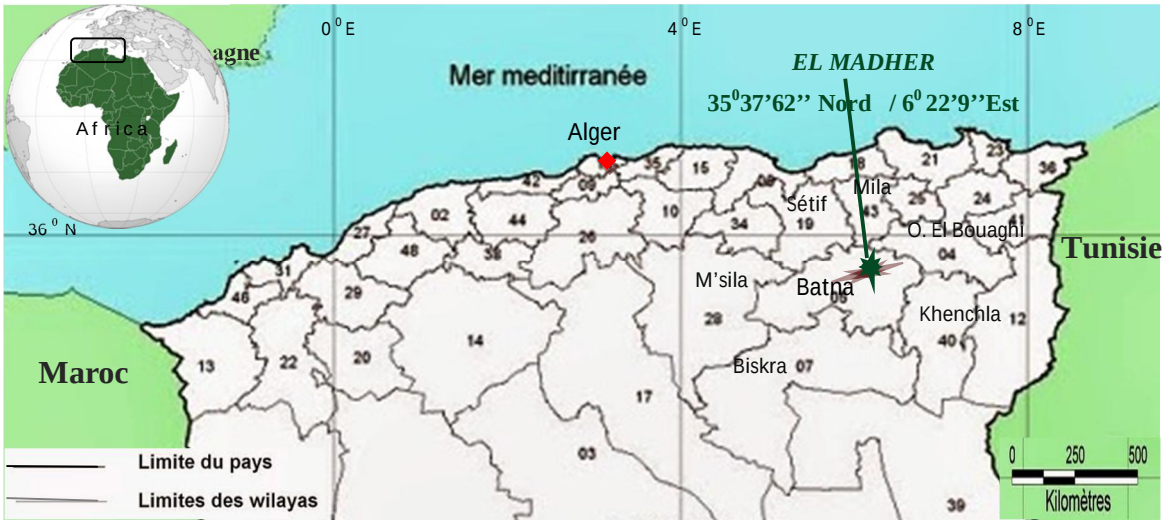


Figure 7 : Situation géographique de la commune d'El Madher

(Conception: Arour, 2014)

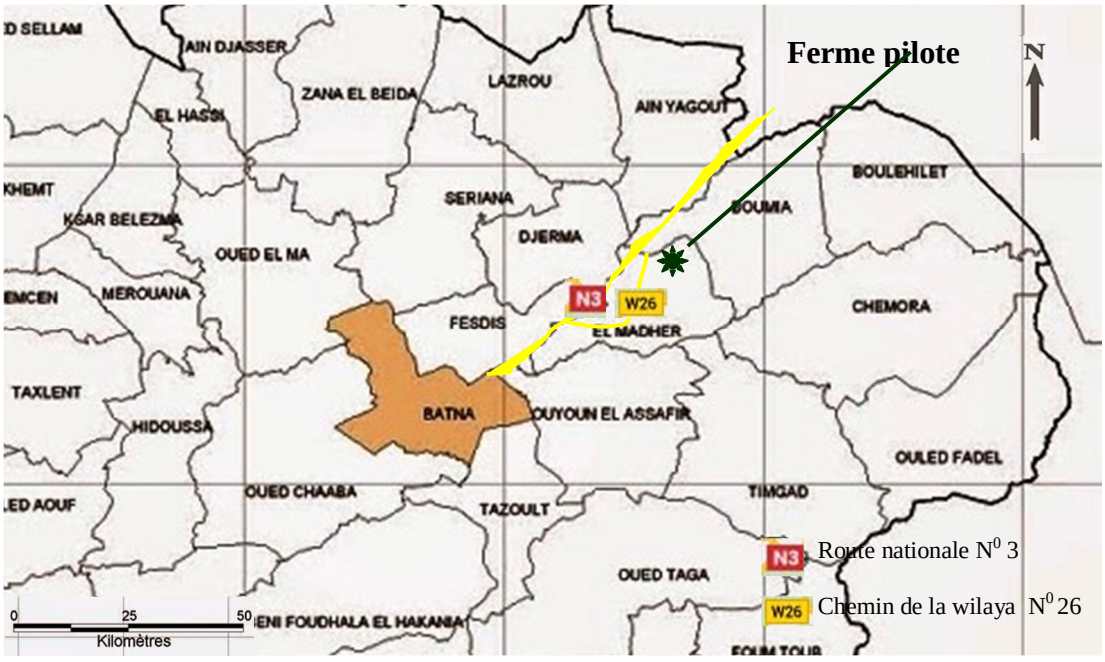


Figure 8 : Limites de la commune d'El Madher et situation de la ferme pilote

Arrar Mohamed (Conception : Arour, 2014)

1.3 Cadre pédologique

Les sols de la commune sont en général de nature argilo-limoneuse à pH basique de 8,78. La roche mère est de 0,80 à 1 m de profondeur. Il existe aussi des sols salés mais de faible importance (Subdivision agricole d'El Madher, 2014).

1.4 Climat

Les données climatiques exploitées afin de caractériser le climat de la région d'étude ont été recueillies au niveau de la station météorologique de la wilaya de Batna (Ain Skhouna), qui se situe au niveau de l'aéroport à une altitude de 827 m, à 35^0 43' de latitude Nord et 6^0 21' de longitude Est, avec comme période d'observation celle allant de 1993 à 2013 et celle de la compagne agricole 2013-2014.

1.4.1 Facteurs climatiques primaires

- **Températures**

La température est l'un des éléments importants du climat. Elle conditionne la répartition des êtres vivants dans la biosphère (Ramade, 1984). Très souvent, ce sont les températures extrêmes plutôt que les moyennes qui jouent le rôle essentiel (Dajoz, 1985).

Les températures caractérisant la région d'étude, calculées sur 21 ans et au cours de la période d'étude (2013-2014) sont représentées dans le tableau 4.

Nous constatons qu'au cours de la période d'étude (2013-2014), le mois de janvier est le mois le plus froid de l'année avec 5,49 ^{0}C et 5,35 ^{0}C pour la période de 1993 à 2013. Le mois d'août est le mois le plus chaud avec 27,65 ^{0}C pour l'année (2013-2014) et le mois de juillet est le mois le plus chaud avec 25,0 ^{0}C pour la période de 21 ans. Comparativement à la moyenne annuelle sur 21 ans qui égale 13,66 0C, la moyenne annuelle au cours de l'année d'étude apparaît plus élevée 14 ^{0}C, reflétant une légère augmentation des températures au cours de l'année d'étude.

Tableau 4: Températures maximales (M), minimales (m) et moyennes (M+m/2) de la région d'El Madher durant la période de 1993 à 2013 et au cours de la campagne agricole 2013-2014

Température	Compagne 2013-2014			Moyenne sur 21 ans		
Mois	**M**	**m**	**M+m/2**	**M**	**m**	**M+m/2**
Octobre	27,66	12,35	20,00	20,00	8,70	14,35
Novembre	15,66	12,66	10,17	14,00	3,90	8,95
Décembre	12,66	0,14	6,40	10,80	1,70	6,25
Janvier	9,80	1,19	5,49	9,9	0,80	5,35
Février	15,90	1,38	8,64	11,10	1,50	6,30
Mars	7,55	0,70	9,95	13,60	2,80	8,20
Avril	20,1	6,0	13,05	17,50	5,40	11,45
Mai	27,8	8,4	18,1	22,50	9,30	15,90
Juin	30,01	13,74	21,87	29,30	14,00	21,65
Juillet	35,30	16,60	25,95	33,0	17,00	25,00
Août	36,76	17,95	27,25	32,20	16,80	24,50
Septembre	32,57	16,12	24,34	26,70	13,40	20,05

Station météorologique, Batna (2014)

M: moyenne mensuelle des températures maximales absolues quotidiennes.
m : moyenne mensuelle des températures minimales absolues quotidiennes.
M + m /2: moyenne mensuelle.

- **Pluviométrie**

L'analyse des données pluviométriques montre que la faiblesse et l'irrégularité constituent les caractéristiques principales des précipitations dans la région d'El Madher. Le total des précipitations collectées au cours de la campagne d'étude est de 281,45 mm. Sur 21 ans la pluviométrie annuelle est de 376,4 mm (tableau 5). Elles sont principalement réparties sur l'hiver et le printemps, là où nous avons enregistré un maximum de 47,3 mm pendant le mois d'avril de l'année d'étude. La moyenne annuelle est de 23,45 mm pour l'année d'étude, tandis que sur 21 ans, elle est sensiblement plus élevée (34,36 mm).

Tableau 5: Moyennes mensuelles de précipitation en (mm) de la région d'El Madher durant la période de 1993 à 2013 et au cours de la campagne 2013-2014

Mois	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	Total
2013-2014	20,6	23	33,3	27,6	47,7	15	49	36,6	10	0,3	5,1	13,7	**281,45**
1993-2013	30,8	34	44,2	40,8	22	21,5	47,3	40	30,3	14,2	20	31,3	**376,4**

Station météorologique, Batna (2014)

1.4.2 Phénomènes secondaires

- **Gelées**

Les gelées sont fréquentes pendant toute la période hivernale et au début du printemps, avec une fréquence moyenne de 52 jours/an sur 20 ans (tableau 6).

Tableau 6 : Nombre de jours de gelée par mois dans la région d'El Madher durant la période (1993-2013)

Mois	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	Total
Nombre de jours	3	7	11	12	8	5	4	0	0	0	0	0	**52**

Station météorologique, Batna (2014)

- **Neige**

La neige est un facteur climatique secondaire qui joue un rôle de réservoir d'eau. La fréquence de la neige dans la région d'étude est de 9 jours/an au cours de la campagne d'étude. Elle est plus faible que la moyenne notée sur 21 ans (tableau 7).

Tableau 7: Nombre de jours de neige par mois dans la région d'El Madher durant la période 1993-2013 et au cours de la campagne 2013-2014

Mois	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	Total
2013-2014	0	0	3	0	5	1	0	0	0	0	0	0	**9**
1993-2013	0	1	2	3	3	2	1	0	0	0	0	0	**12**

Station météorologique, Batna (2014)

- **Grêle**

Ce phénomène est considéré uniquement par les dégâts qu'il provoque aux cultures. Nous signalons que nous n'avons pas eu des données concernant sa fréquence au cours de l'année d'étude mais selon les informations recueillies au niveau de la subdivision agricole d'El Madher, la grêle a provoqué de considérables dégâts sur toutes les cultures à la fin de la saison agricole (le 17 juin 2014). Ce qui démontre une fois de plus la sécheresse relative enregistrée au cours de la campagne d'étude. Sa fréquence moyenne sur 21 ans est de 5 jours/an.

Tableau 8: Nombre de jours de grêle par mois dans la région d'El Madher durant la période 1993-2013.

Mois	**O**	**N**	**D**	**J**	**F**	**M**	**A**	**M**	**J**	**Jt**	**A**	**S**	**Total**
Nombre de jours	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	**5**

Station météorologique, Batna (2014)

- **Vents**

Les vents dominants dans la région sont, ceux du Sud-Ouest, généralement secs et continentaux, le Sirocco fait partie de ces derniers, il provoque une chute brutale de l'humidité et une augmentation notable de la température. Le maximum de sa fréquence a lieu en été mais les vents chargés de pluies viennent de l'Ouest et du Nord (Station météorologique de Batna, 2014).

T**ableau 9 :** Vitesse maximale du vent (m/s) dans la région d'El Madher durant la période de 1993-2013

Mois	**O**	**N**	**D**	**J**	**F**	**M**	**A**	**M**	**J**	**Jt**	**A**	**S**
Vitesse	24	32	30	35	35	31	34	38	50	47	23	24

Station météorologique, Batna (2014)

T**ableau 10:** nombre moyen de jours de sirocco par mois dans la région d'El Madher durant la période de 1993-2013

Mois	**O**	**N**	**D**	**J**	**F**	**M**	**A**	**M**	**J**	**Jt**	**A**	**S**	**Total**
Nombre de jours	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	**2**

Station météorologique, Batna (2014)

1.4.3 Synthèse climatique

- **Climagramme d'Emberger**

Afin de caractériser l'étage bioclimatique de la région d'El Madher, nous avons calculé le quotient pluviométrique d'Emberger (Q_2) sur une période de 21 ans (1993 à 2013) avec la formule de Stewart (1974) cité par Dajoz (1985).

$$\mathbf{Q_2 = 3,43\ P / M + m}$$

Où :

Q_2 : le quotient pluviométrique d'Emberger ou coefficient d'aridité.

P : Précipitations moyennes annuelles (mm) = 376,4 mm

M : Température moyenne maximale du mois le plus chaud = 33 ^{0}C

m : Température moyenne minimale du mois le plus froid = 0,8 ^{0}C

$$\mathbf{Q_2} = 3,43 \times 376,4 / 33 - 0,8 = 38,22$$

La valeur Q_2 = 38,22 trouvée pour la période allant de 1993 à 2013 et rapportée sur le diagramme d'Emberger permet de classer la région d'El Madher dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver frais.

- **Diagramme ombrothermique de Gaussen**

L'expression graphique de Gaussen sert à mettre en évidence une éventuelle période de sécheresse. Il fait intervenir les facteurs température et précipitation. Le diagramme tracé pour la période (1993-2013) montre que la période sèche dans la région d'étude s'étale du mois d'avril jusqu'au mois de septembre et du mois d'octobre jusqu'au mois de novembre.

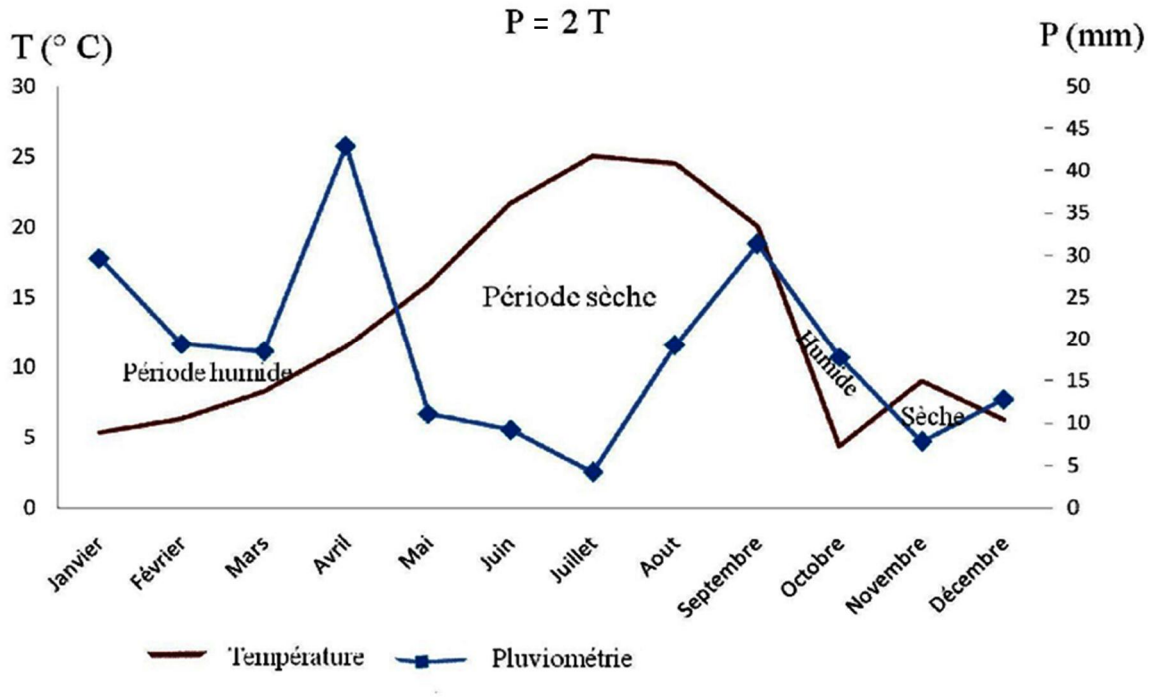


Figure 9 : Diagramme ombrothermique de Gaussen pour la région d'El Madher (1993-2013)

1.5 Situation de l'agriculture dans la région d'El Madher

La superficie totale de la commune d'El Madher est de 9996 ha. Les terres consacrées à l'agriculture (SAT), avec une superficie de 6301 ha, représentant 63,03 % de celle-ci. Le reste des terres comprenant d'une part les terres forestières avec 3551 ha et d'autre part le terrain non agricole avec 144 ha. Sur les 6301 ha des sols agricoles, 5351 ha sont considérés comme utiles (Subdivision agricole d'El Madher, 2014).

Au niveau de la commune d'El Madher, la principale activité agricole est la céréaliculture (tableau 11). La majeure partie de la sole céréalière est occupée par le blé dur et l'orge, soit entre 32 % à 37,75 % pour le blé dur (tableau 12). Les faibles précipitations, les gelées printanières, les vents chauds et desséchants (Sirocco), ainsi que la mauvaise conduite technique influencent les rendements qui restent faibles.

Tableau 11 : Répartition des surfaces cultivées (ha) dans la commune d'El Madher entre 2009 et 2014 (**/ :** absence de données)

Spéculation	2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014
Céréale	2650	2500	2900	2950	3000
Jachère	2143,5	2240,5	1789,5	1708,5	/
Fourrage	340	370	425	300	320
Arboriculture	196.5	229,5	225,5	347	/
Maraîchage	21	11	11	17	17

Subdivision agricole d'El Madher (2014)

Tableau 12: Evolution de la surface et du rendement des céréalicultures dans la région d'El Madher pour 4 campagnes (**S** : surface en ha et **Rdt** : rendement en qx/ha ; **/ :** absence de données)

Culture	2009/2010		2010/2011		2011/2012		2012/2013	
	S	Rdt	S	Rdt	S	Rdt	S	Rdt
Blé dur	1000	3	800	8,33	900	8	1000	7,75
Blé tendre	500	4	400	9	400	8	350	7,50
Orge	1000	5	1000	12	1400	11	1500	10
Avoine	150	2	300	7	200	7	70	8,50
Totaux	2650	/	2500	/	2900	/	2920	/

Subdivision agricole d'El Madher (2014)

2. Méthodes et techniques d'étude

2.1 Sur Terrain

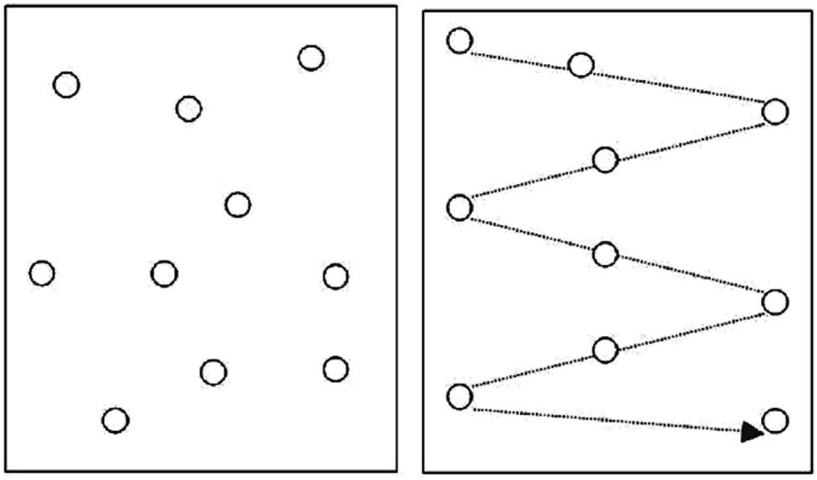
2.1.1 Echantillonnage des nématodes à kystes

La méthode d'échantillonnage consiste à prélever à l'aide d'une tarière pédologique un échantillon du sol (10 à 30 cm de profondeur) que nous mettons dans un sachet en prenant soin de noter la date et la région.

L'échantillonnage peut être systématique ou aléatoire. Ce dernier n'est pas représentatif que dans le cas des petites surfaces (Coyne et *al*., 2010). L'échantillonnage systématique est une voie plus structurée dans la collecte des échantillons qui prend en compte le champ dans sa globalité et la distribution agrégée des nématodes (Coyne et *al*., 2010). Il est préférable de collecter assez d'échantillons afin d'assurer une représentativité suffisante de la distribution des nématodes dans le champ. Plus grand sera le nombre de sous-échantillons (prises)

combinés pour former l'échantillon composite pour chaque champ, plus précise sera l'estimation (LNPV, 2012).

Pour une surface de 0,5 à 1 hectare, l'échantillonnage doit comprendre entre 10 (minimum) et 50 sous-échantillons. La combinaison de ces sous-échantillons conduit à un échantillon composite représentatif de la surface de champ échantillonnée (Anonyme, 2013). Le rassemblement de ces sous-échantillons aide à préserver les nématodes en maintenant une température et une humidité adéquates (Coyne et *al.*, 2012).



Aléatoire **Systématique**

Figure 10 : Schémas représentant les méthodes d'échantillonnage des nématodes (Coyne et *al*., 2010)

2.1.2 Période d'échantillonnage

En Algérie, le début de végétation des céréales à pailles (blé tendre et blé dur) semées dans le courant d'automne coïncide exactement avec le cycle d'éclosion d'*H. avenae* (Hamroun, 2006). Les échantillonnages ont été effectuées au début et à la fin du cycle de la plante hôte (Février et Juillet) afin d'estimer le nombre de kystes néoformés. Le nombre de kystes néoformés représente la différence entre le nombre initial des kystes (kystes initialement formés) et leur nombre à la fin du cycle de la plante.

2.1.3 Test sur sol naturellement infesté

Le matériel végétal est formé de trois variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) fournies gracieusement par : l'Institut Technique des Grandes Cultures, Sétif. Les caractéristiques des trois variétés cultivées sur notre champ d'étude : Mohamed Ben Bachir, Bousselam et GTA/dur ainsi que leur pedigree sont données dans (Annexe 1).

L'objectif de l'essai est de tester le comportement de trois variétés de blé dur vis-à-vis d'une population d'*H. avenae* originaire d'El Madher (Batna), et d'étudier l'effet de cette dernière sur les facteurs de croissance de la plante.

Le dispositif expérimental conduit au niveau de la ferme pilote est complètement aléatoire avec 5 répétitions sur un terrain plat (fig 11). Pour permettre de compenser l'hétérogénéité de multiplication du nématode, il est conseillé de réaliser 4 répétitions pour chaque variété tout en maintenant une humidité convenable du sol (Mokabli, 2002). Les parcelles élémentaires sont de (7 m × 2 m). Le semis a été réalisé le 8 décembre 2013.

2.2 Au laboratoire

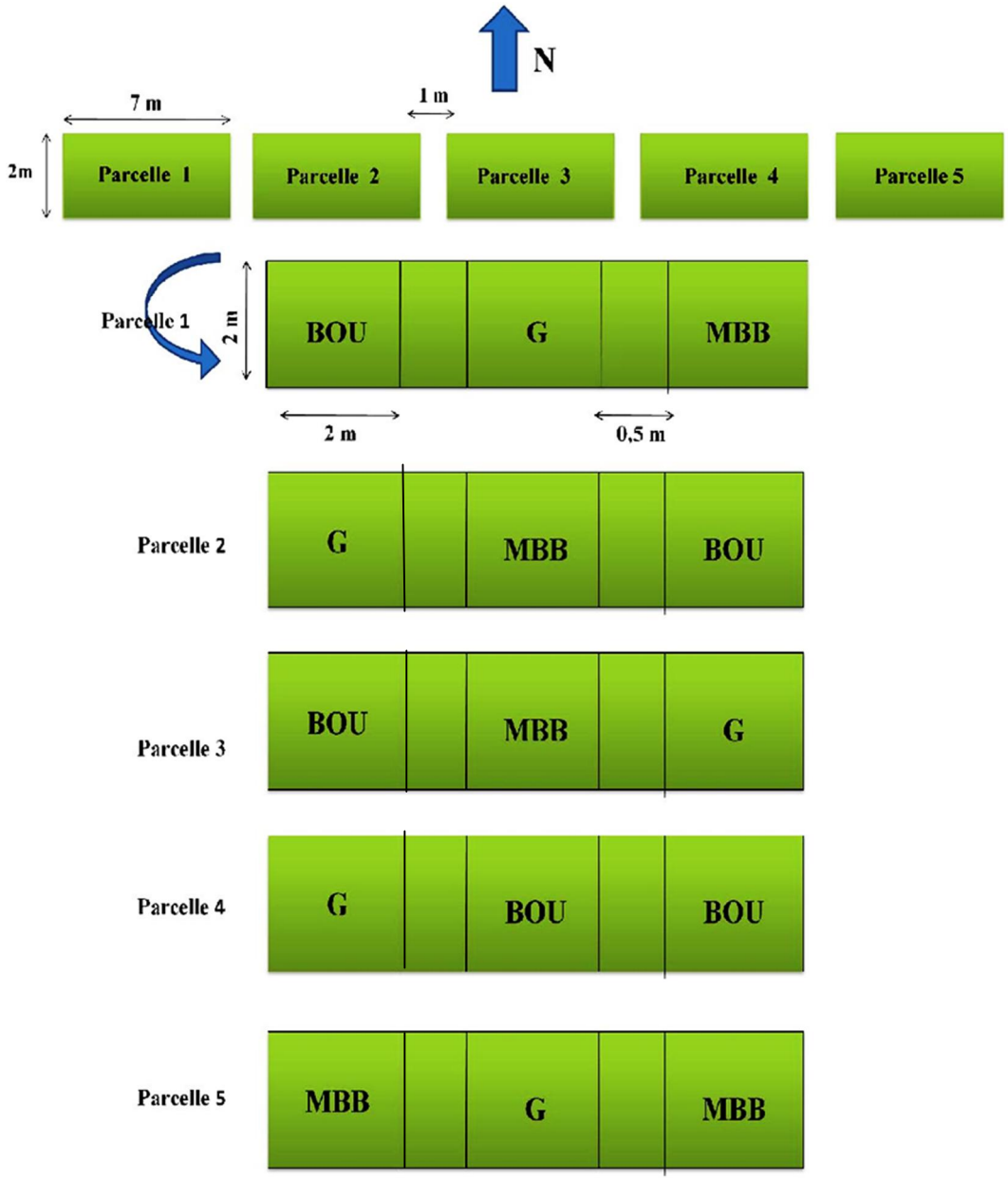
2.2.1 Extraction des nématodes à kystes

La méthode utilisée est la méthode classique décrite par Fenwick (1940) sur l'appareil modifié par Oostenbrinck (1960). Le kyste constitué par le corps enduré de la femelle d'*Heterodera*, possède, selon Coyne et *al* (2010), une densité supérieure à 1,08 ; c'est-à-dire : supérieure à celle des autres nématodes, il sédimente donc plus vite. Le procédé consiste donc à faire sécher le sol et les kystes qu'il contient et à récupérer ceux-ci par flottation.

La densité du kyste sec est inférieure à celle de l'eau qui est elle-même inférieure à la densité du kyste humide.

- **Mode opératoire**

L'appareil de Fenwick (Annexe 3) est rempli d'eau, le sol séché est entraîné par un courant d'eau à travers la passoire à maille de 1 mm dans l'entonnoir qui plonge dans l'appareil. Les kystes flottent et sont entraînées avant qu'ils aient le temps pour se réhydrater. Ils sont retenus par un tamis de 250 µm, puis récupérés dans le papier filtre mis dans des mis dans des boites de Pétri à l'aide d'une pissette d'eau (Coyne et *al.*, 2012).



MBB: Mohamed Ben Bachir

BOU: Bousselam

G : GTA/ dur

Figure 11 : Schéma du dispositif expérimental mené au champ

- **Identification et comptage des kystes**

Les kystes extraits peuvent être observés et dénombrés à l'aide d'une loupe binoculaire (grossissement 40x). Les loupes binoculaires permettent une meilleure vision, particulièrement lorsque les échantillons sont sales. Les kystes sont triés et dénombrés manuellement à l'aide d'une aiguille, ensuite récupérés dans des boîtes de pétri afin de les utiliser dans l'essai du comportement variétal au laboratoire.

L'identification des espèces d'*Heterodera* a été faite grâce à l'aide de Mr Chafaa S. (département des Sciences de Nature et de Vie d'Université de Batna) et Mr Smaha D. (INPV, El Harrach, Alger). Elle est basée sur la morphologie du cône vulvaire du kyste.

Les kystes peuvent être regroupés d'après leur forme, selon Baldwin et *al.*, (1991) en 4 catégories (Figure 13):

1- sphérique (exemple *Globodera sp.*)

2- ovoïde (exemple *Punctodera sp.)*

3- citriforme avec cône peu proéminent (exemple *Heterodera cruciferae*)

4- citriforme avec cône proéminent (exemple *Heterodera schachtii*)

Le kyste d'*Heterodera avenae* Woll. appartient au quatrième groupe. Le critère qui permet de l'identifier est l'absence du sous-pont.

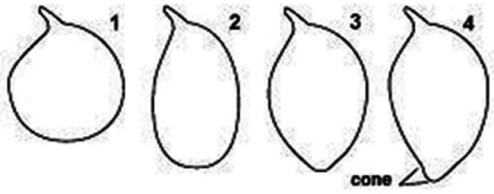
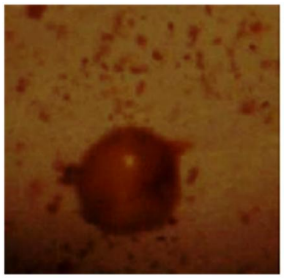
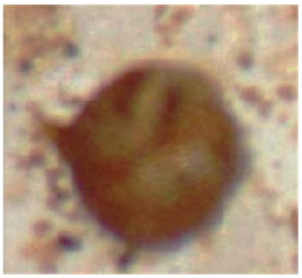


Figure 12: Forme des kystes des nématodes (Baldwin et *al.*, 1991)



G 10 ×



G 40 ×

Figure 13: Photos du kyste d'*H. avenae* prises au laboratoire (originales)

2.2.2 Test du comportement variétal

- **Dispositif expérimental**

Le dispositif expérimental conduit au laboratoire est complètement aléatoire avec 4 répétitions et un témoin. Le semis a été réalisé le 24 décembre 2013 dans des pots de 5 Kg à raison de 20 grains/pot. Le substrat terreux utilisé et qui provient du domaine expérimental de l'institut des Sciences Vétérinaires et Agronomiques (Batna), est dépourvu des kystes *d'H. avenae* : une analyse nématologique a été effectuée préalablement.

- **Infestation artificielle**

Le matériel biologique est formé des kystes d'*H.avenae* originaire du champ d'essai (la ferme pilote Arrar) à raison de 25 kystes/pot. Ces kystes sont enfermés dans des tulles de 250 µm pour éviter la confusion par les kystes néoformés et permettre la sortie des larves infectieuses. Les tulles sont enfoncés à 5 cm dans les pots deux jours avant le semis. Une humidité convenable du sol est entretenue par des arrosages réguliers tous les deux jours (Zancada et Althofer, 1994) in Smaha (1998).

Il faut signaler que suite à une contamination par le *Fusarium* sp, identifié par Mr Bensassi (Maître assistant, Université de Batna), nous n'avons pas pu achever l'expérimentation réalisée au laboratoire de LAPAPEZA.

Tableau 13 : Représentation du dispositif expérimental installé au laboratoire

Bloc 1	**MBB $_2$**	**G $_2$**	**G $_4$**
Bloc 2	**BOU $_4$**	**BOU $_3$**	**MBB $_4$**
Bloc 3	**BOU $_0$**	**MBB $_1$**	**BOU $_2$**
Bloc 4	**G $_1$**	**G $_3$**	**G $_0$**
Bloc 5	**MBB $_3$**	**BOU $_1$**	**MBB $_0$**

- **Facteur étudié** : Variété à trois niveaux (3 variétés)
- **MBB $_0$, GTA $_0$ et BOU $_0$** : Témoins des trois variétés
- **MBB (de 1 à 4)** : répétitions pour la variété M.B Bachir.
- **BOU (de 1 à 4)** : répétitions pour la variété Bousselam
- **G (de 1 à 4)** : répétitions pour la variété GTA/dur

- **Traitement** : dose de kystes inoculés (25 kystes/pot)
- **Répétition** : 4 répétitions pour chaque variété.

2.3 Mesure des paramètres morphologiques, biochimiques et agronomiques

2.3.1 Paramètres morphologiques

- Nombre de talles herbacées par pied : le comptage de toutes les talles herbacées, à l'exception du maître brun, porte sur 5 plants pour chaque variété.

- Longueur des talles herbacées (cm) : les mesures portent sur 5 plants pour chaque variété.

- Hauteur de la plante (cm) : les mesures portent sur 5 plants pour chaque variété. Elles s'effectuent du ras du sol jusqu'aux sommets des épis (barbes non inclus).

- Surface de la dernière feuille (cm^2) : à raison de 5 feuilles pour chaque variété dont la surface est mesurée à l'aide d'un planimètre.

2.3.2 Paramètres biochimiques

- **Dosage des chlorophylles**

La chlorophylle est dosée selon la méthode de Mackinny (1941), qui consiste à mettre 100 mg des feuilles coupées dans un mélange de l'acétone et l'éthanol (75 % et 25 %) à l'obscurité durant 48 heures, puis on procède à la lecture des densités optiques des solutions à l'aide d'un spectrophotomètre à deux longueurs d'ondes : (645 nm et 663 nm). Après l'étalonnage de l'appareil avec la solution témoin (acétone 75% et éthanol 25%).

Le calcul des valeurs de la chlorophylle se fait grâce à la formule d'Arnon (1949) :

$$Chl.a = (0{,}0127 \times DO\ 663) - (0{,}00269 \times DO\ 645)\ mg/ml$$

$$Chl.b = (0{,}0229 \times DO\ 645) - (0{,}00486 \times DO\ 663)\ mg/ml$$

$$Chl\ total = (Chl.a + Chl.b) = (0,\ 00802 \times DO\ 663) + (0{,}0202 \times DO\ 645)\ mg/ml.$$

- **Dosage des sucres solubles**

Le dosage des sucres totaux est effectué par la méthode de phénol / acide sulfurique (Dubois et *al*., 1956). Le principe du dosage se base sur la condensation des produits de

déshydratation des oses avec un chromogène qui est le phénol.

Elle consiste à ajouter à 100 mg de matière fraîche 2ml d'éthanol à 80 %. Laisser le mélange à l'obscurité pendant 48 h dans la température ambiante afin d'extraire les sucres.

Au moment du dosage on met l'extrait dans un bain marie à 70°C pour faire évaporer l'alcool. Ensuite, 20ml d'eau distillée sont ajoutés. Dans des tubes à essais propres, on met 2ml de la solution à doser, on ajoute 1ml de phénol à 5% (le phénol est dilué dans de l'eau distillée). On ajoute 2ml d'acide sulfurique concentré, on obtient ainsi une solution jaune orange. Après 25 mn de repos dans un bain de glace, les mesures d'absorbances sont effectuées à une longueur d'ondes de 490 nm.

La teneur des sucres est exprimée en mg/100 mg de matière fraîche, déduite à partir d'une courbe d'étalonnage.

- **Dosage de la proline**

La proline est dosée selon la technique de Troll et Lindesly (1955) modifiée par Monneveux et Nemmar (1986). Elle consiste à mettre 100 mg de matière fraîche dans 2 ml de méthanol à 40%. Le mélange est porté à l'ébullition à 85° C durant 30 mn. Après refroidissement, 1 ml d'acide acétique, 25 mg de ninhydrine et 1 ml d'un mélange contenant l'eau distillée, l'acide acétique et l'acide orthophosphorique de densité 1,7 (120 ml, 300 ml, 80 ml: v / v / v) sont ajoutés à 1ml de l'extrait. L'ensemble est porté à l'ébullition pendant 30 mn au bain-marie, la solution vire au rouge. Après refroidissement, 5 ml de toluène sont ajoutés à la solution. Deux phases se séparent après agitation au vortex : une phase supérieure de couleur rouge contenant la proline et une phase inférieure transparente sans proline. La phase supérieure est récupérée et additionnée d'une pincée du sulfate de sodium oxydé pour éliminer l'eau que contient le mélange.

La lecture de la densité optique est réalisée à l'aide d'un spectrophotomètre à la longueur d'onde de 528 nm. Le calcul des concentrations se fait par l'équation déduite de la courbe d'étalonnage.

2.3.3 Paramètres agronomiques

- Nombre de plants par m^2 : à partir de la fin épiaison jusqu'au début floraison. Le comptage s'effectue sur une placette de 0,25 cm^2 (Cauwel et *al.*, 2000).

- Nombre d'épis par plant : au stade maturité sur une placette de 0,25 cm^2 (Cauwel et

al., 2000).

- Nombre de grains par épi : comptage sur 10 épis pour chaque variété (Cauwel et *a*l., 2000).

- Poids de 1000 grains : déterminé par pesée de 1000 grains comptés après la récolte.

- Rendement en grains : Engledow et Wadham (1993) définissent le rendement comme étant l'ensemble des composantes : le nombre de plantes par unité de surface le nombre d'épis par plante, le nombre de grains par épi et le poids de mille grains.

Le rendement au champ est calculé selon Vilain comme suit :

Rendement (qx/ha)= Nombre de plants/ha × Nombre moyen d'épis/plant × Nombre moyen de grains/épi × Poids moyen d'un grain par épi.

2.4 Traitement statistique

Nous avons utilisé le logiciel R (version : 2.14.1, 2001) pour le traitement statistique des données issues des différentes mesures effectuées sur les paramètres étudiées des plantes cultivées sur champ et au laboratoire. Une analyse de la variance de l'interaction Variété * Nématode a été réalisée pour chaque paramètre étudié au champ et au laboratoire.

CHAPITRE 4

Chapitre 4 : Résultats et Discussions

1. Evolution de l'abondance des populations d' *Heterodera avenae* sur les trois variétés étudiées sur champ

Les nombres moyens de kystes néoformés est de l'ordre de 10; 10 et 17/100 g du sol respectivement pour les variétés Mohamed Ben Bachir, GTA/dur et Bousselam (tableau 14). Ces valeurs reflètent la réaction des trois variétés de blé dur vis-à-vis de la population d'*H. avenae* d'El Madher. La variété Bousselam apparaît la plus attractive des populations d'*H. avenae*, la densité moyenne des kystes chez la variété Bousselam est la plus élevée tout au long du cycle de développement de la plante. La densité maximale des kystes est notée chez la même variété avec 27 kystes/100g du sol formés à la fin du cycle. En plus, l'absence des kystes néoformés n'est notée que chez la variété Bousselam (0 kystes). Dans l'étude d'Ahmadi et Tanha Maafi (2009), menée dans la province de Khuzestan (Iran) sur la distribution d'*H. avenae,* les plus fortes densités et les plus faibles avec 0 kystes ont été enregistrées dans les mêmes sites. De très fortes densités initiales peuvent se traduire par des diminutions de populations à cause de la compétition entre les individus pour les sites nourriciers ou simplement à cause du mauvais état végétatif des plantes hôtes, voire de leur destruction (Rivoal et Cook, 1993).

La variété M.B. Bachir héberge le nombre de kystes le plus faible au début de la saison, soit : 4,6 kystes/100g du sol. Ceci pourrait être expliqué par l'éclosion échelonnée d'*H. avenae* au cours du cycle de la plante. Rivoal (1983), a en effet confirmé que la diapause obligatoire de la race méridionale (Fr 1) est levée à basse température, proche de 5 ^{0}C, seulement chez une fraction de l'effectif larvaire. D'autre part, ceci serait en relation avec le comportement variétal de la variété M.B. Bachir qui ne permet pas une multiplication du parasite qu'à la fin de son cycle de développement. L'étude de Hamroun (2006) a montré que la variété M.B. Bachir est un hôte médiocre d'une population d' *H. avenae* dans la région d'Oued Smar (Alger). En Algérie, la variation de la tolérance des variétés céréalières à l'encontre d'*H. avenae* peut être expliquée d'une part par la biologie du nématode (Smaha et *al*., 2009).

La variété GTA/dur héberge un nombre moyen de kystes d'*H. avenae* proche de celui hébergé par Bousselam au début de la saison, mais elle ne permet pas la multiplication du parasite à la fin du saison comme cette dernière (tableau 14). Namouchi-Kachouri et *al.* (2009), signalent que la densité finale des populations d' *H. avenae* est positivement corrélée

à la densité initiale pour le blé avec $R^2 = 0,81$ et $P \leq 0,001$. Cependant, Vanstone (2009) affirme que les céréales résistantes semées dans un champ infesté par les nématodes à kystes vont être attaquées en subissant les mêmes dommages que les variétés sensibles. Il ajoute que les variétés résistantes vont réagir par réduction du nombre de femelles mûries dans leurs racines à l'inverse des variétés sensibles qui vont produire un nombre plus important de femelles.

Les variétés résistantes d'une espèce normalement sensible attirent les nématodes par leurs exsudats racinaires puis les bloquer à l'intérieur par une réaction d'hypersensibilité (Muhe, 2012).

Tableau 14 : Densités de kystes minimales, maximales et moyennes d'*H. avenae* recensés sur les trois variétés du blé dur étudiées dans la région d'El Madher (5 répétitions)

Nombre de kystes /100g du sol	Variété	Min	Max	Moyenne	Ecart type
Février 2014	M.B. Bachir	1	7	4,6	1,85
	Bousselam	5	12	9	1,33
	GTA/dur	4	12	8	1,86
Juillet 2014	M.B. Bachir	9	17	12,6	3,3
	Bousselam	15	27	20,2	2,6
	GTA/dur	10	14	14,5	3,3
Kystes néoformés	M.B. Bachir	6	10	10	3,64
	Bousselam	0	20	17	2,57
	GTA/dur	1	10	10	3,64

1.1 Analyse de la variance des densités initiales (février) et finales (juillet) des kystes d' *H. avenae* et des kystes néoformés (différence)

L'analyse de la variation a révélé des différences significatives pour les trois variétés étudiées du blé dur (tableau 15). La variation du nombre de kystes initialement formé (en février), du nombre formé en juillet et du nombre des kystes néoformés est très hautement significative chez la variété Bousselam.

Alors que le nombre de kystes néoformés chez la variété M.B. Bachir ne représente aucune différence significative, la variation du nombre des kystes initialement formés en février et celui formé en juillet est hautement significative.

La variété GTA/dur ne montre aussi aucune variation significative concernant le nombre de kystes néoformés, mais elle révèle une variation significative pour le nombre de kystes initialement formé (en février) et le nombre de kystes formé en juillet.

Les différences significatives notées des nombres de kystes d'*H. avenae* démontrent l'instabilité de la capacité reproductive de la population d'El Madher. Selon Rivoal et Bourdon (2005), Le caractère hôte et le niveau de résistance varient incontestablement en fonction de la capacité reproductive intrinsèque de chaque pathotype d'*H. avenae*.

En outre, la variation statistique non significative du nombre de kystes néoformés chez les deux variétés M.B. Bachir et GTA/dur est probablement due à leur qualité constante d'hôte médiocre à l'égard du nématode *H. avenae.*

Tableau 15: Résultats de l'analyse de la variance des densités de kystes d'*H. avenae* initialement formés (février), formés en juillet et des kystes néoformés sur les trois variétés de blé dur étudiées dans la région d'El Madher

Source de variation		Nombre de kystes/100g du sol		
Df = 1		Février	juillet	Néoformés
M.B. Bachir	*F*	3,15	3,15	0,87
	P	0,0083**	0,0083**	0,39
Bousselam	*F*	11,37	9,5	4,43
	P	0,0008***	0,0008***	0,0009***
GTA/dur	*F*	2,12	1,86	1,26
	P	0,055*	0,087*	0,23

2. Paramètres morphologiques, biochimiques et agronomiques

2.1 Paramètres morphologiques

Pour l'expérimentation du laboratoire, nous n'avons pas pu effectuer les mesures et les dosages de tous les paramètres étudiés suite à la contamination que nous avons signalée dans le chapitre 3. Les paramètres morphologiques étudiés présentent une variation entre le témoin et les plantes infestées au laboratoire. De même, une variation est notée au sein des trois variétés étudiées dans l'essai du champ (Tableau 16).

Tableau 16 : Valeurs minimales, maximales et moyennes des paramètres morphologiques des variétés de blé dur étudiées au laboratoire (MBB : M.B.Bachir ; BOU : Bousselam ; GTA : GTA/dur ; t : témoin et i : plantes infestée) et sur champ dans la région d'El Madher

	Paramètres morphologiques	Variété	Min	Max	Moyenne	Ecart type
Laboratoire	Nombre de talles herbacées / Pied	MBBt	4,00	6,00	5,20	0,40
		MBBi	2,00	6,00	4,8	4,80
		BOUt	3,00	7,00	5,60	3,00
		BOUi	1,00	6,00	3,00	2,60
		GTAt	3,00	5,00	4,00	0,60
		GTAi	2,00	4,00	3,40	3,40
	Longueur des talles herbacées (cm)	MBBt	14,00	32,00	26,04	7,60
		MBBi	12,50	27,50	17,96	17,16
		BOUt	11,20	39,70	25,11	8,62
		BOUi	9,20	29,00	17,93	15,08
		GTAt	18,00	27,00	23,41	8,26
		GTAi	9,00	26,50	13,99	14,28
Champ	Nombre de talles herbacées / Pied	M.B.Bachir	3,00	6,00	4,80	- 1,20
		Bousselam	4,00	8,00	6,80	6,82
		GTA/dur	5,00	7,00	5,60	-1,20
	Longueur des talles (cm)	M.B.Bachir	39,80	49,90	44,88	1,74
		Bousselam	33,60	56,20	43,14	43,14
		GTA/dur	36,40	51,70	44,52	1,38
	Hauteur de la plante (cm)	M.B.Bachir	51,00	83,20	62,44	4,52
		Bousselam	45,90	74,60	57,89	21,87
		GTA/dur	39,60	80,00	59,76	1,87
	Surface de la dernière feuille (cm^2)	M.B.Bachir	11,30	38,10	21,18	1,11
		Bousselam	5,20	37,70	20,07	20,06
		GTA/dur	11,40	47,20	22,31	2,24

- **Nombre de talles herbacées par pied:**

Au laboratoire, quelle que soit la variété étudiée, le nombre de talles herbacées par pied est plus élevé chez les plants témoins par rapport à ceux inoculés (fig 14). Dès le stade 3 feuilles, nous avons observé les symptômes sur les jeunes plantules des 3 variétés testées au laboratoire. Elles sont chétives et ont une taille réduite comparativement aux témoins non infestés.

Les plants témoins de la variété Bousselam enregistrent le nombre maximum de talles avec 7 talles par pied ainsi que le nombre moyen le plus élevé avec 5,6 talles. Le nombre

minimum de talles avec une seule talle et le nombre moyen le plus faible avec 3 talles sont notés chez les plants infestés de la même variété.

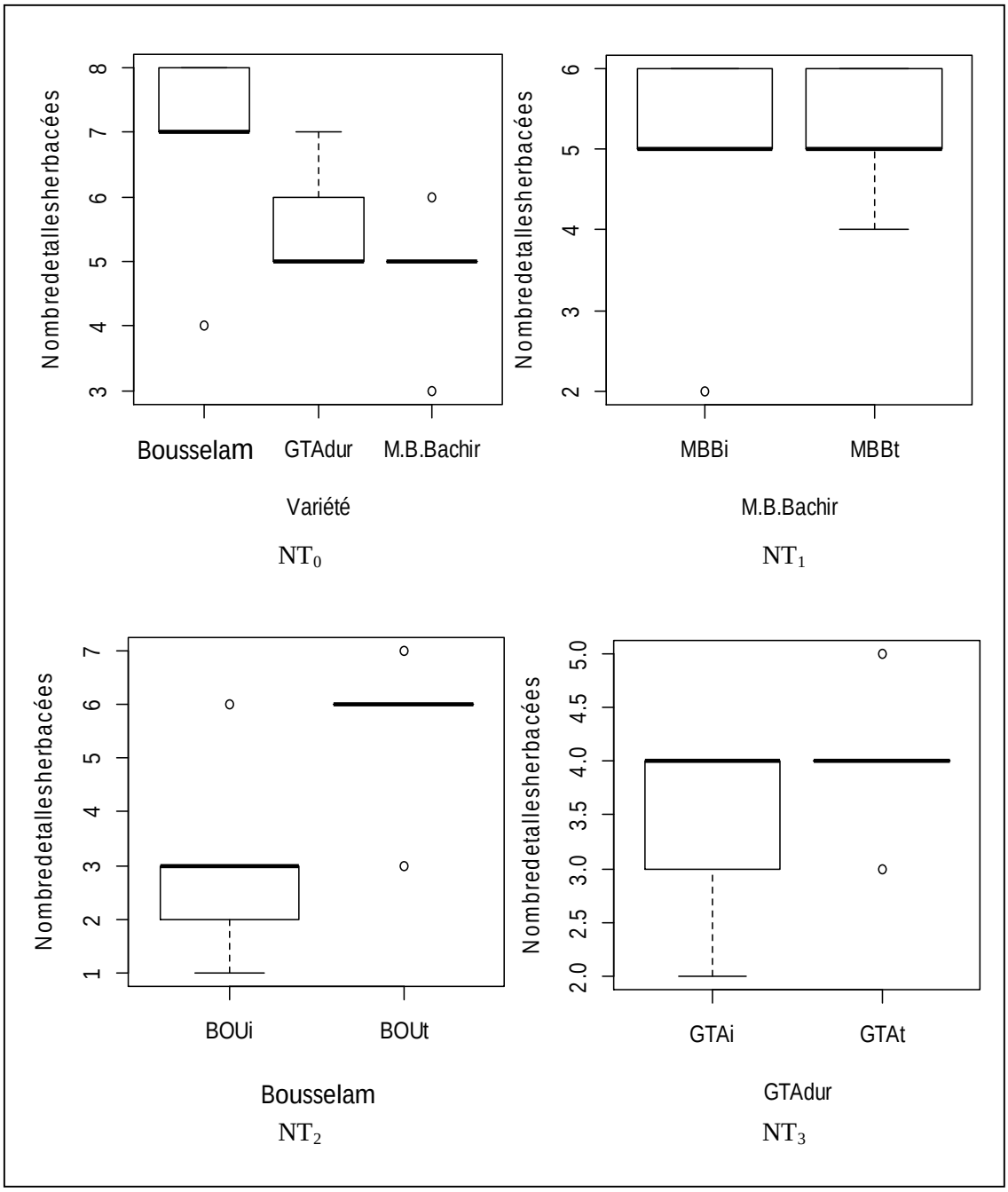


Fig 14 : Boites à moustaches représentant le nombre de talles herbacées par pied (NT) des trois variétés de blé dur cultivées dans le champ et au laboratoire – NT_0 : NT des variétés de champ, NT_1 : NT de la variété M.B.Bachir ; NT_2 : NT de la variété Bousselam ; NT_3 : NT de la variété GTA/dur. (t : témoin ; i : plantes infestées).

Tandis que, le nombre moyen de talles émises par les plants témoins de la variété M.B. Bachir est de l'ordre de 5,2 contre 4 talles seulement émises par la variété GTA/dur (Tableau 16). Les plantes infestées des autres variétés enregistrent des nombres de talles variant de 2 à 6 talles pour la variété M.B. Bachir et de 2 à 4 pour la variété GTA/dur.

Dans le champ, c'est toujours la variété Bousselam qui présente le nombre de talles herbacées maximum et moyen les plus élevés, soient respectivement : 8 et 6,8 talles. Par contre, la variété M.B. Bachir présente les valeurs les plus faibles avec respectivement un minimum, maximum et moyenne de 3 ; 6 et 4,8 talles herbacées par pied. Tandis que, le nombre de talles herbacées de la variété GTA/dur est compris entre 5 et 7 talles par pied avec une moyenne de 5,6 talles par pied.

- **Longueur des talles**

Au laboratoire, les trois variétés infestées présentent toujours des valeurs inférieures à celles de leurs témoins (fig 15). Les plants témoins de la variété Bousselam présentent la longueur de talles maximale la plus élevée (39,7 cm) contre les plants infestés de la même variété et de la variété GTA/dur qui présentent les valeurs minimales les plus faibles avec respectivement des longueurs de 9,2 et 9 cm (Tableau 16).

Tandis que, la longueur moyenne des talles la plus élevée est celle des plants témoins de M.B. Bachir avec 26,04 cm contre les témoins de Bousselam avec 25,11 cm et les témoins de GTA/dur avec 23,41 cm.

Dans le champ, c'est toujours la variété Bousselam qui présente la longueur des talles la plus élevée ainsi que la plus faible avec respectivement 56,2 et 33,6 cm. Tandis que, la longueur moyenne la plus élevée est celle de M.B. Bachir avec 44,88 cm, suivie par GTA/dur avec 44,88 cm et Bousselam avec 43,14 cm.

- **Hauteur de la plante**

Les résultats obtenus de l'essai du champ montrent que la hauteur de la plante varie d'une variété à l'autre (Tableau 16 et fig 16). La variété M.B Bachir est la variété présentant la hauteur la plus élevée avec une hauteur maximale de 83,2 cm et une moyenne de 62,44 cm. Cependant, les variétés GTA/dur et Bousselam ont une taille plus réduite avec respectivement des moyennes de 59,66 et 57,89 cm. La variété GTA/dur enregistre la hauteur la plus réduite avec 39,6 cm.

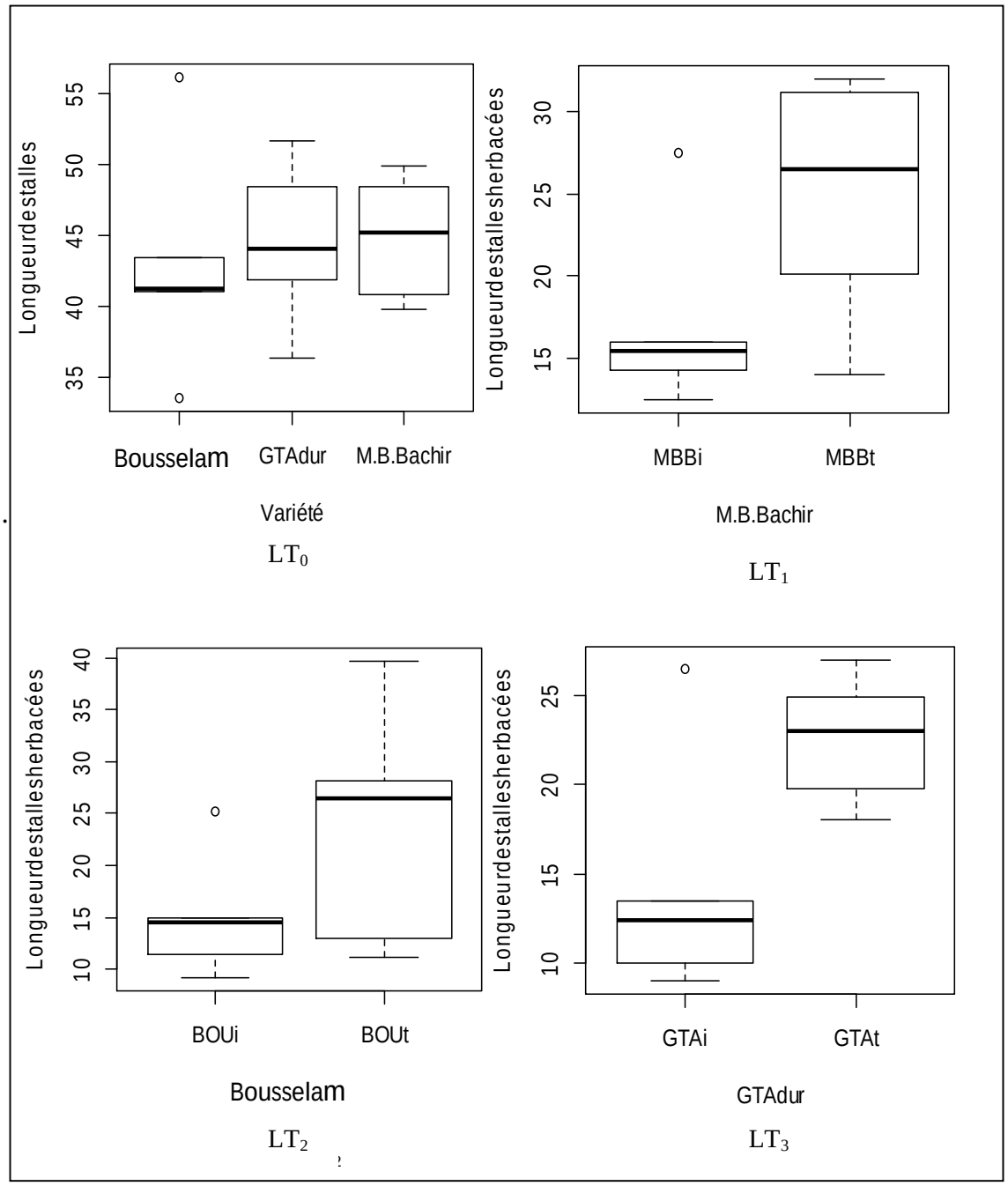


Fig 15 : Boites à moustaches représentant la longueur des talles herbacées (LT) des trois variétés de blé dur cultivées dans le champ et au laboratoire – LT_0 : LT des variétés de champ, LT_1 : LT de la variété M.B.Bachir ; LT_2 : LT de la variété Bousselam ; LT_3 : LT de la variété GTA/dur. (t : témoin ; i : plantes infestées).

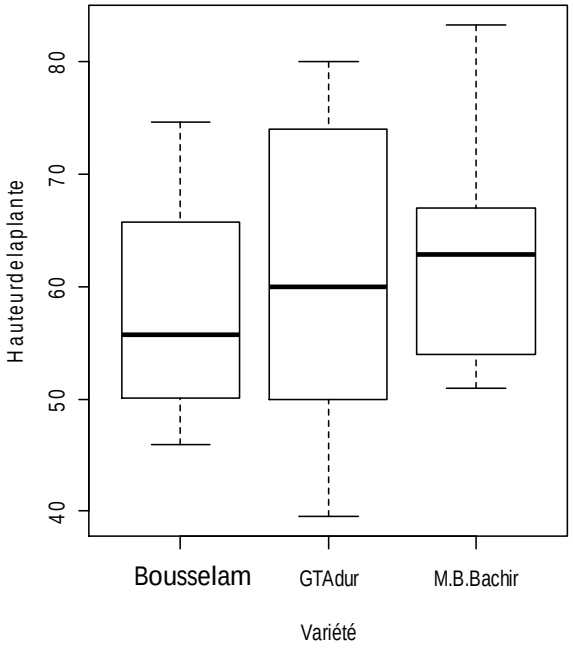


Fig 16 : Boites à moustaches représentant la hauteur de la plante des trois variétés de blé dur cultivées dans le champ.

- **Surface de la dernière feuille**

Dans le champ, les valeurs de la surface de la dernière feuille les plus importantes sont signalées chez la variété GTA/dur avec un maximum de 47,2 cm^2 et un moyen de 22,31cm^2. La variété Bousselam a la surface la plus réduite avec 5,2 cm^2comme valeur minimale et 20,07 cm^2 comme valeur moyenne.

Tandis que, la variété M.B. Bachir vient en deuxième position avec une valeur moyenne de 21,18 cm^2 (tableau 16 et fig 17).

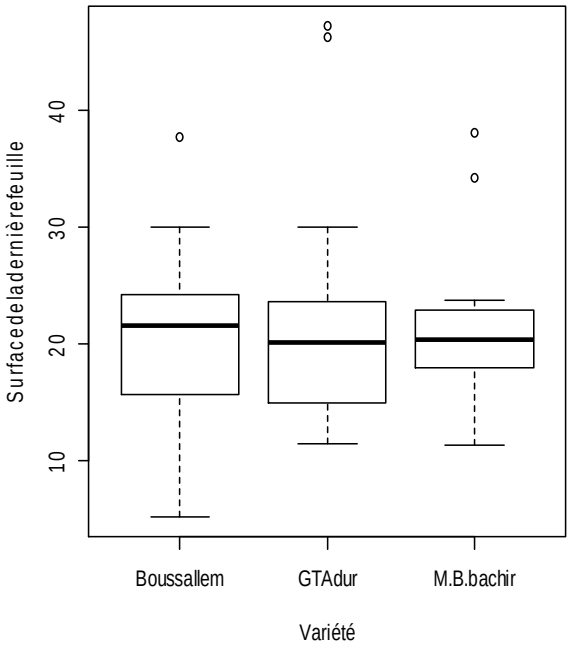


Fig 17 : Boites à moustaches représentant la surface de la dernière feuille des trois variétés de blé dur cultivées dans le champ.

2.1.1 Analyse de la variance appliquée aux paramètres morphologiques

- **Nombre de talles herbacées par pied**

La variation du nombre de talles herbacées mesuré au champ ne représente aucune valeur significative pour les trois variétés. Au laboratoire, la variété GTA/dur révèle une différence très hautement significative entre les témoins et les plantes infestées (0,0003***). Les deux autres variétés montrent à leur tour une différence significative entre les plantes infestées et non infestées (Tableau17).

- **Longueur des talles herbacées**

Les variétés cultivées au champ ne montrent aucune différence significative concernant les valeurs moyennes de la longueur des talles.

Tandis qu'au laboratoire, la variété GTA/dur révèle une différence très hautement significative entre les plants témoins et infestés pour ce paramètre. La variété M.B. Bachir révèle aussi une différence significative entre les plants témoins et infestés (Tableau 17).

Tableau 17 : Analyse de la variance appliquée aux paramètres morphologiques mesurés au laboratoire (MBB : M.B. Bachir ; BOU : Bousselam ; GTA : GTA/dur ; t:témoin,i :infestée) et sur champ des variétés de blé dur.

Source de variation		Champ	Laboratoire		
		Intre variétés	MBBt*MBBi	BOUt*BOUi	GTAt*GTAi
Df		2	1	1	1
Nombe de talles herbacées / pied	*F*	0,04	2,12	1,19	4,5
	P	0,95	0,09*	0,01*	0,0003***
longueur des talles (cm)	*F*	0,1	6,6	2,77	13,4
	P	0,9	0,024*	0,12	0,0032***

- **Hauteur de la plante**

Les hauteurs de la plante mesurées au champ présentent des variations très hautement significatives chez les variétés Bousselam et GTA/dur avec *P* = 0,00016*** (Tableau 18).

Cependant, la variété M.B. Bachir ne présente aucune variation significative concernant ce paramètre morphologique.

- **Surface de la dernière feuille**

La variété Bousselam cultivée au champ montre une différence très hautement significative dans la variation de la surface foliaire de la dernière feuille (0,00012***). Les deux autres variétés ne montrent aucune variation significative concernant cette dernière (Tableau 18).

Tableau 18 : Analyse de la variance appliquée aux paramètres mesurés sur le champ pour les trois variétés de blé dur étudiées dans la région d'El Madher

Paramètre	Source de variation	M.B.Bachir	Bousselam	GTA/dur
	Df	1	1	1
Hauteur de la plante (cm)	*F*	1,13	20,38	0,46
	P	0,26	0,00016***	0,00016***
Surface de la dernière feuille	*F*	0,36	7,38	0,72
	P	0,72	0,00012***	0,47

2.2 Paramètres biochimiques

Les valeurs de dosage des différents paramètres biochimiques étudiés sont rapportées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 19 : Valeurs minimales, maximales et moyennes des paramètres biochimiques dosés chez les trois variétés de blé dur cultivées au champ au cours des différents stades de leur développement.

Parammètre	Stade	Variété	Min	Max	Moyenne	Ecart type
Chlorophylles µg/ml	Epiaison	M.B.Bachir	17,02	35,54	28,00	7,74
		Bousselam	5,03	35,26	20,46	20,45
		GTA/dur	29,72	37,45	34,50	14,04
	Floraison	M.B.Bachir	0,62	30,38	18,99	-2,85
		Bousselam	6,98	27,42	21,14	21,13
		GTA/dur	22,02	33,79	28,57	7,43
	Remplissage des grains	M.B.Bachir	15,49	22,98	18,88	-3,56
		Bousselam	10,35	31,94	22,45	22,45
		GTA/dur	6,45	11,61	9,83	-12.62
Sucres solubles mg/100 mg	Epiaison	M.B.Bachir	2,55	11,69	7,35	0,80
		Bousselam	4,89	9,53	6,54	8,54
		GTA/dur	2,55	18,70	8,88	2,33
	Floraison	M.B.Bachir	9,78	14,88	12,03	1,55
		Bousselam	8,50	17,21	11,86	11,09
		GTA/dur	8,93	10,84	9,60	1,65
	Remplissage des grains	M.B.Bachir	14,24	18,06	16,28	-1,40
		Bousselam	15,94	21,25	17,68	17,68
		GTA/dur	16,79	20,40	18,17	0,48
Proline µg/100mg	Epiaison	M.B.Bachir	3,43	11,76	8,33	8,17
		Bousselam	0,04	0,24	0,15	0,15
		GTA/dur	0,06	0,25	0,16	0,02
	Floraison	M.B.Bachir	3,92	29,41	13,04	3,61
		Bousselam	5,39	13,24	9,41	9,40
		GTA/dur	1,74	8,33	4,09	-5,38
	Remplissage des grains	M.B.Bachir	16,67	30,88	24,12	2,05
		Bousselam	17,16	27,45	22,06	22,06
		GTA/dur	8,33	20,59	12,25	-9,80

- **Chlorophylles**

Les résultats obtenus montrent que les teneurs moyens en chlorophylle totale (a + b) varient d'une variété à une autre durant les trois stades de leur développement. Avec une teneur moyenne de 34,50 µg/ml à l'épiaison et une teneur moyenne de 9,83 µg/ml au remplissage des grains, la variété GTA/dur enregistre les taux de chlorophylles moyens les plus élevés et les plus bas.

C'est toujours la variété GTA/dur qui renferme la teneur moyenne la plus élevée des trois stades en chlorophylles avec 24,3 µg/ml contre une moyenne de 21,95 µg/ml enregistrée chez la variété M.B. Bachir et une moyenne de 21,35 µg/ml enregistrée chez la variété Bousselam. C'est aussi la variété qui enregistre le taux maximum des chlorophylles au stade épiaison avec 37,45 µg/ml.

Tandis que, c'est la variété M.B. Bachir qui enregistre la teneur minimale en chlorophylles au stade floraison avec 0,62 µg/ml. Il faut noter que les teneurs moyennes en chlorophylle totale diminuent progressivement de l'épiaison jusqu'au remplissage des grains chez les deux variétés M.B. Bachir et GTA/dur. Tandis que, ces teneurs ont une tendance à s'augmenter au cours des trois stades chez la variété Bousselam (Tableau 19 et fig 18).

- **Sucres solubles**

L'ensemble des variétés étudiées présentent des taux de sucres solubles très variables d'un stade à l'autre (Tableau 19 et fig 19).

La variété GTA/dur contient le taux moyen des sucres des trois stades le plus élevé avec 12,21 mg/100 mg de matière fraîche. Le taux moyen le plus élevé est enregistré par la même variété avec 18,17 mg/100 mg de matière fraîche au stade remplissage des grains. Alors que, le taux maximum avec 21,25 mg/100 mg est enregistré chez la variété Bousselam au stade remplissage des grains et le taux minimum est enregistré par les deux variétés M.B. Bachir et GTA/dur avec 2,55 mg/100 mg de matière fraîche à l'épiaison.

Le taux moyen des sucres a une tendance générale à s'augmenter pour atteindre son maximum lors du remplissage des grains chez les trois variétés étudiées.

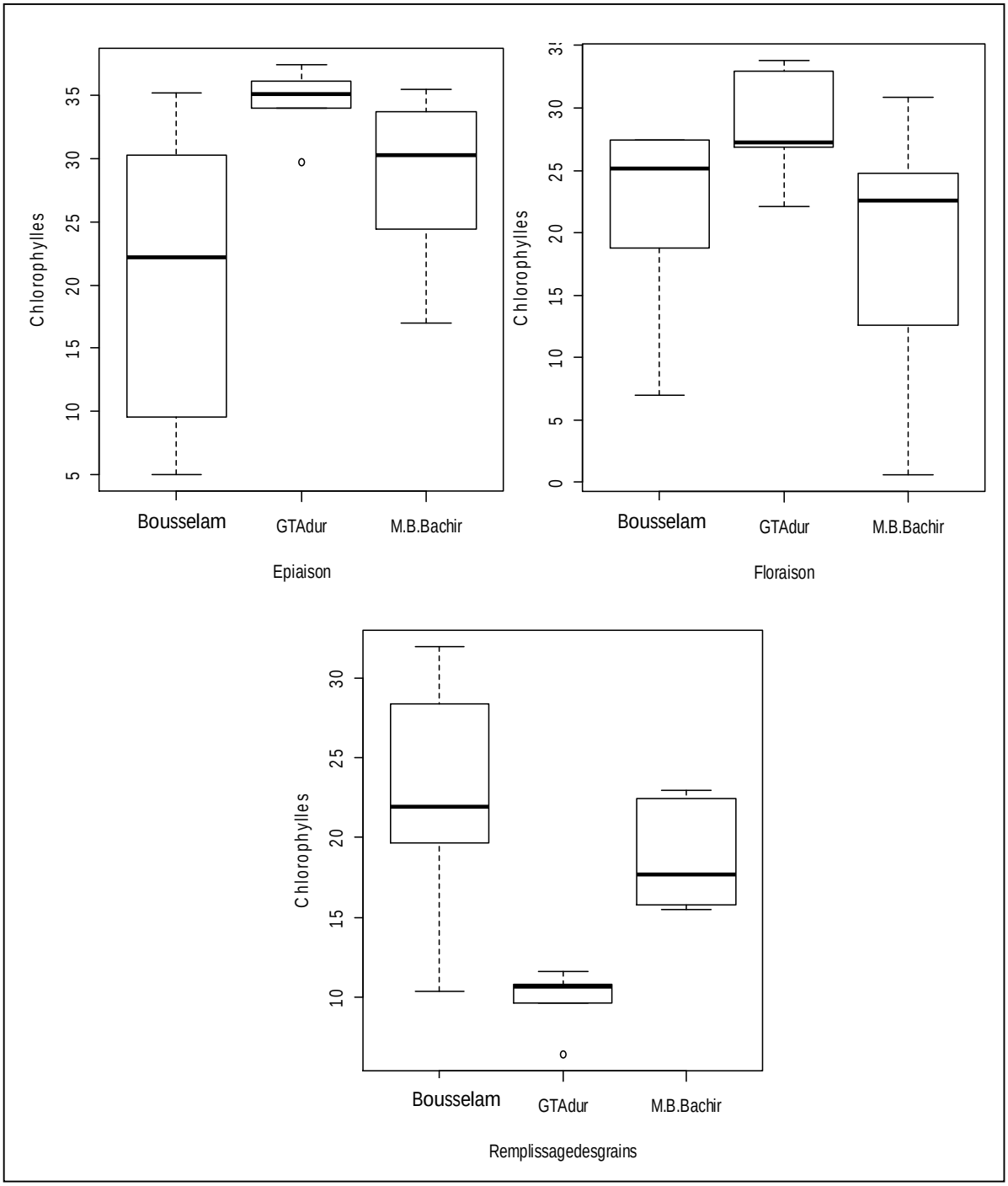


Fig 18 : Boites à moustaches représentant les taux de la chlorophylle totale (a+b) des trois variétés de blé dur cultivées dans le champ, dosés à différents stades de leur développement.

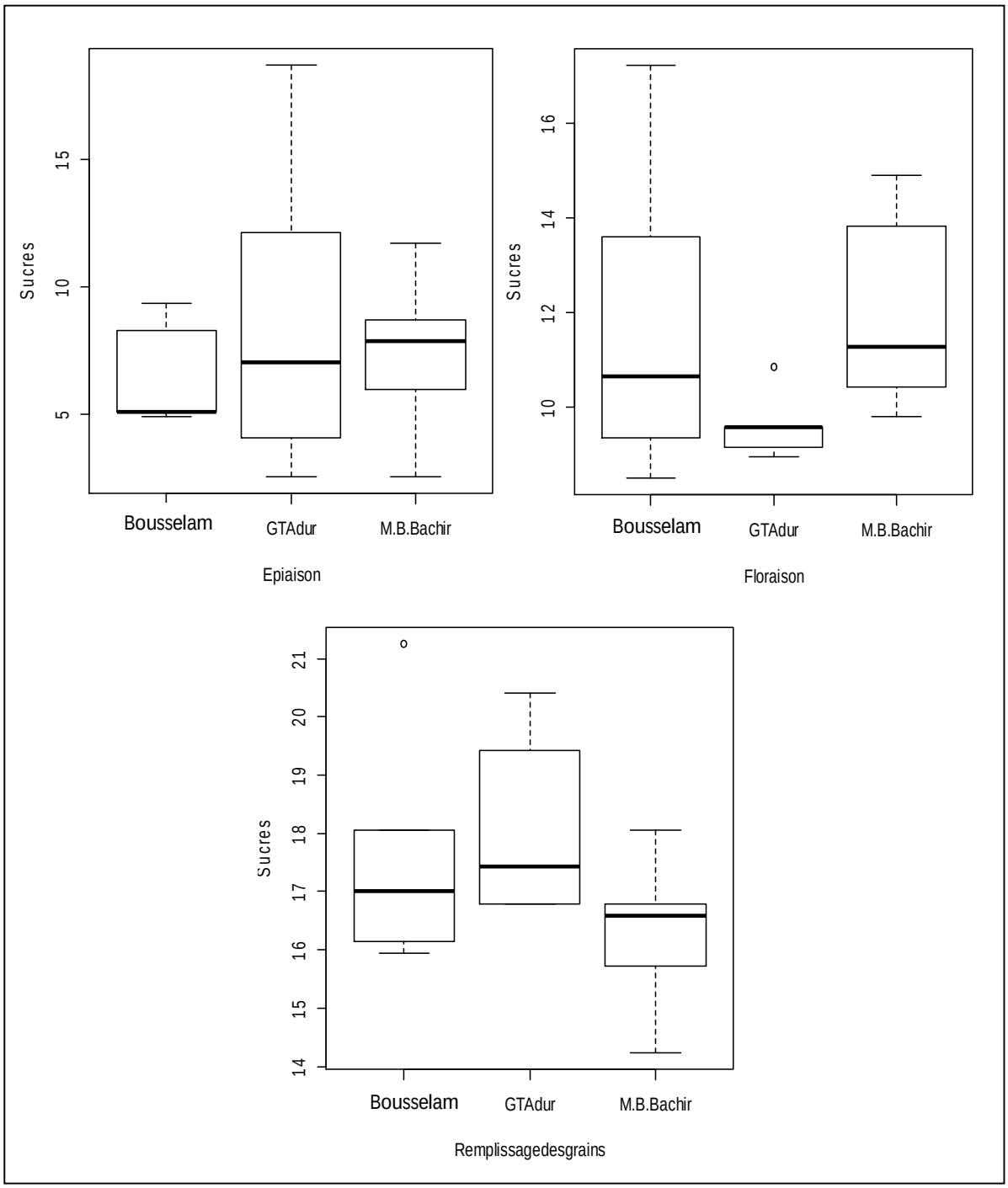


Fig 19: Boites à moustaches représentant les teneurs en sucres solubles des trois variétés de blé dur cultivées dans le champ, dosés à différents stades de leur développement.

- **Proline**

Les valeurs du dosage de la proline varient d'une variété à l'autre et montrent que la proline a une tendance générale à s'augmenter de l'épiaison jusqu' au stade remplissage des grains chez les trois variétés étudiées.

C'est la variété M.B. Bachir qui enregistre les valeurs maximales et moyennes les plus élevées durant les trois stades avec respectivement (11,76 et 8,33 µg/100mg) ; (29,41 et 13,04 µg/100mg) et (30,88 et 24,12 µg/100mg) à l'épiaison, floraison et remplissage des grains. La variété Bousselam accumule le taux le plus faible avec 0,04 µg/100mg au stade épiaison (Tableau 19 et Fig 20).

2.2.1 Analyse de la variance des différents paramètres biochimiques

Les résultats de l'analyse de la variance des différents paramètres biochimiques des trois variétés de blé dur étudiées sur champ dans la région d'El Madher sont répertoriés dans le tableau 20.

- **Chlorophylles**

L'analyse statistique de la teneur des trois variétés de blé dur en chlorophylles révèle des différences très hautement significatives chez la variété Bousselam (0,00024***, 0,00015*** et 0,0007***) durant ses trois stades de développement.

La variété GTA/dur enregistre également une variation des valeurs de sa teneur en chlorophylles significative à l'épiaison et hautement significative au remplissage des grains avec respectivement : 0,027* et 0,0029** (tableau 20).

- **Sucres solubles**

L'ANOVA appliquée aux taux de sucres révèle des variations très hautement significatives chez la variété Bousselam durant les trois stades de développement comparativement à M.B. Bachir et GTA/dur qui ne présentent aucune variation significative concernant leur taux en sucres (tableau 20)

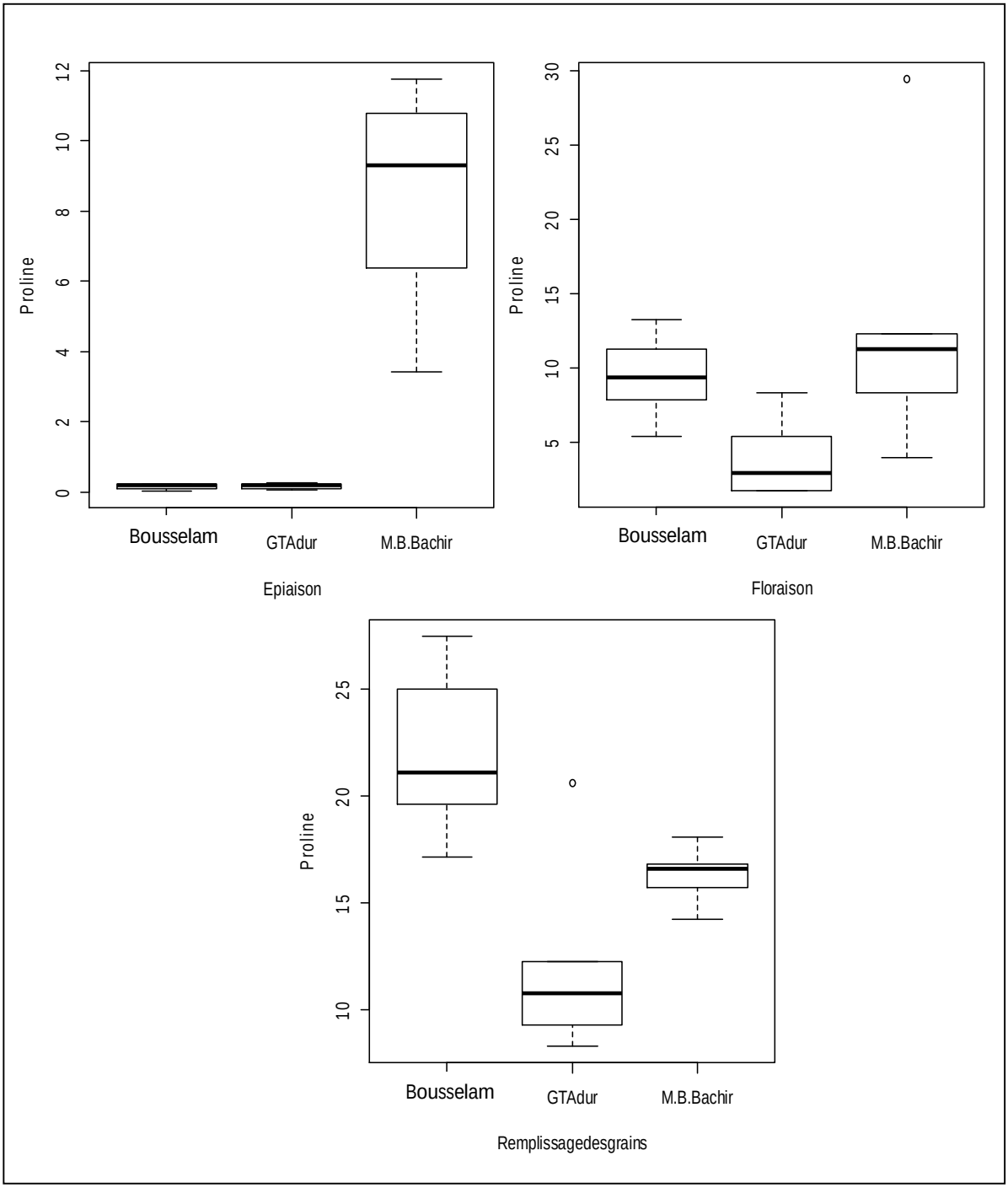


Fig 20 : Boites à moustaches représentant les taux de proline des trois variétés de blé dur cultivées dans le champ, dosés à différents stades de leur développement

Tableau 20: Analyse de la variance appliquée aux paramètres biochimiques des trois variétés au cours des différents stades de leur développement.

Paramètre	Stade	Source de variation	M.B. Bachir	Bousselam	GTA/dur
		Df	1	1	1
Chlorophylles	Epiaison	*F*	1,34	5,15	2,50
		P	0,20	0,00024***	0,027*
	Floraison	*F*	0,38	5,41	1,34
		P	0,70	0,00015***	0,20
	Remplissage des grains	*F*	3,40	7,55	3,40
		P	0,31	0,0007***	0,00029***
Sucres solubles	Epiaison	*F*	0,28	3,28	0,83
		P	0,77	0,00647**	1,42
	Floraison	*F*	0,10	10,78	1,44
		P	0,91	0,0007***	0,17
	Remplissage des grains	*F*	1,25	3,85	0,43
		P	0,23	0,00011***	0,67
Proline	Epiaison	*F*	6,55	0,17	0,01*
		P	0,0005***	0,86	0,99
	Floraison	*F*	0,94	3,45	1,39
		P	0,36	0,0047**	0,18
	Remplissage des grains	*F*	0,62	6,52	2,97
		P	0,54	0,0007***	0,011*

- **Proline**

L'analyse statistique montre que la variation des teneurs en proline accumulée est très hautement significative à l'épiaison chez la variété M.B. Bachir et au remplissage des grains chez la variété Bousselam. Une variation hautement significative est également enregistrée chez la variété Bousselam au stade floraison avec *P= 0*,0047**.

En outre, la variété GTA/dur révèle une variation significative des valeurs de ses teneurs en proline à l'épiaison et au remplissage des grains avec respectivement *P*= 0,01* et 0,011* (Tableau 20).

2.3 Paramètres agronomiques

Les valeurs minimales, maximales et moyennes des paramètres agronomiques mesurés sur champ pour les trois variétés de blé dur étudiées sont présentées dans le tableau 21.

Tableau 21: Valeurs minimales, maximales et moyennes des paramètres agronomiques mesurés au champ des trois variétés de blé dur dans la région d'El Madher

Paramètres agronomiques	Variété	Min	Max	Moyenne	Ecart type
Nombre d'épillets/épi	M.B. Bachir	10	22	15,36	1,71
	Bousselam	4	21	13,64	13,64
	GTA/dur	7	19	13,07	-0,57
Nombre de grains/épi	M.B. Bachir	1	19	12,5	2,66
	Bousselam	1	10	5,73	5,73
	GTA/dur	1	11	4,33	-1,43
Taux de fertilité (%)	M.B. Bachir	25	73,33	53,32	0,18
	Bousselam	33,92	82,5	53,13	53,13
	GTA/dur	18,36	59,25	36,81	-16,32
Nombre d'épis/m2	M.B. Bachir	160	216	186,4	-17,6
	Bousselam	100	320	204	47
	GTA/dur	120	252	186,4	-17,6
Poids de mille grains (g)	M.B. Bachir	30,01	44,22	33,46	00,07
	Bousselam	27,02	41,20	32,67	32,66
	GTA/dur	29,45	38,17	32,83	00,16
Rendement (qx/ha)	M.B. Bachir	04,24	07,43	05,13	01,56
	Bousselam	01,32	05,54	03,57	03,57
	GTA/dur	01,37	03,13	02,49	-01,08

- **Nombre d'épillets par épi**

C'est la variété M.B. Bachir qui produit les nombre minimum, maximum et moyen d'épillets par épi les plus élevés avec respectivement 10 ; 22 et 15,36 épillets par épi. Le minimum est 4 épillets produits par la variété Bousselam qui enregistre en moyenne 13,64 épillets.

Par contre, la variété GTA/dur est la variété qui produit le nombre moyen le plus faible d'épillets par épi avec 13,07 (Tableau 21 et fig 21).

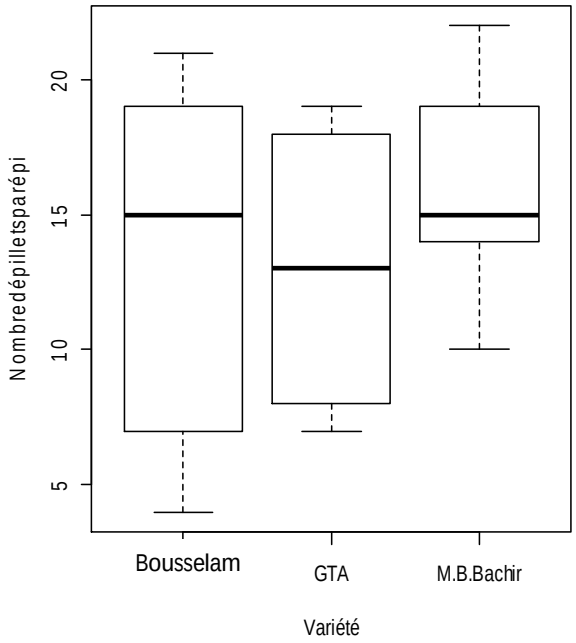


Fig 21 : Boites à moustaches représentant le nombre d'épillets par épi des trois variétés de blé dur cultivées dans le champ.

- **Nombre d'épis par mètre carré**

La variété Bousselam enregistre le nombre d'épis /m^2 maximum et moyen les plus élevés, soient respectivement : 320 et 204 épis. C'est toujours la variété Bousselam qui enregistre le nombre minimum d'épis avec 100 épis /m^2.

Les deux autres variétés M.B. Bachir et GTA/dur enregistrent la même valeur moyenne d'épis / m^2 soit : 186,4 épis (Tableau 21 et fig 22).

- **Nombre de grains par épi**

La variété M.B. Bachir est la variété qui présente le nombre moyen et maximum les plus élevés des grains par épi avec respectivement : 12,5 et 19 grains. La variété GTA/dur vient en dernier rang avec une moyenne de 4,33 grains/épi. Tandis que la variété Bousselam, qui a une moyenne de 5,73 grains, enregistre le nombre maximum de grains par épi le plus faible avec 10 grains.

Toutefois, il faut noter que les trois variétés ont le même nombre minimum de grains avec une seule graine par épi (tableau 21 et fig 23).

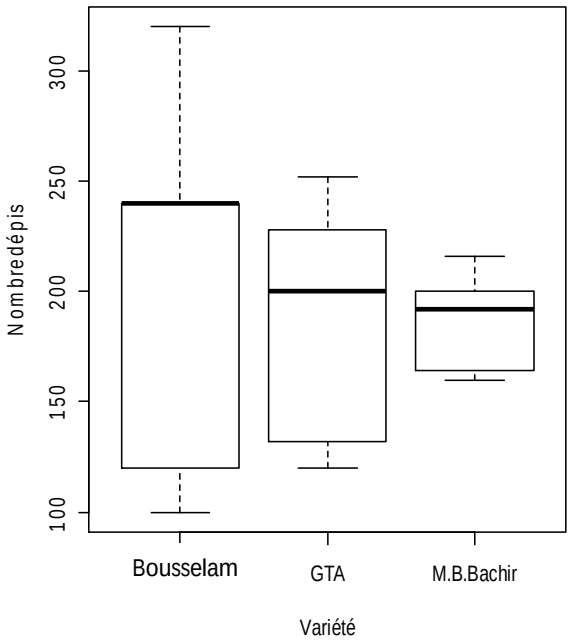


Fig 22: Boites à moustaches représentant le nombre d'épis / m^2 des trois variétés de blé dur cultivées dans le champ.

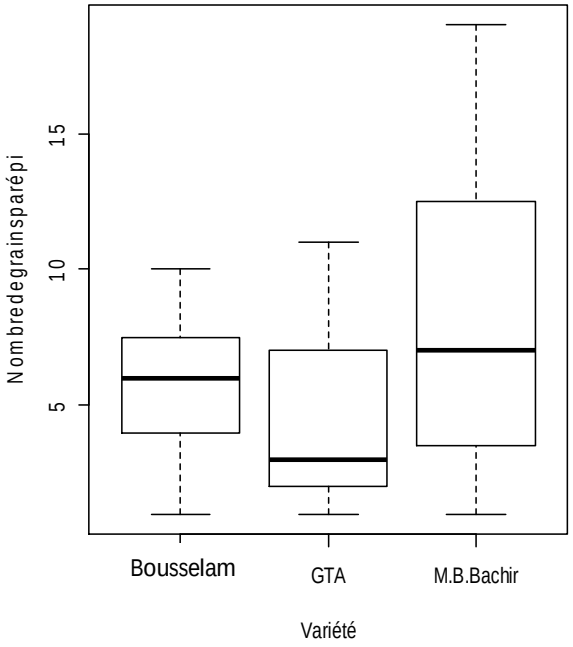


Fig 23: Boites à moustaches représentant le nombre de grains / épi des trois variétés de blé dur cultivées dans le champ.

- **Taux de fertilité de l'épi**

Le taux de fertilité de l'épi varie d'un minimum de 18,25 % observé chez la variété GTA/dur à un maximum de 82,50 % observé chez la variété Bousselam.

C'est la variété M.B. Bachir qui enregistre le taux moyen le plus élevé avec 53,32 % d'épillets fertiles. Tandis que, la variété GTA/dur enregistre le taux moyen le plus faible avec 36,81 % (Tableau 21 et Fig 24).

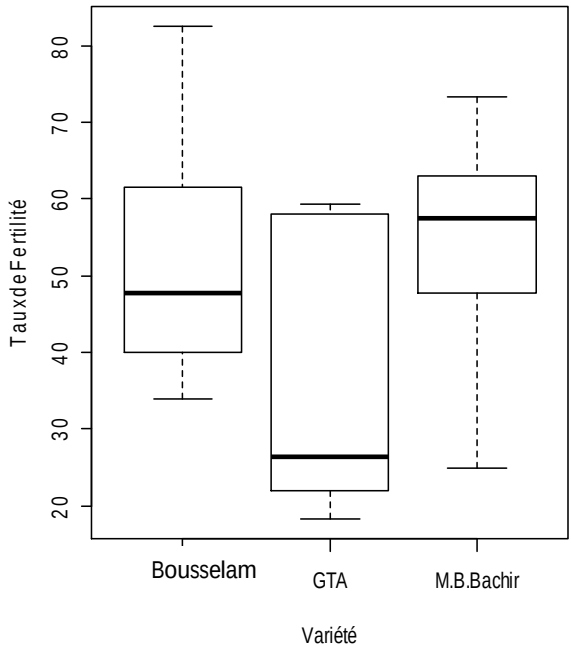


Fig 24: Boites à moustaches représentant le taux de fertilité de l'épi des trois variétés de blé dur cultivées dans le champ.

- **Poids de mille grains**

La variété M.B. Bachir présente le poids moyen et maximum de mille grains les plus élevés, avec respectivement 33,46 et 44,22 g. Et c'est la variété Bousselam qui présente le poids moyen et minimum les plus faibles, avec respectivement 27,02 et 32,67 g.

La variété GTA/dur enregistre un poids moyen légèrement plus élevé que celui de la variété Bousselam avec 32,83g (Tableau 21 et fig 25).

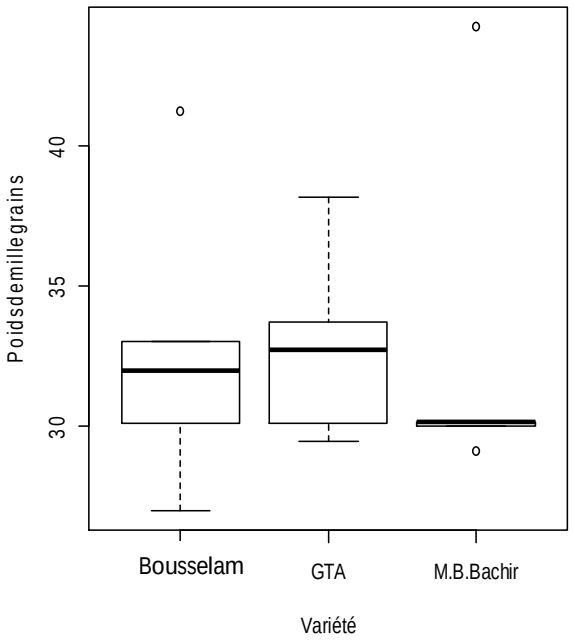


Fig 25: Boites à moustaches représentant le poids de mille grains des trois variétés de blé dur cultivées dans le champ

- **Rendement**

La variété M.B. Bachir produit le rendement minimum, moyen et maximum les plus notables, avec respectivement : 4,24 ; 7,43 et 5,13 qx/ha. Vient ensuite la variété Bousselam avec un rendement maximum de 5,54 qx/ha et un rendement moyen de 3,57 qx/ ha.

La variété GTA/dur produit un rendement maximum de 3,13 qx/ha et le rendement moyen le plus faible avec 2,49 qx/ha.

C'est la variété Bousselam qui enregistre la valeur minimale la plus faible avec seulement 1,32 qx/ha (Tableau 21 et fig 26).

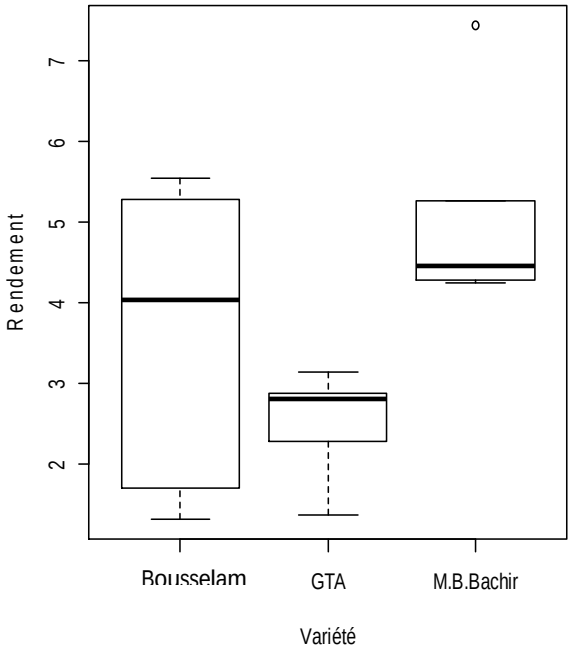


Fig 26: Boites à moustaches représentant le rendement (qx /ha) des trois variétés de blé dur cultivées dans le champ.

2.3.1 Analyse de la variance appliquée aux paramètres agronomiques

Les résultats de l'analyse de la variance appliquée aux différents paramètres agronomiques sont répertoriés dans le tableau 22.

- **Nombre d'épillets par épi**

Alors que, la variété Bousselam présente une variation de son nombre d'épillets par épi très hautement significative (0,00012) ***, les deux autres variétés GTA/dur et M.B Bachir ne présentent aucune variation significative concernant ce paramètre (Tableau 22).

- **Nombre d'épis par mètre carré**

L'analyse de la variance appliquée au nombre d'épis par unité de surface révèle une variation très hautement significative chez la variété Bousselam. Cette variation n'est pas significative chez les variétés M.B. Bachir et GTA/dur (tableau 22).

- **Nombre de grains par épi**

L'analyse statistique de la variation du nombre de grains par épi révèle une différence très hautement significative chez la variété Bousselam, avec *P*= 0,0006*** et une différence significative chez la variété M.B. Bachir avec *P*= 0,05*.

Tandis que, la variété GTA/dur ne présente aucune variation significative pour le nombre de grains par épi (tableau 22).

Tableau 22: Analyse de la variance des paramètres agronomiques des trois variétés de blé dur étudiées dans la région d'El Madher.

Paramètre	Source de variation	M.B.Bachir	Bousselam	GTA/dur
	Df	1	1	1
Nombre d'épillets / épi	*F*	0,9	1,34	- 0,30
	P	0,36	0,00012***	0,76
Taux de fertilité	*F*	10,03	34,72	25,35
	P	0,013*	0,00036***	0,0009***
Nombre d'épis par m^2	*F*	- 0,43	7,08	- 0,43
	P	0,67	0,0005***	0,67
Nombre de grains/épi	*F*	1,76	3,25	- 0,92
	P	0,05*	0,0006***	0,36
Poids de mille grains	*F*	0,05	14,02	0,022
	P	0,98	0,0009***	0,96
Rendement	*F*	1,71	5,56	- 1,19
	P	0,11	0,00012***	0,26

- **Taux de fertilité de l'épi**

Le taux de fertilité de l'épi présente des variations très hautement significatives chez les deux variétés Bousselam et GTA/dur. La variété M.B. Bachir présente aussi une variation significative concernant son taux de fertilité des épis.

- **Poids de mille grains**

La variété Bousselam montre une variation très hautement significative pour le poids de mille grains avec *P* = 0,0003***. Les variétés GTA/dur et M.B. Bachir ne montrent pas des variations significatives pour le paramètre du poids de mille grains (tableau 22).

- **Rendement**

C'est la variété Bousselam qui révèle une variation très hautement significative pour les rendements au champ avec *P*=0,00012***. Tandis que, les deux autres variétés M.B. Bachir et GTA/dur ne montre aucune variation significative pour ce paramètre agronomique (tableau 22).

3. Incidence *d'H.avenae* sur les variétés de blé dur étudiées au laboratoire

L'analyse de la variance de l'interaction *H. avenae* * Variété pour les deux paramètres morphologiques étudiés au laboratoire révèlent des valeurs statistiques hautement significatives notées chez la variété Bousselam pour les deux paramètres : nombre de talles herbacées par pied et longueur des talles herbacées, avec respectivement *P* = 0,00013*** et 0,0009***. Une valeur statistique très hautement significative (*P*=0,0006***) est notée aussi chez la variété GTA/dur concernant le nombre de talles (tableau 23).

Tandis que, l'analyse de la variance de l'interaction Nématode * variété M.B. Bachir ne montre aucune valeur significative pour les deux paramètres étudiés au laboratoire.

Tableau 23 : Analyse de la variance de l'interaction Variété * Nombre de kystes inoculés d'*H. avenae* appliquée pour les deux paramètres morphologiques mesurés au laboratoire.

Source de variation		*H. avenae**M.B. Bachir	*H. avenae**Bousselam	*H.avenae* * GTA/dur
Df		1	1	1
Nombre de talles herbacées/pied	*F*	1,00	1,50	7,70
	P	0,35	0,00013***	0,06**
Longueur des talles	*F*	0,50	3,60	0,40
	P	0,65	0,0009***	0,72

4. Incidence d'*H.avenae* sur les variétés de blé dur étudiées sur champ

L'analyse de la variance de l'interaction entre les densités finales d'*H.avenae* et les variétés étudiées sur champ montre :

- Une valeur statistique significative *P*=0,08* est observée chez la variété Bousselam pour l'interaction entre les densités initiales d'*H. avenae* et le nombre de talles herbacées. Aucune valeur significative n'est notée chez les trois variétés de blé dur étudiées concernant l'interaction entre le nématode et les autres paramètres morphologiques mesurés au champ (tableau 24).

Tableau 24 : Analyse de la variance de l'interaction Variété* Densités initiales des kystes d'*H. avenae* appliquée pour les paramètres morphologiques, biochimiques et agronomiques mesurés au champ.

Source de variation		*H. avenae**M.B. Bachir	*H. avenae**Bousselam	*H.avenae* * GTA/dur
Df		1	1	1
Nombre de talles herbacées/pied	*F*	0,39	6,64	2,32
	P	0,57	0,08*	0,22
Longueur des talles	*F*	0,01	4,14	0,08
	P	0,92	0,13	0,79
Hauteur de la plante	*F*	1,11	1,62	4,14
	P	0,36	0,29	0,13
Surface de la dernière feuille	*F*	5,40	0,34	0,73
	P	0,10	0,60	0,45
Chlorophylles	*F*	1,60	0,90	0,71
	P	0,42	0,02*	0,23
Sucres	*F*	0,13	0,07	0,09
	P	0,77	0,83	0,81
Proline	*F*	0,93	0,87	0,35
	P	0,009**	0,037*	0,65
Nombre d'épillets/épi	*F*	0,00	1,64	0,045
	P	1,00	0,0007***	0,84
Nombre de grains /épi	*F*	0,01	0,49	1,31
	P	0,91	0,53	0,33
Taux de fertilité	*F*	10,03	34,72	25,34
	P	0,013*	0,00036***	0,0009***
Nombre d'épis /m^2	*F*	3,10	6,65	3,83
	P	0,17	0,08*	0,14
Poids de mille grains	*F*	1,57	0,54	17,46
	P	0,29	0,00093***	0,51
Rendement	*F*	5,22	13,51	0,20
	P	0,10	0,034*	0,68

- Une valeur statistique *P*= 0,02* significative est notée pour l'interaction *H. avenae* * Bousselam concernant la teneur de la variété en chlorophylles. L'interaction *H. avenae* * Proline montre une valeur statistique hautement significative chez la variété M.B. Bachir (*P*= 0,009**) et une valeur statistique significative chez la variété GTA/dur avec *P*=0,037* (tableau 24). Le taux des sucres ne présente aucune valeur

significative pour l'interaction des trois variétés étudiées avec *H. avenae*.

- Toutes les variétés étudiées présentent des valeurs significatives concernant leur interaction avec les densités initiales d'*H. avenae* pour le taux de la fertilité des épis. La variété M.B. Bachir révèle une valeur significative avec *P*= 0,013* et les deux autres variétés présentent des valeurs très hautement significatives avec *P*= 0,00036*** et *P*= 0,0009*** respectivement pour la variété Bousselam et GTA/dur.

- Une valeur statistique très hautement significative *P*= 0,00093*** est notée chez la variété GTA/dur pour l'interaction *H. avenae* * Poids de mille grains. Des valeurs significatives sont observées chez la variété Bousselam pour l'interaction *H. avenae* * nombre de plants /m^2 et *H. avenae* * Rendement avec respectivement *P*= 0,08* et 0,034* (tableau 24). Tandis que, le paramètre agronomique nombre de grains par épi ne présente aucune valeur statistique significative concernant son interaction avec le nématode chez les trois variétés étudiées.

5. Discussions

Les nématodes à kystes parasitent le système radiculaire des plantes en provoquant des difficultés d'absorption d'eau et des nutriments du sol. Ils induisent des transformations racinaires importantes au niveau des tissus conducteurs (Delibes et *al*., 1993). Ils ont développé une stratégie parasitaire qui provoque des sévères dommages, empêchant dans certains cas toute culture économiquement viable. Les dégâts sont cependant difficilement déchiffrables en raison de nombreuses interactions les liant à d'autres pathogènes fongiques ou bactériens, favorisées par les lésions induites par l'entrée des nématodes (Djian-Caporalino et *al*., 2009).

- **Nombre de talles herbacées par pied**

Le tallage, phénomène caractéristique de la physiologie des graminées, est l'élément fondamental de la productivité (Vanasse et Yves, 2012). Le tallage est un caractère variétal qui, en conditions favorables, pourrait renseigner sur le potentiel des variétés (Aubry et *al*., 1994). Ceci explique la variation significative notée entre les trois variétés étudiées au champ, ainsi que les nombres de talles maximum et moyen les plus élevées que la variété

Bousselam a développé. Bousselam est un génotype qui se caractérise, selon Boufenar-Zaghouane et Zaghouane (2006), par un fort tallage.

Au laboratoire, les variétés Bousselam et M.B. Bachir révèlent une différence significative entre les plants témoins et infestés, concernant le nombre de talles herbacées. Selon Namouchi-Kachouri (2009), les symptômes dus à l'attaque d'*H. avenae* peuvent apparaître dès le début de tallage. Les jeunes plants attaqués présentent ainsi un tallage réduit. La variation très hautement significative et hautement significative de l'interaction Variété * *H. avenae* pour ce paramètre notée chez les plantes infestées des deux variétés Bousselam et GTA/dur respectivement démontrent l'effet négatif de ce nématode sur le nombre de talles herbacées.

Cet effet négatif sur la variété Bousselam est expliqué par le fait que c'est la variété qui héberge le nombre moyen initial (février) des kystes le plus élevé. Ceci pourrait s'expliquer par l'action parasitaire d' *H. avenae* sur les racines séminales. Seifi et Bide (2013) rapportent que les nématodes à kystes des céréales causent des perturbations de croissance et de la physiologie de la plante infestée du blé qui se traduisent par l'arrêt de la croissance des racines et la diminution du nombre de talles. Volkmar (1987) a montré que sur des variétés d'avoine, l'effet principal de l'infestation d' *H. avenae* est l'arrêt de l'extension des racines séminales. Selon les travaux de Massle-Meynard (1981a, 1981b et 1982), le devenir d'une talle vers la montée ou la régression est d'origine principale nutritionnelle. Le même auteur suggère qu'au moment auquel au moins une racine de talle devient fonctionnelle, lui conférant une certaine autonomie nutritionnelle par rapport aux éléments minéraux du sol.

- **Longueur des talles herbacées**

La prolifération des talles constitue la première phase de développement chez les céréales (Simon et *al*., 1989). La différence significative constatée entre les plants témoins et infestés au laboratoire chez la variété GTA/dur s'explique par l'effet d' *H. avenae* sur la croissance des jeunes plants de blé dur. Une parcelle infestée par *H. avenae* présente des taches claires où poussent des plants chétifs et rabougris (Riley et *al*., 2009). L'interaction entre le nématode et la variété Bousselam, qui est très hautement significative dans notre essai du laboratoire, confirme l'effet rabougrissant d' *H. avenae* sur les plants infestés. Selon Rivoal et *al*. (1990), la céréale attaquée reste naine suite à un ralentissement de la croissance au niveau de la tige. Cet effet est non significatif dans les conditions du champ chez les trois variétés étudiées.

Les différents facteurs climatiques et nutritionnels du milieu, en agissant d'une part sur le développement, et d'autre part sur le potentiel de croissance, conditionne l'intensité de la compétition et déterminent le nombre, la taille et le devenir des organes (Triboï et Ntonga, 1993). Parmi ces facteurs le stress hydrique durant la phase végétative qui réduit le nombre et la taille des talles (Megherbi- Benali et *al*., 2014). Ainsi, Rivoal et *al*. (1989) rapportent qu'un sol favorable au développement des racines peut donc s'avérer non exploitable par le système radiculaire du blé, si une attaque par *H. avenae* modifie sa croissance et son exploration naturelle.

- **Hauteur de la plante**

Dans le champ, les deux variétés GTA/dur et Bousselam révèlent une variation de hautement à très hautement significative concernant la hauteur de la plante. Par contre, la variété M. B. Bachir qui se caractérise par la hauteur la plus élevée avec 62,44 cm en moyenne, n'a révélé aucune variation significative. Cette variété est connue selon (Megherbi et *al*., 2012), comme étant bonne du point de vue rendement en paille. Mekaoussi (2015) a enregistré une hauteur moyenne de 67,2 cm chez la même variété en plein champ, ce qui corrobore à nos résultats.

La dimension des écarts relatifs du rendement, de la durée de la phase végétative et de la hauteur des plantes renseigne sur le degré de stabilité du comportement d'un génotype donné (Fellah et *al*., 2002). Les mêmes auteurs ajoutent que cette stabilité mesure le degré de tolérance, exprimé par les génotypes évalués aux différents stress. Bien que la variété Bousselam apparaisse moins stable concernant ce caractère morphologique, elle combine dans l'étude de Nouar et *al*. (2012) entre performance de rendement et stabilité.

Cependant, l'analyse statistique ne met pas en évidence l'effet significatif d' *H. avenae* sur la hauteur de la plante, ni chez la variété Bousselam ni chez les deux autres variétés de blé dur étudiées au champ. Par contre, Hajihasani et *al.* (2010), dans leur étude sur l'impact d'*H. latipans* sur les paramètres de croissance du *T. aestivum* cv. Sardari, ont montré qu'une densité de 20 œufs/J2 par gramme du sol a réduit la hauteur de la plante à plus de 32%. Seifi et Bide (2013) ont signalé également une réduction de la hauteur de la plante chez le blé infesté par le nématode à kystes des céréales *H. filipjevi* suite à une perturbation nutritionnelle caractérisée par une diminution des concentrations des éléments minéraux : N, Fe, Mn et Cu dosés dans les tiges.

En plus, Mekaoussi (2015) dans son étude concernant le comportement des mêmes variétés à l'encontre du puceron vert du maïs *Rhopalosiphum maïdis* (*Aphididae*), rapporte que ce dernier a un effet hautement à très hautement significatif sur la hauteur de la plante. A l'ouest d'Asie et l'Afrique du nord où, le système de culture du blé (monoculture) et le stress hydrique peuvent augmenter les dégâts provoqués par *H. avenae* (Rivoal et Nicol, 2009), les variétés à paille haute comme M.B. Bachir peuvent probablement surmonter ce stress grâce à ce caractère variétal.

Les génotypes de blé dur à paille haute sont plus tolérants, ils peuvent remplir le grain en cas de déficit hydrique par leur capacité de remobiliser les assimilats stockés dans la tige (Blum, 1988). Une étude de Bada (2007) dans les conditions du climat semi aride a montré que les variétés locales comme M.B. Bachir possèdent une meilleure capacité à rivaliser avec le brome rouge, en raison essentiellement de leur grande taille qui leurs confie une tolérance à la sécheresse.

- **Surface de la dernière feuille**

La feuille étendard est la principale unité fonctionnelle des photosynthétats qui contribuent à la formation des grains (Hopkins, 2003). La taille de la feuille drapeau est évoquée comme une source possible de tolérance aux différents stress biotiques et abiotiques (Gouache et *al*., 2014).

L'ensemble des variétés étudiées présentent des surfaces de la feuille drapeau très variables allant de la surface la plus réduite enregistrée chez la variété Bousselam (5,2 cm^2) à la surface la plus importante enregistrée chez la variété GTA/dur (47,2 cm^2). Les meilleures valeurs des surfaces foliaires enregistrées avec 47,2 cm^2 comme valeur maximale et 22,31 cm^2 comme valeur moyenne se trouvent chez la variété GTA/dur. Dans l'étude de Mekaoussi (2015), c'est toujours la variété GTA/dur qui se caractérise par les surfaces foliaires les plus larges (surface de la dernière feuille et surface foliaire) comparativement aux deux autres variétés : M.B. Bachir et Bousselam, Ce qui corrobore à nos résultats et nous conduit à conclure que la surface foliaire est un caractère variétal.

D'autre part, des surfaces foliaires moyennes allant de 26,04 jusqu'à 36,83 cm^2 enregistrées par Attab et Brinis (2012) chez six génotypes de blé dur dont M.B. Bachir et Bousselam dénotent que l'ensemble des variétés étudiées présentent une réduction plus ou moins importante de leur surface foliaire.

La variété Bousselam présentant ainsi la surface foliaire la plus réduite est la variété la plus susceptible d'être attaquée par *H. avenae.* Les divers stress biotiques et abiotiques qu'un peuplement végétal rencontre au cours de son cycle ont souvent comme effet majeur la réduction de la surface foliaire (Gouache et *al*., 2014). Certaines variétés réduisent la surface foliaire et le nombre de talles pour ajuster leur consommation en eau (Slafer et *al*., 2005). La surface foliaire détermine progressivement à la fois les quantités d'eau utilisées par la plante sous forme de transpiration et les quantités de carbone fixées par voie photosynthétique. Elle conditionne la résistance à la sécheresse, vu qu'une surface foliaire élevée perdra plus d'eau qu'une faible surface foliaire (Belkharchouche et *al*., 2009). (Harrath, 2003) ajoute que les génotypes présentant une turgescence élevée perdent plus d'eau par unité de temps comparativement à ceux qui sont moins turgides

Cependant, l'interaction Variété * Nématode n'a révélé aucun effet significatif d'*H. avenae* sur la surface de la dernière feuille chez les trois variétés étudiées, ce qui signifie que le nématode *H. avenae* n'a aucun effet sur la surface de la feuille étendard. De même, Mekaoussi (2015) signale qu'il n'y a pas d'impact du puceron vert du maïs (*R. maïdis*) sur la surface de la dernière feuille ainsi que sur la surface foliaire.

- **Chlorophylles**

La chlorophylle est le principal pigment responsable de la capture de l'énergie solaire (Hopkins, 2003). La teneur en chlorophylles de la variété Bousselam est la plus réduite et présente des différences très hautement significatives au cours des trois stades de son développement. Les plantes sensibles aux nématodes selon Mataille (1994), présentent une altération et donc une réduction des pigments chlorophylliens actifs.

En plus, l'interaction Nématode*Chlorophylle a révélé un effet significatif d' *H. avenae* sur la teneur en chlorophylle totale chez la même variété. Cette diminution pourrait être expliquée par le stress hydrique et nutritionnel provoqué par le nématode du fait que la variété Bousselam est la variété qui héberge les nombres de kystes les plus élevés tout au long de son cycle de développement.

Al Yahia et *al*. (1998) et Ibrahim et *al*. (1999), démontrent que le nématode à kystes des céréales *H. avenae* cause une diminution de l'interception lumière par les feuilles, de leur potentiel photosynthétique et du taux de la chlorophylle totale. La diminution de la chlorophylle chez les plantes stressées est signalée par plusieurs auteurs comme étant l'un des

facteurs majeurs de la croissance et de la productivité (Guerfel et *al.*, 2009 et Ghobadi et *al.*, 2011)

Les résultats de l'étude d'Issaad et *al.* (2013) montrent qu'un stress hydrique conduit à la réduction du taux de la chlorophylle chez la variété GTA/dur qui, dans notre expérimentation, ne semble pas affecté chez cette dernière par l'effet parasitaire d'*H. avenae* en présentant ainsi les valeurs les plus élevés à l'épiaison et la valeur moyenne des trois stades étudiés. En plus, les feuilles de dimensions importantes comme celle de la variété GTA/dur augmente la transpiration qui, selon Cornic (2008) abaisse le potentiel hydrique foliaire. Yekhlef et *al.* (2001) signalent que les meilleures valeurs des activités biochimiques et photosynthétiques se trouvent chez les génotypes présentant les plus faibles valeurs du potentiel hydrique foliaire. Les mêmes auteurs ajoutent que la variété ayant le rendement le plus élevé et les grains les plus volumineux se distingue des autres variétés par une densité stomatique plus élevée au niveau de la barbe et la feuille étendard.

Ainsi, il apparaît que les génotypes qui ont la capacité photosynthétique intrinsèque la moins affectée par le déficit hydrique présentent une meilleure efficience d'utilisation de l'eau (Condon et *al.*, 2005).

La tendance des teneurs en chlorophylles à se diminuer chez les variétés M.B. Bachir et GTA/dur de l'épiaison au remplissage des grains, pourrait être expliquée par la sénescence des feuilles qui, selon Combe et Escobar (2009), a un effet sur l'assimilat du carbone et sur les transferts trophiques des feuilles sénescentes vers les organes d'intérêt économique. Tandis que, les teneurs en chlorophylles augmentant de l'épiaison au remplissage des grains chez la variété Bousselam pourraient être dues à l'effet parasitaire d'*H. avenae*. Selon Blanchard (2007), les nématodes à kystes sont capables de sécréter des peptides pour stimuler les régulations du cycle cellulaire végétal après la première étape du parasitisme présenté par l'induction du syncytium.

- **Sucres solubles**

Le taux moyen des sucres solubles a une allure croissante chez les trois variétés étudiées au champ en partant du stade épiaison jusqu'au stade remplissage des grains. Ceci pourrait être expliqué, selon Mainson (2013), du fait que ce sont essentiellement les feuilles matures des plantes qui constituent les organes sources, où les sucres nécessaires pour la croissance et le développement sont produits.

C'est la variété Bousselam qui accumule le taux maximum des sucres le plus élevé au remplissage des grains avec 21,25 mg/100 mg de matière fraîche. Elle présente des variations très hautement significatives concernant sa teneur en sucres solubles durant tous les stades. Les teneurs en sucres solubles accumulés chez les trois variétés testées sont plus réduites que celles accumulées par les mêmes variétés infestées et non infestées par le puceron vert du maïs dans l'étude de Mekaoussi (2015). Cependant, Mansouri (2011) a enregistré des taux variant de 16 à 23 mg/100 mg de matière fraîche. Ce qui peut corroborer avec nos résultats où nous avons enregistré des teneurs allant de 2,55 jusqu'à 21,25 mg/100 mg de matière fraîche. Pour une même espèce de graminée, les quantités de sucres solubles peuvent varier selon les conditions agronomiques tels que le moment de la journée, le stade de maturité, la fertilisation, l'intensité lumineuse et la température (Mc Donald et *al*., 1991).

En ce qui concerne le dosage des sucres solubles il a été mis en évidence une accumulation systématique de saccharose, glucose et fructose dans les feuilles en condition de stress. Ce phénomène est probablement dû à un arrêt de la croissance des feuilles, et donc à un arrêt de la consommation des sucres (Hummel et *al*., 2010 ; Muller et *al*., 2011) in (Mainson, 2013).

D'après Lepoivre (2003), l'accumulation des sucres solubles (saccahrose, glucose et fructose) peut avoir comme origine l'hydrolyse de réserves (en particulier l'amidon), mais aussi une modification du métabolisme carboné. Cette modification, due aux différents stress, a une action sur le comportement par un changement des signaux de la plante (Bird et Bird, 1991). Ces signaux permettent la régulation métabolique de la plante qui empêche le développement des parasites (Djian-Caporalino et *al*., 2008).

L'interaction Variété * Nématode n'a révélé aucun effet significatif d'*H. avenae* sur l'accumulation des sucres. Tandis que, l'excès de sucres peut aboutir à l'induction de gènes impliqués dans la synthèse de composés utilisés pour la défense permettant aux plantes d'interagir avec les organismes pathogènes (Ramel, 2009), la diminution de sa teneur chez les trois variétés étudiées dénote de l'inefficacité de ces dernières à agir par cette voie biochimique.

- **Proline**

L'ensemble des variétés du blé dur étudiées présentent des variations significatives et même hautement significatives concernant leur teneur en proline. Tahri et *al*. (1998), ont indiqué que les quantités accumulées de proline pourraient être liées au niveau de tolérance des organismes aux stress. Des teneurs variant d'un minimum de 0,04 µg/ 100 mg de matière fraîche enregistré à l'épiaison chez la variété Bousselam à un maximum de 30,88 µg enregistré au remplissage des grains chez la variété M.B. Bachir mettent en évidence l'effet significatif du facteur variété. L'existence chez les céréales d'une variation intra-spécifique pour l'accumulation de la proline sous l'effet du stress hydrique suggère la possibilité d'une sélection, sur la base de ce caractère, des génotypes performants en condition de stress hydrique (Laala, 2010).

La variété M.B. Bachir accumule les taux de la proline les plus élevés. En outre, l'interaction Variété * Nématode révèle un effet hautement significatif du nématode sur l'accumulation de la proline chez la même variété. C'est probablement la proline accumulée chez la variété M.B. Bachir qui confie à cette dernière son caractère de mauvais hôte. Les déviations métaboliques observées dans les plantes parasitées par les nématodes conduit à une augmentation de la quantité de protéines riches en hydroxyproline, de peroxyde d'hydrogène et superoxyde, ces molécules étant extrêmement nématotoxiques (Djian-Caporalino et *al*., 2008). Mekaoussi (2015), signale également l'accumulation de la proline dans des plantes de blé dur infestées par le puceron vert du maïs comparativement à celles non infestées dont la variété M.B. Bachir qui manifeste la meilleure défense contre ce puceron.

L'effet du nématode est également significatif sur l'accumulation de la proline chez la variété Bousselam qui accumule des taux plus faible que M.B. Bachir. Ceci semblerait signifier que la variété Bousselam est moins tolérante que M.B. Bachir aux populations d'*H.avenae.* Makhlouf et *al*., (2012), rapportent que plusieurs variétés de blé dur sensibles au froid, ont accumulé des faibles quantités de proline et sucres.

Sous stress abiotique, tel que la salinité ou la sécheresse, on observe une accumulation de la proline (Di Martino et *al.*, 2005). Cette accumulation, a été démontrée chez de nombreuses variétés de blé et dans plusieurs types de stress (osmotiques, hydriques et thermiques) (Lepoivre, 2003).

- **Nombre d'épillets par épi**

L'effet d' *H. avenae* sur le nombre d'épillets par épi est très hautement significatif chez la variété Bousselam qui présente aussi une variation très hautement significative concernant ce paramètre. Ceci peut être expliqué par l'impact des fortes densités du nématode à kystes enregistrées chez la variété Bousselam sur l'élaboration des épillets. Dans son étude du comportement variétal du blé dur à l'égard du puceron vert du maïs *Rhopalosiphum maïdis* (*Aphididae*), Mekaoussi (2015) indique qu'il ya une interaction significative entre les densités du peuplement d'Aphides et le nombre d'épillets élaboré par la même variété. L'absence d'effet significatif de l'interaction Nématode * Nombre d'épillets chez les deux variétés M.B. Bachir et GTA/dur dénotent de la tolérance de ces deux variétés à la multiplication d'*H. avenae* concernant ce paramètre agronomique.

- **Nombre de grains par épi**

Des variations significatives à très hautement significatives du nombre de grains par épi sont observées respectivement chez la variété M.B. Bachir et La variété Bousselam. Le nombre de grains par épi est une caractéristique variétale, très influencée par le nombre d'épis par mètre carré (Couvreur, 1981). Le nombre moyen de grains produits par les trois variétés étudiées apparaît plus faible comparativement aux résultats d'autres études. Bien que, Cherfia (2010) a enregistré des valeurs allant de 2,8 jusqu' à 36,4 grains par épi, Makhlouf et *al.*, (2012) ont enregistré des valeurs comprises entre 24,4 et 31,4 et Bousba (2012) a enregistré des moyennes allant de 16,72 jusqu'à 50,02. Les différences du nombre de grains par épi est plus indicatrices des capacités productrices d'un génotype donné. Le rendement en grains est positivement corrélé et significativement au nombre de grains par épi (Attab et Brinis, 2012).

La variété M.B. Bachir se caractérise par le nombre moyen de grains par épi le plus élevé. Ceci peut être expliqué du fait que c'est la variété la plus haute. Megherbi-Benali et *al*,. (2014) ont trouvé que le nombre de grains/ épi est positivement corrélé à la hauteur de la plante sous les conditions de stress hydrique.

L'interaction Variété * *H. avenae* n'a montré aucun effet significatif de ce dernier sur le nombre de grains par épi. De même, Mekaoussi (2015) n'a trouvé aucun résultat significatif de l'impact des pucerons sur ce paramètre agronomique.

- **Taux de fertilité**

L'ensemble des variétés étudiées présentent des taux de fertilité très variables, cette variabilité est très hautement significative chez la variété Bousselam. Des études antérieures ont démontré l'effet variétal hautement significatif sur le taux de fertilité de l'épi. Cherfia (2010), a enregistré des taux moyens variant de 5 à 76,63 % et Oudjani (2009) a trouvé sous des conditions semi contrôlées des valeurs allant de 29 à 86 % avec une moyenne générale des 29 génotypes étudiées de 48 %.

Cependant, l'analyse statistique a démontré l'effet très hautement significatif du nématode à kystes des céréales sur le taux de fertilité de l'épi chez les deux variétés Bousselam et M.B. Bachir. Cet effet est significatif chez la variété GTA/dur (*P*= 0,013*) qui a enregistré le taux moyen le plus faible (36,81 %). Sous serre, cette variété a enregistré le taux moyen le plus élevé avec 86 % d'épillets fertiles dans l'étude d'Oudjani (2009). Mekaoussi (2015) a signalé que les populations des pucerons n'affectent pas le taux de fertilité.

Nombre d'épis par mètre carré

La variété Bousselam présente une variation très hautement significative concernant le nombre d'épis par unité de surface. En plus, l'analyse statistique de l'interaction Bousselam * *H. avenae* met en évidence un effet significatif du nématode sur ce paramètre. Ibrahim et *al*., (1999) ; Namouchi-Kachouri et *al*., (2009) et Riley et *al*., (2009), signalent que les fortes densités initiales des nématodes à kystes des céréales réduisent significativement le nombre d'épis par unité de surface.

L'étude de Guendouz et *al.* (2012) a montré que le nombre d'épis par mètre carré peut être considéré comme un critère de sélection pour le rendement du blé sous les conditions stressées et irriguées. Dans des conditions où l'azote n'est pas un facteur limitant, on peut obtenir de bons rendements même avec une population d'épis relativement faible (Makhlouf et *al*., 2012). Les mêmes auteurs ajoutent que le nombre d'épis/ m^2 varie d'une année à l'autre et d'une variété à l'autre.

- **Poids de mille grains**

C'est toujours la variété Bousselam qui révèle des variations très hautement significatives pour le poids de mille grains et pour son interaction avec le nombre initial des kystes du nématode. Person-Dedrayver et Pannetier (1987), ont démontré qu'il existe une corrélation linéaire négative significative au seuil de 0,02 liant le nombre de femelles d'*H. avenae* à celui du poids du grain chez des variétés d'orge et du blé. Les résultats obtenus après l'étude de deux ans par Ibrahim et *al*., (1999) montrent que les densités initiales élevées d'*H. avenae* diminuent le poids de mille grains significativement chez le blé dur dans les conditions naturelles du champ. Une étude plus récente de Patil et Gaur (2014) sur l'effet du nématode à galle du riz *Meloidogyne graminicola* (*Meloidogynidae*) sur la qualité et la vigueur des grains de riz a montré que sous les conditions naturelles du champ, le poids de mille grains est significativement réduit de 44 à 50 %.

Le poids de mille grains est généralement peu maîtrisable, car il est fortement lié aux effets de l'environnement au moment de la formation et du remplissage du grain (Benbelkacem et Kellou, 2000). Bahlouli et *al*., (2006) indiquent que la vitesse de remplissage contribue au rendement via le nombre de grains/ m^2 , alors que la durée affecte le poids de mille grains. Ils ajoutent que ces deux composantes se compensent mutuellement.

- **Rendement**

En se basant sur leur large distribution à travers le monde, leur prédominance dans les aires de production des céréales et leur pathogénicité, les nématodes à kystes des céréales sont classés comme l'une des majeures contraintes qui peuvent affecter l'alimentation humaine (Abdelfattah et *al*., 2014). Whitehead (1998) a estimé que des pertes de 10 % de la production céréalière mondiale sont dues aux nématodes. La relation entre les densités de populations d'*H. avenae* et le rendement en grains du blé est très importante pour déterminer l'impact économique du nématode sur cette culture (Imren et *al*., 2014). Les pertes de rendement causées par les nématodes à kystes des céréales peuvent dépasser 90 % dans les champs à forte infestation (Riley et *al*., 2009) et (Seifi et Bide, 2013).

Des rendements très faibles caractérisent la production des trois variétés étudiées peuvent être expliqués d'une part par l'effet du nématode sur les différentes composantes du rendement chez la variété Bousselam. Des expérimentations en conditions naturelles en Tunisie menées par Namouchi-Kachouri et *al*., (2009), ont montré que les baisses de la production du blé dur résultent de l'altération des paramètres du rendement (nombre d'épis,

nombre de grains et poids de mille grains) qui sont fortement corrélés aux densités initiales d'*H. avenae*. Maqbool (1988), a estimé que les pertes de rendement sur le blé peuvent varier de 15 à 20 % au Pakistan. Sous les conditions arides d'Arabie Saoudite, Ibrahim et *al.*, (1999) ont signalé que les pertes de rendement sur le blé dur varient de 40 à 90 %. Dans le Sud-ouest de la France, *H. avenae* peut occasionner des pertes de 30 à 40 % sur le rendement du blé dur (Chabert et *al.*, 2012). Cependant, l'étude d'Imren et *al.*, (2014) menée dans la province d'Adana (Turquie) sous les conditions naturelles du champ a montré que les pertes de rendement causées par *H. avenae* sur différentes variétés de blé dur varient entre 4,3 à 25,78 %.

D'autre part, l'abaissement des rendements chez la variété GTA/dur et la variété M. B. Bachir est dû aux conditions climatiques défavorables qui ont sévi à la fin de la saison agricole en particulier, la grêle qui a provoqué de considérables dégâts sur toutes les cultures. L'expression d'un rendement élevé dans les conditions de culture des hautes plaines orientales d'Algérie est associée positivement au nombre d'épis par mètre carré, au nombre de grains par mètre carré et à la fertilité des épis, mais négativement liée au poids de mille grains (Bahlouli et *al.*, 2008).

CONCLUSION

CONCLUSION

Notre étude comparée du comportement de trois variétés du blé dur: M.B. Bachir, Boussallem et GTA/dur vis-à-vis d'*Heterodera avenae* consiste deux volets : L'essai du champ réalisé sur un sol naturellement infesté dans la région d'El Madher et le test du comportement variétal par l'infestation artificielle au laboratoire.

En plus de l'évolution des populations du parasite sur les trois variétés du blé dur, le comportement de chaque variété est évalué en étudiant des paramètres morphologiques, biochimiques et agronomiques différents.

Les résultats des recensements des populations d'*H. avenae* montrent que la variété Boussallem héberge le nombre de kystes le plus important tout en assurant une multiplication du parasite (kystes néoformés) plus importante que celle des deux autres variétés. Alors que M.B. Bachir montre une certaine résistance à la multiplication de ce parasite, la variété GTA/dur apparait un hôte légèrement moins favorable que Boussallem au développement du parasite.

L'essai de l'infestation avec une dose de 25 kystes/pot réalisé au laboratoire révèle l'effet négatif du nématode sur les trois variétés de blé dur dans les stades précoces de leur croissance (tallage herbacé). Les plantes infestées ont un faible tallage par rapport à leurs témoins, elles se caractérisent ainsi par des nombres et des longueurs de talles herbacées plus réduits. L'interaction des densités initiales du nématode avec le nombre et la longueur des talles a démontré cet effet négatif d'*H. avenae* sur la croissance de la variété Boussallem et la variété GTA/dur.

Cependant, certains paramètres étudiés sur les variétés cultivées au champ ont montré des différences significatives dans le comportement de ces dernières.

- La variété Boussallem a un fort tallage du fait qu'elle a enregistré le nombre de talles le plus élevé au laboratoire et sur champ.
- La variété M.B. Bachir se caractérise par la longueur des talles herbacées et la hauteur de la plante les plus élevées. C'est la variété qui a accumulé les taux de proline les plus élevés de l'épiaison jusqu'au remplissage des grains. C'est aussi la variété qui a produit le rendement le plus important tout en montrant les valeurs les plus élevées de tous ses composantes : nombre d'épillets / épi, nombre d'épi /m^2, nombre de grains / épi, taux de fertilité de l'épi et poids de mille grains.

- La variété GTA/dur présentent les surfaces de la dernière feuille les plus larges.
- Les résultats des analyses biochimiques ont montré que l'ensemble des variétés étudiées présentent des taux de sucres solubles et des teneurs en chlorophylle totale très variables d'un stade à l'autre. Les taux moyens des sucres et de la proline ont une tendance générale à s'augmenter chez les trois variétés étudiées en fonction des stades de développemnt.

Il ressort de ces résultats que la variété M.B. Bachir est plus tolérante que les deux autres variétés à l'égard des populations d'*H. avenae*. Sa tendance à accumuler la proline de l'épiaison jusqu'au stade de remplissage des grains a permis d'identifier ce mécanisme biochimique de tolérance à ce parasite. En plus, sa hauteur lui confie une certaine stabilité de production sous les conditions défavorables.

Toutefois, la variété Boussallem qui a permis plus la multiplication du nématode à kystes des céréales *H. avenae,* elle a produit un rendement plus élevé que la variété GTA/dur. Ceci nous conduit à chercher le caractère qui confie à la variété Boussallem sa tolérance plus ou moins élevée que celle de la variété GTA/dur, vue que l'analyse statistique a révélé l'effet négatif du nématode sur la plupart des paramètres étudiés chez la variété Boussallem.

Enfin, il serait très intéressant d'accorder un intérêt à ce genre d'études afin d'étayer les performances agronomiques des différents génotypes. Ce qui suggère donc d'introduire d'autres paramètres morphologiques, biochimiques, et même physiologiques qui peuvent expliquer tel comportement de telle variété.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Abdelfattah A., Dababat , Imren A., OrakciSamad G.E.A., Yavuzaslanoğlu E., Toktay H., Pariyar S.R., Elekcioğlu H.I., Morgounouv A., et Meket T. 2014:** The importance and management strategies of cereal cyst nematodes, *Heterodera* spp., in Turkey. *Euphytica*: 16 p.

- **Ahmadi A.R et Tanha Maafi Z. 2014:** Incidence of Cereal Cyst Nematodes (*Heterodera avenae* type B and *H. filipjevi*) in southwestern Iran. *J. Crop Prot.*, 3 (1) : 75-88.

- **Alyahia F.**A., **Alderfasi A.A., Al Hazmi A.S., Ibrahim A.A.M. et Abdul-Razig A.T. 1998:** Effects of cereal nematode on growth and physiological aspects of wheat under field conditions. *Pakistan Journal of Nematology* 16: 55-62.

- **Anonyme, 2013:** Nematode extraction. *Bulletin OEPP/EPPO* : 43 (3) :471– 495

- **Anonyme 2015 :** file:///E:/blé Moderne et Blé Ancien pas différence.net.htm.

- **Arour E, 2014** : disponible sur : http://decoupageadministratifalgerie.blogspot.com/2014/10/cartegeographiqueBATNA.html

- **Attab S. et Brinis L. 2012 :** Etude comparative de la réponse physiologique de 2 variétés de blé dur à l'infection par *Blumeria graminis* f. sp. *Tritici* agent causal de l'oïdium. *Rev. Sci. Technol*., Synthèse 25 : 83-85.

- **Aubert V. 1986:** Contribution à l'étude de la biologie d'un parasite de la carotte Le nématode à kystes, *Heterodera carotae* Jones. Thèse de Doctorat. Université de Neuchâtel : 233p.

- **Aubry C., Latiri Souki K., Doré T. et Griner C. 1994** : Diagnostic des facteurs limitants du rendement du blé dur en parcelles d'agriculteurs dans une petite région semi-aride en Tunisie. *Agronomie* 14 : 213-227.

- **Bada L.** 2007 : Variabilité génotypique du blé dur (*T. durum Desf*.) vis-àvis de la nuisbilité directe du brome (*Bromus rubens* L.) en conditions semi arides. Mémoire de magistère. Université de Batna : 80 p.

- **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 4*: 360-365.

- **Bahlouli F. et Bouzerzour H., 2006:** comportement variétal de 10 genotypes contrastes de blé dur aux contraintes abiotiques sous climat semi aride. *Fourmi! Akérien des Régions Arides,* N° 05 : 51-61.

- **Bahlouli F., Bouzerzour H., Benmahammed A. 2008:** Effets de la vitesse et de la durée du remplissage du garin ainsi que l'accumalation de des assimilats de la tige dans l'élaboration du rendemnt du blé dur (*T. durum* Desf.) dans les conditions de culture des hautes plaines orientales d'Algérie. Base (en ligne), volume 12: 31-39.

- **Baldwin J.G., Mundo-Ocampo M., (1991)**: *Heteroderinae. In: Manual of Agricutural Nematology*, Nickle W.R. Ed : 310 p.

- **B'Chir M.M., Kallel S., Namouchi-Kachouri N. 2007:** Incidence d'*Heterodera avenae* sur le blé dur, *Triticum durum*, sous les conditions naturelles tunisiennes. *Nematol. medit* : 1-22.

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

- **Belfadel M. 2011:** Contribution à l'étude biométrique de quelques populations du nématode *Heterodera avenae* Woll. Inféodé aux cultures céréalières. Mémoire de magistère. ENSA, EL-Harrach : 70 p.

- **Belkharchouche H., Fellah S., Bouzerzour H., Benmahammed A. et Chellal A.2009:** Vigueur de croissance, translocation et rendement en grains du blé dur (Triticum durum Desf) Sous conditions semi arides. *Courrier du Savoir* N°09 : 17-24.

- **Benbelkacem A. et Kellou 2000:** Evaluation du progrès génétique chez quelques variété de blé dur (*Triticum turgidum* L. var.*durum*) cultivées en Algérie. *In* Royo C., Nachit M.M., Di Fonzo N. et Araus J.L (eds). Durum wheat improvement in the mediterranean region: New challenges Zaragoza: CIHEAM- IAMZ: 105-110.

- **Benbelkacem A. et Zeghouane O. 2012:** Current state and trends of wheat production in Algeria. *Presentation at wheat for food security in Africa conference*, Oct 9, 2012, Addis Ababa, Ethiopia: 15 p.

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

- **Bird D.M. et Bird A.F. 1991**: Plant parasitic nematodes. Chapter 8 *In* Kennedy M.W. et Harnett W: Parasitic nematodes. CABI Publishing: 64 p.

- **Blanchard A. 2007:** Identification, polymorphisme et évolution moléculaire de gènes du pouvoir pathogène chez le nématode à kyste de la pomme de terre *globodera pallida*. Thèse de doctorat, Université de Rennes 1 : 264 p.

- **Blum A. 1988:** Plant breeding for stress environment. Edition: CRC press: 223 p.

- **Boneti J.I.S., Ferraz S., Braca J.M., Oliveira L.M. 1982:** Influence du parasitisme de Meloidogyne exigua sur l'absorption des micronutriments (Zn, Cu, Fe, Mn et B) chez le cafier. *Fitopatologia Brasileira* 7 : 192- 197.

- **Bonjean A., Picard E. 1990:** Les céréales à paille origine, historique, économie et sélection. Eds : Nathan : 235 p.

- **Bonjean A. 2001**: Histoire de la culture des céréales et en particulier de celle du blé tendre (*Triticum aestivum* L.) Eds. Le Perchec S., Guy P. et Fraval A. *Agriculture et biodiversité des plantes. Dossier de l'environnement de l'INRA*, n^0 21 : 29-37.

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

- **Boulal H., El Mourid M., Rezgui S., Zeghouane O. 2007 :** Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). Edition: ITGC, INRA Algérie et ICARDA : 176 p.

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

- **Bridge J., Luc M., Sikora R.A. 2005:** Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture. 2nd edition, CABI Publishing: 918 p.

- **Brown R.H. 1984**: Ecology and control of cereal cyst nematode (*Heterodera avenae*) in Southern Australia. *Journal of Nematology* 16(3) :216-222.

- **Chabert A., Buisson A., Brun F., Champeil A., Thibord I.B., Taupin P. et Fournet S.**

2012 : Effets des systèmes de production sur les populations de nématodes nuisibles aux grandes cultures : Recherche de méthodes pratiques de diagnostic et de gestion de risques. *Innovations Agricoles* 25 : 205-217.

- **Caubel G., Person F., Rivoal R., 1980** : Les nématodes dans les rotations céréalières. *Persp. Agri.* (36) : 32-47.

- **Cauwel B., Verjux., Bonin G., 2000 :** Protocole de suivi d'essais comparant des variétés de céréales à paille d'hiver en conduite bilogique. ITAB: 32 p.

- **Cayrol J-C., Djian-Caporalino C., Panchaud-Mattei E. 2009 :** la lutte biologique contre les nématodes phytoparasites. *Courrier de la Cellule Environnement de l'INRA* N° 17 : 31- 44.

- **Cherfia R. 2010** : Etude de la variabilité morpho-physiologique et moléculaire d'une collection de blé dur algérien (*T.durum* Desf.) Mémoire de magister, université de Constantine : 77 p.

- **Clément J.M. 1981:** Dictionnaire Larousse Agricole. Librairie Larousse. ISBN 2-03-514301-2: 1207p.

- **Combe L et Escobar A.J. 2009** : Sénescence d'un pied de maïs : évolution de floraison à la récolte. *Botanique* 87 : 1036-1053.

- **Condon A.G., Ricahrds R.A. et Rebetzka G.J. 2005:** Breeding for high water- use efficiency. *Journal of Experimental Botany* 55: 2447-2460.

- **Cook R., et Evans K. 1987:** Resistance and tolerance. *In* Principles *and practice of nematode control in crops*. Brown, R. H. & Kerry, B. R. (Eds), London: Academic Press: 179-231.

- **Cornic G. 2008:** Effet de la contrainte hydrique sur la photosynthèse foliaire. www.ese u-psud.fr/IMG/pdf/effet-de-la-contrainte-hydrique.pdf : 34p.

- **Couplan F., 2002 :** Dictionnaire, étymologie de botanique. 2ème édition : Masson & Cie Editeurs : pp 97-223.

- **Coyne D.L., Nicol M., et B. Cole C., 2010 :** Les nématodes des plantes: Un guide pratique des techniques de terrain et de laboratoire. Ed: IITA et CIMMYT: 82 p.

- **Crête P. 1965 :** Précis de botanique .Tome II, systématique des angiospermes .2ème édition, Paris : 11-38.

- **Dajoz R., 1985:** Précis d'écologie. Ed: Gauthier-Villard, Paris : 560 p.

- **Davis E.L., Hussey R.S, Baum T.J. 2004:** Getting to the roots of parasitism by nematodes. *Trends Parasitol* 20:134-141.

- **Delibes R., Romero D., Aguaded S., Duce A., Mena M., Lopez-Braña I. et Andrès M.F. 1993:** Resistance to the cereal cyst nematode (*H. avenae*) transferred from wild grass *Aegilops ventricosa to* hexaploid wheat. *Laboratorio de Bioquímica y Biologí a Molecular*. ETS Ingenieros. Madrid, Spain: 1-7.

- **Dever J. et Hales N. 2013:** Algeria, grain and feed annual. *USDA Foreign Agricultural Service*. GAIN Report Number: AG1304: 09 p.

- **Di Martino C., Pizzuto R., Pallota M. L., De Santis A.et Salvaore P. 2005:** Mitochondrial transport in proline catabolism in plants : the of two separate translocators in mitochondria isolated from durum wheat. *Planta*: 32-39.

- **Djian-Caporlino 2008 :** Les plantes pièges et la lutte contre les nématodes à galles. Colloque: *Jardins- Environnement-Santé*: 4 p.

- **Doussinault et Person-Dedryver F. 1989:** Les nématodes. *In*: *Ennemis et maladies des prairies.* Ed. INRA: 173-177.

- **Dubois M., Gilles K.A, Hamilton J.K., Rebers P.A., Smith F., 1956**: Colorimetric method for determination sugar and related substances. *Analytical chemistry*, 38: 350-356.

- **Ezzahiri B. 2001:** Les maladies du blé : Identification, facteurs de développement et méthodes de lutte. *Bulletin de transfert et technologique en agriculture* N° 77: 4 pages

- **FAO, Sd:** Introduction à la recherche sur les nématodes phytoparasites. Edition FAO: 138p.

- **Feillet P. 2000:** Le grain de blé, composition et utilisation, INRA éditions : 308 p.

- **Feldman M. 1976:** Taxonomic classification and names of wild, primitive, cultivated and modern cultivated Wheat. *In* Simmonds N.W (Ed). *Evolution of crop plants*. Longman, London: 120-128 p.

- **Feldman M. 2001:** Origin of Cultivated Wheat. In Bonjean A.P. et W.J. Angus. (Ed.). The World Wheat Book: a history of wheat breeding. *Intercept Limited*. Andover. Angleterre : 3-58.

- **Fellah A., Bouzerzour H., Benmahammed A. et Djekoun A. 2002 :** Sélection pour améliorer la tolérance aux stress abiotiques chez le blé dur (*T. durum* Desf). Actes Inst. Agron. Vet. (Maroc) 22 (3): 161-168.

- **Fenwick D.W., 1940**: methods for the recovery and counting of cysts of *Heterodera schachtii* from soil. *Journal of Helminthology* 18: 155-172.

- **FranceAgrimer, 2013 :** Marché du blé dur : Monde, Europe, France. *FranceAgrimer*, Ed : Février 2013. 48 p.

- **Ghobadi M., Khosravi S., Kahrizi D., et Shirvani F. 2011** : Study of Water Relations, Chlorophyll and their Correlations with Grain Yield in Wheat (Triticum aestivum L.) *Genotypes World Academy of Science, Engineering and Technology* 78 : 582 -585.

- **Gouache D., Bancal M.O., de Solan B.et Gate P :** Tolérance du blé tendre aux stress abiotiques et biotiques. *Innovations Agronomiques* 35 : 75-87.

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

- **Greco N. 1981:** Hatching of *Heterodera carotae* and *H. avenae*. *Nematologica*, 2-7: 366-371.

- **Guerfel M., Baccouri O., Boujnah D., Chaibi W. et Zarrouk M. 2009:** Impacts of water stress on gas exchange, water relations, chlorophyll content and leaf structure in the two main Tunisian olive (*Olea europaea* L.) cultivars. *Sci Horticult*., 119 : 257- 263

- **Gundouz A.**, **Djoudi M., Guessoum S.,Maamri K., Fellhi Z., Hannachi A. et Hafsi M**. **2012 :** Durum wheat evaluation under semi arid conditions in eastern Algeria by path analysis. *Journal of Agriculture and Sustainability.*Volume 3, Number 2 : 238-23-46.

- **Haddadi F. 1997:** Contribution à l'étude bioécologique du nématode à kyste *Heterodera avenae* Woll. 1929, Essai de comportement de 6 variétés de blé dur vis-à-vis de deux

populations de ce parasite. Mémoire de magistère, INA, El Harrach : 193p.

- **Hajihasani A., Tanha Maafi Z., Nicol J.M et Seraj A. 2010**: Relationships between population densities of the cereal cyst nematode, *Heterodera latipons* and yield losses of winter wheat in microplots .*Australian Plant Pathology* 39: 530-535.

- **Hamroun W. 2006:** Etat d'infestation de quelques régions céréalières d'Algérie, Mémoire de magistère, INA, El-Harrach.

- **Harlan J.R. 1971:** Agricultural origins: Centers and non Centers. *Science174*: 468-474

- **Harlan J.R. 1976:** Barley. In: *Evolution of crop plants*. NW. Simmonds, ed. Longman Inc; New York: 143-150.

- **Harrath N. 2003 :** Analyse génétique de l'intégrité cellulaire et de la vitesse de dessèchement foliaire chez le blé dur (*Triticum durum* Desf).Mémoire de magistère. Institut des sciences de la nature centre universitaire Larbi Ben Mhidi, OEB, 50 pages.

- **Hassan Gh. A., Al-Assas Gh. A. et Abou Al-Fadil T., 2006:** Interactions between *Heterodera avenae* and *Fusarium culmorum* on yield components of wheat, nematode reproduction and crown rot severity. RESEARCH/INVESTIGACIÓN: *Nematropica* 42:260-266.

- **Henry Y. et De Buyser J. 2000 :** L'origine du blé. *Pour la Science* 26:60-62.

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

- **Hofmann J., Grundler** F**.M.W. 2006:** Females and males of root-parasitic cyst nematodes induce different symplasmic connections between their syncytial feeding cells and the phloem in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Physiol Biochem.* 44:430-433.

- **Hopkins W.G. 2003:** Physiologie végétale. De Bœuk, 2ème édition : 512 p.

- **Ibrahim A.A.M., Al-Hazmi A.S., Al-yahia F.A., Alderfasi, A.A. 1999:** Damage potential and reproduction of *Heterodera avenae* on wheat and barley under Saudi field conditions. *Nematology 1*: 625-630.

- **Imren M. et Elekcioğlu I.H. 2014:** Effect of cereal cyst nematode *Heterodera avenae* (*Tylenchida: Heteroderidae*) on yield of some spring wheat varieties in Adana Province, Turkey. *Turk. J. Agric* 38: 820-823.

- **Issad G., Djebar M.A., Grara N., Berrabeh H., et Chegra A. 2013:** oxidative stress, chlorophyll content and ROS production and localization in *T. duurm* seed. Scholars Resaerch Library. *Annals of Biological Research* 4 (5): 11-15.

- **Kerry R. 1988:** Parasitic soil moisture and multiplication of the cereal cyst nematode, *Heterodera avenae*. Rev. *Nematologica*, V 26, Leiden: 57-68.

- **Kezih R., Bekhouche F. et Merazka A. 2014:** some traditional Algerian products from durum wheat. *African Journal of Food Science* Vol. 8(1): 30-34.

- **Khalighi M., Arzani A. et Poursiahbidi M. A. 2008:** Genetic diversity in *Triticum* ssp and *Aegilops* ssp. using AFLP markers. *African Journal of Biotechnology* Vol. 7, N^0 5: 546-552.

- **Laala Z. 2010:** Analyse en chemin des relations entre le rendement en grains et les composantes chez des populations F3 de blé dur (*Triticum durum* Desf) Sous conditions semi arides. Mémoire de magistère. Université de Sétif : 97 p.

- **Labdelli F. 1995:** Etude du nématode à kyste des céréales *Heterodera avenae* (*Nematoda, Heteroderidae*). Répartition dans la wilaya de Tiaret. Test de comportement variétal sur céréales locales et étrangères. Mémoire de magistère, INA, El-Harrach, 97p.

- **Lamberti F., Greco N. Zaouchi H. 1975 :** Etude sur les nématodes chez les palmiers dattiers et autres cultures importantes en Algérie. Bull. Phytosanit.FAO n °23: 156-161.

- **Le Poivre Ph. 2003 :** Phytopathologie. Edition De Bœuck.

- **L'Herbier C., 2014:** Le marché du blé dur. *Comité Technique Blé Dur Ouest Océan, Vouillé* (79) : 25 p.

- **LNPV, 2012 :** Extraction, détection et identification morphobiométrique des nématodes phytoparasites : méthodes officielles d'analyses. Laboratoire national de la Protection des végétaux Angers. *Réf. : MOA012 version 01 a*. Edité par : Ministère de l'alimentation, de l'agriculture et de la pêche: 37 p.

- **Lounis D., 1992 :** Etude préliminaire de la biologie du nématode des céréales *H. avenae* (*Nematoda, Heteroderidae*) dans la région d'A. Defla. Thèse Ing. Agro, ENS Agro, Chlef.

- **MADR, 2011 :** Ministère de l'agriculture et du développement rural.

- **Mainson D. 2013 :** Etude du transport des sucres dans les racines d'*Arabidopsis thaliana* au cours de son cycle de développement et en réponse à un stress osmotique. Thèse de doctorat. Université de Poitiers : 186 p.

- **Makhlouf A., Dehbi F., Hannachi A. et Harbi M. 2012** : Réponses du blé dur (*Triticum durum* Desf.) aux basses températures en relation avec la capacité de production. *Revue Agriculture* N^0 3 : 13-23.

- **Mansouri A. 2011 :** Les champignons endophytes chez le blé dur (*T.durum* Desf.) : occurrence et rôle dans la tolérance au stress hydrique. Mémoire de magister. Université de Batna : 112 p.

- **Maqbool M.A. 1988:** Present status of research on plant parasitic nematodes in cereals and food and forage legumes in Pakistan. *In*: Saxena MC, Sikora RA, Srivastava JP, editors: Nematodes Parasitic to Cereals and Legumes Temperate Semiarid Regions. Aleppo, Syria: ICARDA: 173-18.

- **Massle-Meynard J. (1981 a) :** Relations entre croissance et développement pendant la montaison d'un peuplement de blé d'hiver : Influence des conditions de nutrition. *Agronomie* 1 (5) : 365-374.

- **Massle-Meynard J. (1981 b) :** Elaboration du nombre d'épis d'un peuplement de blé d'hiver en situation de compétition pour l'azote I : mise en évidence d'un stade critique pour la montée d'une talle. *Agronomie* 1 (8) : 623-632.

- **Massle-Meynard J. (1982) :** Elaboration du nombre d'épis d'un peuplement de blé d'hiver en situation de compétition pour l'azote II : modélisation du nombre d'épis. *Agronomie* 2 (1*)*. 17-24.

- **Mataille T. 1994:** Biologie de la relation plantes-nématodes: perturbations physiologiques et mécanismes de défense des plantes. O E. J. Brill, Leiden, *Nematologica 40*: 276-311.

- **McDonald A.H et Nicol J.M. 2005:** Nematode parasites of cereals. *In*: Bridge J., Luc M., Sikora R.A.: Plant parasitic nematodes: *subtropical and tropical agriculture*. 2nd edition, CABI Publishing: 918 p.

- **Meagher J.W. 1970:** Seasonal fluctuations in numbers of larvae of the cereal cyst

nematode (*Heterodera avenae*) and of *Pratylenchus minyus* and *Tvlenchorhvnchus brevidens* in soil. *Nematologica*, 16: 333-347**.**

- **Megherbi-Benali A., Mehdadi Z., Toumi-Benali F., Laid H. et Benyahia M.2012 :** Water supply efficiency of brought for phenological stages on a few morpho-physiological parameters of the durum wheat (*T. durum* Desf.). *Agriculture, Forestry and Fisheries* 3(6): 439-446.

- **Mekaoussi R. 2015:** Etude de comportement variétal du blé dur (*T. durum* Desf) vis-à-vis de *Rhopalosiphum maidis* (*Homoptera: Aphididae*) dans la région de Batna en vue de l'amélioration de cette culture. Mémoire de Magister, Université de Batna : 94 p.

- **Miège E.M. 1950** : Les principales espèces et variétés de blé cultivées en Afrique du nord. *Revue Internationale de Botanique Appliquée et d'Agriculture Tropicale.* Volume 30, N^0 327-328 : 16-38.

- **Mitchinson S. 2009:** New cyst nematode threats to cereals *In* the UK. *PhD Summary Report N°. 13- Project N°*. RD-2005-3190. Ed, HGCA: 1-29.

- **Mokabli A., Valette S. et Rivoal R. 2001 :** Différentiation de quelques espèces de nématodes à kyste des céréales et des graminées par électrophorèse sur gel d'acétate de cellulose. *Nématol. Medit* (2001), 29: 103-108.

- **Mokabli A. 2002:** Biologie des nématodes à kystes *(Heterodera)* des céréales en Algérie. Virulences de quelques populations à l'égard de diverses variétés et lignées de céréales. Thèse de doctorat. INA el Harrach Alger: 44p.

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

- **Monneveux Ph. 1991:** Quelles stratégies pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales d'hiver ? In : Chalbi Demarly Y. Eds. *L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides.* AUPELF-UREF. Ed : John Libbey. INSA-INRA: 165-186.

- **Monneveux Ph. 1992 :** Croissance et développement du blé. *Document interne* INRA, 38 p.

- **Mugniéry D., et Fayet G. 1984 :** Détermination du sexe de *Globodera rostochiensis* WoIl**.** et influence des niveaux d'infestation sur la pénétration, le développement et le sexe de ce nématode. *Revue Nématol* 2 (3): 233-238.

- **Mugniéry D., Fouville D., Dantec JP., Pellé R., Rousselle-Bourgeois F., et Ellissèche D., (2001)** Résistance à *Globodera pallida* Pa2/3 chez *Solanum sparsipilum*. *Nematol* 3:619-626.

- **Muhe K. 2012:** Functional diversity of nematode effectors protein gene family suppressing host defense. *Ghent University* (Belgium): 12-35

- **Namouchi-Kachouri N., B'Chir M.M., et Hajji A. 2008:** Effects of initial populations of H. avenae on wheat and barley yield components and on final nematode populations under Tunisian field conditions. *Tunisian Journal of Plant Protection* 3: 19-26.

- **Namouchi-Kachouri N., Kallel S. et B'chir M.M. 2009 :** Incidence *d'Heterodera avenae*Sur le blé dur, *Triticum durum* sous les conditions naturelles tunisiennes. *Nemat.medit,* 37 :3-10.

- **Nicol J.M. et Smiley R.W. 2009:** Nematodes which challenge global wheat production. Chapter (8): 172-189.

- **Nouar H.**, **Bouzerzour H., Haddadi L., Menad A., Hazmoune T. et Zerargui H. 2012 :** Genotype × Environment interaction assessment in durum wheat (*T. durum* Desf.) using AMMI and GGE models. *Andrassces in Environmental biology* 6 (1): 3007-3015.

- **Oostenbrink M., 1960** Estimating nematodes populations by some selected methods. *In*: *Nematology* edited by SASSER J.N and JENKINS W.R. The University of North Carolina Press, Chapel hill: 85-102.

- **Ouanighi H. 2004:** Infestation de quelques parcelles de céréales par les nématodes à kystes *(Heterodera*). Capacité d'Hôte de trois variétés d'orge locales vis-à-vis *d'Heterodera latipons.* Mémoire de magistère, INA, El-Harrach : 104p.

- **Oudjani W. 2009:** Diversité de 25 génotypes de blé dur etude des caractères de production et d'adaptation. Mémoire de magistre, Université de Constantine : 112 p.

- **Patil J et Gaur H.S. 2014:** The effect of root-knot nematode, *Meloidogyne graminicola* on the quality and the vigour of rice seed. *Nematology* 16: 555-564.

- P**erson-Dedryver F., Davy De Virville J., Chauveau M. 1984:** Modifications de la croissance et de l'intensité respiratoire de racines de blé infectées par *Heterodera avenae* Woll. *Agronomie*, 4 (9): 813-818.

- **Person-Dedryver F., et Pannetier D. 1987** : Etude in vitro des facteurs responsables de la formulation des populations femelles de pathotypes français *d'H. avenae* Woll. Sur variétés d'orge et de blé. *Agronomie*, EDS Sciences 7(10) : 779-788.

- **Pokhare S., Pankaj., Shakil N.A., Kumar J., Singh K. 2012:** foliar application of chemical elicitors induces biochemical changes in wheat against the cereal cyst nematode, *Heterodera avenae. Nematol. Medit*, (2012), 40: 181-187.

- **Prats H. 1960 :** Vers une classification des graminées .Revue d'*Agrostologue .Bull. Soc Bot.* France : 32-79.

- **Rajvanshi I. et Sharma G.L. 2007:** Eco-friendly management of phytonematodes. First edition, Oxford Book Company. Jaipur, India: 306 p.

- **Ramade F. 1984:** Eléments d'écologie- Ecologie fondamental. Ed: MCGROW, paris. Vol**:** 397 p.

- **Ramel F**. **2009:** Implication des sucres soluble dans les réponses aus stress xénobiotique et oxidatif chez *Arabidopsis thaliana.*Thèse de doctorat. Université de Rennes 1, France : 231p.

- **Reddy P.P. 1983:** Plant nematology. *Agric Publish Acad*., India, 287p.

- **Riley I.T, Nicol J.M. et Dababat A.A. 2009**: Cereal cyst nematodes: status, research and outlook. *Proceedings of the First Workshop of the International Cereal Cyst Nematode Initiative*, 21-23 October 2009, Antalya, Turkey. Ian T. Riley, Julie M. Nicol, A. A. Dababat Editors: 45-52.

- **Ritter M. 1982:** Importance des nématodes à kyste des céréales. *Bull. OEPP*, 12 : 307-316.

- **Rivoal R. 1978 :** Biologie d'*Heterodera avenae* Woll en France. Différences d'éclosion et de développement des deux races Fr1 et Fr4. *Revue de Nématologie* (1) : 171-179.

- **Rivoal R. 1979:** Biologie d'*Heterodera avenae* Woll en France. Etude des différences dans les conditions thermiques d'éclosion des races Fr1 et Fr4. Revue *Nématol,* 2 (2): 233-248.

- **Rivoal R. 1982 :** Caractérisation de deux écotypes d'*Heterodera avenae* en France par leurs cycles et conditions thermiques d'éclosion. *Bulletin OEPP*12 :353-359.

- **Rivoal R. et Besse T. 1982:** Le nématode à kyste des céréales. *Perspectives Agricoles* (63) :38-43.

- **Rivoal R. 1983:** Biologie d'*Heterodera avenae* Woll. en France. III. Evolution des diapauses des races Fr1 et Fr4 au cours de plusieurs années consécutives. Influence de la température. Revue de *Nématologie* (6): 157-164.

- **Rivoal R, Rivière J.M., Penard P. et Simon A. 1989:** Etude du profil cultural de deux sites, l'un infesté,l'autre non, par *H. avenae* Woll.:conséquences sur le développement radiculaire du blé tendre d'hiver. *Agronomie* 9 : 719-728.

- **Rivoal R., Doussinautl G. et Hulle M. 1990**: Influence of *H. avenae* on winter wheat in France: Experiments with resistant and susceptible varieties. *Ann. Appl. Biol,* (116). Grande Bretagne: 537-548.

- **Rivoal R., Cook R. 1993:** Nematode pests of cereals. In Evans, K., Trudgill, D.L et Webster, J.M. (Eds). Plant *parasitic nematodes in temperate agriculture,* Wallingford, UK, CAB International: 259-303.

- **Rivoal R. et Bourdon P. 2005:** Sélection du ray-grass d'Italie pour la résistance au nématode à kystes des céréales H. avenae. Fourrages 2005 (184): 557-567.

- **Rivoal R. et Nicol J.M. 2009**: Past research on the cereal cyst nematode complex and future needs. *In* Cereal cyst nematodes: status, research and outlook. *Proceedings of the First Workshop of the International Cereal Cyst Nematode Initiative*, 21-23 October 2009, Antalya, Turkey. Ian T. Riley, Julie M. Nicol, A. A. Dababat Editors: 2-10.

- **Seifi S. et Bide A.K. 2013:** Effect of mineral fertilizers on cereal cyst nematode *H. filipjevi* population and evaluation of wheat. *WAP Journal.* Volume (3), Issue 4: 137-141.

- **Seinhorst J.W. 1981:** Water consumption of plants attacked by nematodes and mechanisms of growth reduction. *Nematologica* 27: 34-51.

- **Simon H., Codaccioni P., Lecœur X. 1989:** Produire des céréales à paille. Tec & Doc Lavoisier Ed., Paris: 333p.

- **Singh H., et Yadav B.S. 1986:** Plant Parasitic Nematodes of India, Problems and Progress. *Proc. Nat. Conf. IARI,* New Delhi: 3p.

- **Smaha D. 1998 :** Etude de la biologie du nématode à kyste des céréales *H.avenae* woll.1924. Essai de comportement de six variétés de blé dur vis-à-vis de deux populations de ce parasite. Mémoire de magistère. INA El Harrach, Alger: 150 p.

- **Smaha D.**, **Hamroun O. et Mokabli A. 2009:** Soil temperature and hatching of *H. avenae* in Algeria. *In* Cereal cyst nematodes: status, research and outlook. *Proceedings of the First Workshop of the International Cereal Cyst Nematode Initiative*, 21-23 October 2009, Antalya, Turkey. Ian T. Riley, Julie M. Nicol, A. A. Dababat Editors: 130-136.

- **Smiley R.W., et Yan G. 2010:** Cereal Cyst Nematodes**.** *In*: Biology and management in Pacific Northwest wheat, barley, and oat crops. *A Pacific Northwest Extension Publication:* 1-9.

- **Subbotin S.A., Vierstraete A., De Ley P., Rowe J., Waeyenberge L., Moens M. et Vanfleteren JR. 2001:** phylogenetic relationships within the cyst-forming nematodes *(Nematoda, Heteroderidae*) based on analysis of sequences from the regions of ribosomal DNA. *Mol phylogenet evol.* 21:1-16.

- **Triboï E. et Ntonga J.1993** : Effet de l'azote et du rayonnement sur le développement des feuilles et de l'épi chez le blé d'hiver : mise en place de l'appareil foliaire et de la structure de l'épi. Agronomie 1993 ; 13 : 253-65.

- **Troll A.A. et Lindesly J., 1955**: A photometric method for the determination of proline. *J. Biol. Chem,* (215): 655-660.

- **UN.A.F.PA, 2007:** Régions de production mondiale du blé dur. *Associations de Fabricants de Pâtes Alimentaires de l'Union Européenne* **:** www.pasta-unafpa.org

- **Vanasse A. et Yves D. 2012:** Les céréales à paille : Guide de production. Edition : CRAAQ : 13-19.

- **Vanstone V. 2009:** Managing cerealcyst and root lesion nematodes. *Grains Resarch and Development Corporation:* 1-6.

- **Volkmar K.M. 1987:** Cereal Cyst Nematode (Heterodera avenae) on Oats II: Early Root Development and Nematode Tolerance. *Journal of Nematology* 21(3): 384-391.

- **Whitehead A.G. 1998**: Plant nematode control. Wallingford. UK, CAP.

- **Wiese M.V. 1987:** Compendium of wheat diseases. Second edition by the *American Phytopathological Society*: 112 p.

- **Wilcox-Lee D.A., et Loria R. 1987:** Effects of nematode parasitism on plant water relations. *In*: *Veech, J.A. & Dickson D.W.* (Eds), *Vistas on nematology,* Hyatts ville: *Society of Nematologists*: 260-266.

- **Williams T.D., et Siddiqui M.R. 1972:** *Heterodera avenae*. *In Commonwealth institute of helminthology*, descriptions of plant parasitic nematodes, set.1 and 2, clows & Sons Ltd,London: 4 p.

- **Williamson V.M. et Kumar A. 2006:** Nematode resistance in plants: the battle underground. *Trends Genet* (22):396-403.

- **Ykhlef N., Djekoun A., Bensari M. et Vignes D. 2001:** l'efficacité de l'utilisation de l'eau marqueur physiologique de la résistance à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum Desf*). *Sciences et technologie* 10: 87-93.

ANNEXES

ANNEXES

Annexe 1 : Caractéristiques générales des trois variétés étudiées (Zaghouane et Zaghouane, 2006).

Variété	Mohamed Ben Bachir	Boussallem	GTA/dur
Origine	Algérie	Algérie	(CIMMYT) Mexique
Année d'inscription	1931	2000	2001
Pedigree	sélection dans la population locale	HEIDER/MARTE/ HUEVO Cro 1CD 4141	Gaviota/durum
Type de variété	lignée pure	lignée pure	lignée pure
Caractéristiques morphologiques			
Plante	dressé	demi dressé	demi dressé
Hauteur de la plante	120 cm	90-100c m	moyenne
Compacité de l'épi	compact	demi-lâche	compact
Couleur de l'épi	roux	blanc	blanc
Forme du grain	allongé	allongé	allongé
Caractéristiques culturales			
Cycle végétatif	tardif	précoce	précoce
Tallage	moyen	fort	fort
Résistance			
au froid	résistante	bonne	résistante
à la verse	sensible	bonne	moyennement résistante
à la sécheresse	tolérante	bonne	résistante
Résistance aux maladies			
Rouille jaune	tolérante	résistante	résistante
Rouille brune	sensible	moyennement résistante	résistante
Rouille noire	sensible	résistante	moyennemnt résistante
Piétin verse	sensible	résistante	résistante
Piétin échaudage	tolérante	résistante	résistante
Oidium	tolérante	résistante	résistante
Septoriose	assez sensible	résistante	résistante
Fusariose	assez sensible	résistante	résistante
Productivité			
Rendement en grains optimal	20 qx/ha	50 qx/ha	50 qx/ha
Caractéristiques qualitatives			
Poids de mille grains (PMG)	moyen	moyen	moyen
Qualité semoulière	bonne	bonne	bonne

ANNEXES

Annexe 2 : Présentation de la ferme pilote Arrar Mohamed

Situation	Wilaya : Batna, Commune: El Madher
Superficie du bâtiment	2 ha
Parcours	480 ha
Surface agricole utile	1200 ha
Cultures pérennes	23 ha
Vocation	Céréales et élevage ovin
Ressources hydriques	Forage de 10 l/ s
Date de semis	01 décembre 2013, variété Waha
Dose de semis	1,3 q/ha
Rotation	Jachère travaillée/ céréales
Fertilisation	Urée 46 %
Désherbage chimique	Mélange de Topic /Dialon (appliqué en avril)
Rendement du blé dur	17qx / ha (2011), 8 qx//ha (2012), 5 qx/ ha (2013)

Annexe 3 : Photo de l'appareil de Fenwick

RÉSUMÉ

RESUME

Notre étude comparée du comportement de trois variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) vis-à-vis d'*Heterodera avenae* est menée au laboratoire et sur champ. Trois variétés de blé dur sont ainsi étudiées : Mohamed Ben Bachir, Bousselam et GTA/dur.

Le recensement des populations du nématode sur sol naturellement infesté montre que la variété Bousselam est la variété la plus attractive et la plus multiplicatrice du nématode.

L'expérience menée au laboratoire révèle l'effet négatif de ce parasite sur les premiers stades de la croissance de la plante du blé dur, en diminuant le nombre et la longueur des talles herbacées des plants infestés par rapport à ceux non infestés.

Tandis que, l'essai sur champ naturellement infesté montre que la variété Bousselam est la plus affectée du fait qu'elle présente des valeurs significatives de l'interaction Variété * Nématode pour la plupart des paramètres étudiés. Mais, elle semble plus tolérante que la variété GTA/dur en produisant un rendement plus élevé. Par contre, la variété locale M.B. Bachir est la plus tolérante tout en manifestant une meilleure défense contre ce nématode.

Mots clés : comportement variétal, blé dur, *Triticum durum*, Nématode à kystes des céréales, *Heterodera avena*, Batna

ملخص :

الهدف من هذه الدراسة هو مقارنة سلوك ثلاثة أصناف من القمح الصلب (*Triticum durum* Desf.) ضد النيماتود : *H. avenae* وهي M.B. Bachir, Bousselam et GTA/dur. :

إحصاء عدد أكياس النيماتود في الحقل بينت أن الصنف بوسلام هو الأكثر جذبا و ملاءمة لتكاثر هذا النوع من النيماتود.

أما تجربة المختبر فقد بينت تأثير هذا الطفيلي على المراحل الأولى لنمو نبات القمح الصلب، حيث لاحظنا نقص عدد و طول تفرعات السيقان لدى النبتات التي تحتوي على هذا الطفيلي مقارنة بالخالية منه.

في حين أن تجربة الحقل أظهرت بأن الصنف بوسلام هو الأكثر تأثرا بهذا الطفيلي حيث أظهرت القياسات تأثر معظم صفاته المدروسة خاصة الزراعية منها.

في حين أن الصنف المحلي محمد بن بشير هو الصنف الأكثر مقاومة لهذا الطفيلي.

الكلمات المفتاحية : السلوك النوعي، القمح الصلب , *Triticum durum*, *H. avenae* , *باتنة*

ABSTRACT:

This study aims to compare the behavior of three varieties of *Triticum durum* Desf. against the cereal cyst nematode *H. avenae* : M.B. Bachir, Bousselam and GTA/dur.

The census of populations' nematode in the field shows that Bousselam is the most attractive and multiplier variety of *H. avenae*.

The experiment of the laboratory demonstrates the negative effect of this nematode on the precocious development stages of durum wheat. All the infested plants develop fewer tillers than the no infested plants.

Whereas, the experiment conducted at the field shows that Bousselam variety is more attacked by the nematode. The interaction Variety * Nematode present a significant values concern the most parameters studied for this variety. Contrary, M.B. Bachir the local variety appears the best defense to the multiplication of this nematode.

Key words: Varietal behavior, Durum wheat, *Triticum durum*, Cereal cyst nematode, *Heterodera avenae*, Batna.