

Utilisation de quelques marqueurs physiologiques et biochimiques dans l'expression de tolérance au stress hydrique chez 10 géotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf)

Nesrine Hacini¹ & Louhichi Brinis²

¹Département de Biologie, Centre Universitaire d'El Tarf, Algérie.

²Laboratoire d'Amélioration Génétique des Plantes, Département de Biologie, Université Badji Mokhtar Annaba ,BP12, 23000, Algérie.

Révisé le 15/03/2011

Accepté le 23/01/2012

ملخص

لن نستطيع مقاومة أو وضع إستراتيجية ضد العوامل البيئية المفروضة، لذلك عمل الإنسان على ترويض النباتات التي تستطيع التأقلم مع الأوضاع الطبيعية. و بالتحديد تحمل الإجهاد المائي. لهذا اختير عشرة أصناف من القمح الصلب تحت مستويات مختلفة من الإجهاد المائي، وذلك لهدف التعرف على بعض الآليات الفيزيولوجية و البيوكيميائية لظاهرة التحمل. مع فحص مسبق لحويوية و نشاط البذور (فحص النيتواروليوم TZ)، متبعة بفحص لتغير الأنسجة و تأقلم الأصناف، أظهرت النتائج حيوية الأصناف 1،3،4 مع تأقلم في الأنسجة للأصناف 1،4،5،9،10. مع تكيف أسموزي، وتراكم كبير من المستقبلات الاسمورية انه الحمض البرولين، و السكريات خاصة الأصناف 1 و 8.

الكلمات المفتاحية: قمح صلب - إجهاد مائي - فيزيولوجيا - تأقلم - وراثية.

Résumé

Ne pouvant lutter ou édifier une stratégie contre les facteurs incontournables de l'environnement, l'homme a essayé de domestiquer des plantes qui ont pu progressivement s'adapter aux contraintes imposées. Parmi les voies préconisées, la gestion rationnelle des ressources naturelles, notamment hydriques, figurent parmi les plus privilégiées.

L'exploration des mécanismes physiologiques d'adaptation au déficit hydrique chez les céréales permet d'en sélectionner quelques uns pour enfin les introduire dans un programme national d'intensification. A cet effet, dix géotypes de blé dur ont fait l'objet d'étude au plan physiologique, biochimique, histologique ainsi que sur le plan de la vigueur et la viabilité des semences.

Les résultats montrent que l'essai topographique au Tétrazolium semble accorder une plus grande vigueur chez les géotypes 1, 3 et 4. L'étude histologique met en valeur les variétés 1, 4, 5, 9, 10 qui montrent une bonne présentation de tous les tissus et ce, sous conditions de stress hydrique. Les osmoprotecteurs tels que la proline et les sucres solubles augmentent avec le stress, démontrant ainsi leur rôle de tolérance ou forme adaptative. La turgescence enfin, montre que V1 et V8 sont plus efficaces à gérer l'échange hydrique foliaire.

Mots clés : Blé dur - Déficit hydrique - Adaptation - Physiologie - Génétique

Abstract

As long as man enables to build a strategy against environmental factors, he tried to domesticate plants which were progressively able to be adapted to those imposed constraints. Among those ways, efficient use of natural resources, water resources in particular, was a prevalent mean. Adaptative physiological mechanisms exploration to water deficit for cereals has permitted to select some of them in order to incorporate them within national intensification program. For this purpose, ten genotypes of durum wheat have been submitted to physiological, biochemical, histological study and viability and seed vigor as well.

Results that have been obtained show that Tetrazolium test seems to accord a greater seed vigor for genotypes 1, 3, and 4. Histological study points out varieties 1, 4, 5, 9, and 10 which show a good presentation of all tissues under water stress conditions. Osmoprotectors, such as free proline and soluble sugars have increased with stress. This enables us to confirm tolerance role or adaptative pathway. Cell turgor show that V1 and V8 are more efficient for water exchanges and equilibrium in leaves.

Keywords : Durum wheat – Water deficit- Adaptation-Physiology - Genetic

1 INTRODUCTION

L'Algérie importe actuellement jusqu'à 3.5 x 10⁶ tonnes de blé dur, le rendement grain national de cette culture est le plus faible du bassin méditerranéen [1, 2].

La majeure partie des emblavures se trouve localisée sur les hautes plaines caractérisées par l'altitude, des hivers froids, un régime pluviométrique insuffisant et irrégulier. La pluviométrie et les températures sont sujettes à de grandes variations intra et inter-annuelles, qui affectent sérieusement les rendements [3-5]. Dans les zones arides et semi-arides, une grande hétérogénéité des formes de sécheresse sont rencontrées [6-7]. La seule observation des variations pluriannuelles des rendements observés chez l'espèce ne permet pas de déterminer précisément les formes de réactions qu'elle développe.

L'analyse doit alors être complétée par une meilleure compréhension des mécanismes de fonctionnement de la plante dans le but de déterminer les réponses physiologiques et morphologiques d'adaptation à la sécheresse [8 - 10].

Cette adaptation variétale s'exprime selon Demarly [11] comme une réponse à la contrainte imposée par une succession de modifications au niveau cellulaire, subcellulaire et moléculaire qui sont dépendants des potentialités génétiques. D'après le Tetrazolium Testing Committee [12], beaucoup de graines sont ni complètement viables ni complètement mortes ; cette méthode est utilisée aujourd'hui à travers le monde comme une méthode très vivement recommandée pour estimer la viabilité des graines [13,14].

La transgressivité de certains caractères intéressants pour les traits de tolérance au stress hydrique notamment ont été rapportés par Brinis [15], Morsli [16] et Arnon [17], où certains génotypes ont des réponses spécifiques à l'égard du stress hydrique par une adaptation ou une accommodation transitoire exprimée à travers un trait morphophysiologique. Desclaux *et al.* [18] montrent qu'il est possible de mettre le milieu de son côté en localisant et en intensifiant les céréales dans les seules régions où les potentialités sont vite valorisées.

Selon Turner [19], l'objectif principal reste l'évaluation du type idéal (idéotype) et constitue une voie d'approche rigoureuse pour une meilleure productivité dans des conditions environnementales spécifiques. A ce titre, l'analyse prédictive, celle qui consiste à fournir une explication ultime du rendement obtenu, reste une voie privilégiée ; elle a comme objectif de traduire les réponses physiologiques et biochimiques en termes de niveaux d'adaptation vis-à-vis du stress hydrique. De même, l'évaluation des altérations possibles des semences grâce au test Tetrazolium est un autre objectif non moins négligeable, dès lors qu'il permet de quantifier la vigueur des semences.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Matériel végétal

L'étude a porté sur 10 variétés de blé dur (*Triticum durum*) d'origines diverses (Tab. 1).

Tableau 1. Caractéristiques variétales.

Variétés	Caractéristiques
V ₁ : waha	Haute productivité –semi-naine
V ₂ : Gta/Dur	Haute productivité – bonne qualité
V ₃ : Stk / Haul / Heca-1	Crois.mexicain –bonne qualité
V ₄ : Ammar-8	Lignée avancée intensive
V ₅ : Msbi-1 / Quarmal	Semi- naine-productive
V ₆ : Azeghar-1/6/Zna-1/5 /Awl 1/4/ Ruff//jo/Cr/3/F9 .3	Croisement I CARDA—Bonne adaptation
V ₇ : Ville mur/3/Lahn //Gs /Stk /4/Dra2/ Bcr/ 5/Bcr/Lks4 /4/	Lignée avancée –Crois.ICARDA-Cimmyt
V ₈ :Gsb/1/4/D68-1-93A 1A//RuFF/Fg/3/Mtl5/5/Wdz6/Gi/4	Var.CIMMYT –Adaptée.
V ₉ : Lahaucan	Adaptée au stress hydrique
V ₁₀ : Da- 6 Black awns/3/Bcr//Memo/God	Bonne production-Bonne adaptation

2.2 Dispositif expérimental

Les variétés ont été testées à la station expérimentale de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC), à l'Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie (INRAA) d'El Khroub, Constantine, et au laboratoire d'Amélioration génétique des plantes Université Badji Mokhtar Annaba (UBMA).

2.3 Traitements

Un stress hydrique imposé **T1** a été comparé à un témoin **T0** (sans stress hydrique).

Le prélèvement des échantillons est selon la méthode des blocs complètement randomisés, à raison de trois répétitions par traitement.

- **T0** : témoin correspondant à la capacité au champ soit environ 500 ml/pot.
- **T1** : correspond au stress prononcé et équivalent à environ 150ml/pot .

2.4 Analyses effectuées

- **Essai topographique au tétrazolium (test TZ)** Selon Tétrazolium Testing Committee [12] la viabilité et la vigueur des semences peuvent être testées par la méthode du T.Z. L'utilisation du Triphenyl tétrazolium chlorure est un processus qui évalue la respiration des tissus embryonnaires. Le produit, incolore, en contact avec les diverses parties embryonnaires, se transforme en un composé « le Formazan » qui peut prendre une couleur rouge vif à rouge foncé. Les tissus vivants prennent donc cette couleur ; en outre, la vivacité ou l'intensité de la couleur est proportionnelle à la vigueur des graines. En absence de coloration, les tissus sont supposés être non viables. L'expression de la relation viabilité/vigueur de semences est ainsi mise en évidence grâce à ce test.
- **Histologie**
Elle a été réalisée avec la méthode de double coloration, décrite par Chaker [14]. Des coupes histologiques ont été effectuées au niveau des feuilles de blé dur, à la partie médiane (au stade de 5 à 6 feuilles).
- **Dosage des sucres solubles**
La méthode de Schields *et al.* [20] a été utilisée.

Turgescence cellulaire

La méthode de Ladigues [21] a été privilégiée à cet effet. Elle renvoie vers les poids respectifs de la matière fraîche, matière sèche et matière à la turgescence (formule du RWC)

$$R. W. C. = \frac{PF - PS}{PT - PS} \times 100 \%$$

PF: poids frais

PS: poids sec

PT: poids à turgescence

PS: poids sec de la feuille à la turgescence

- **Teneurs en osmolytes**

Accumulation de proline selon la méthode utilisée par Monneveux [22].

2.5 Analyse statistique

Le traitement des données obtenues a été réalisé avec le test de (Student - Newman Keuls) et l'analyse de la variance ANOVA.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Test de tétrazolium

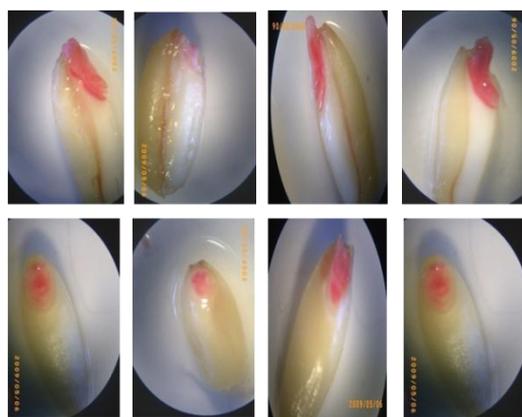
Les résultats obtenus montrent que d'une manière générale, les variétés 6 et 7 présentent une très grande viabilité et également une forte vigueur (Fig.1).

Ceci est exprimé grâce aux parties embryonnaires respectives qui ont une forte coloration rouge vive, dénotant ainsi l'aptitude des graines à exprimer les facultés germinatives.

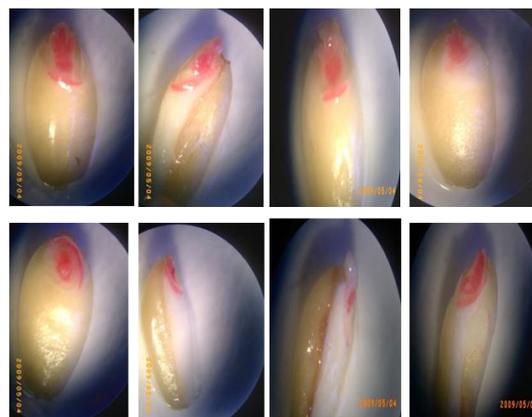
Il a été noté pour les variétés 1, 3 et 4, une vigueur moindre comparativement aux autres variétés ; ceci est vérifié notamment par quelques coléoptiles incapables de répondre à la respiration des tissus (Fig. 2).

Pour la variété 5, le test TZ montre que la vigueur est très faible, voire médiocre.

Les variétés 2, 8, 9 et 10 répondent de manière assez négative au TZ, la coloration topographique des tissus embryonnaires est sporadique quand elle n'est pas nulle. Ces variétés peuvent être donc considérées comme des variétés à faible pouvoir germinatif et n'ayant surtout aucune vigueur (Fig. 3).

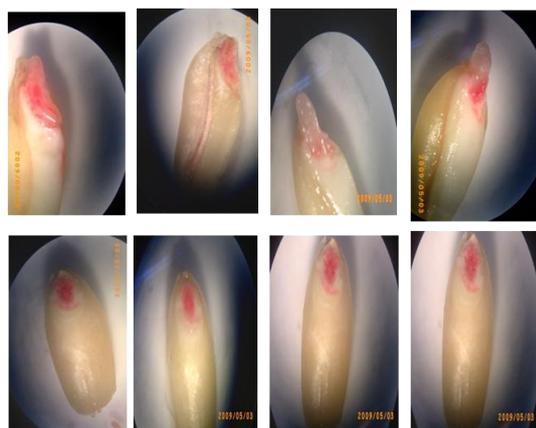


V6 : Azeghar-1/6/Zna-1/5Awal/4/Ruff//Jo/Cr/3/F9.3

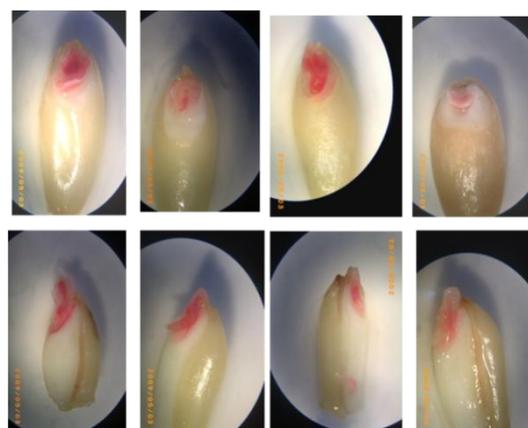


V7 : Villemur/3/Lahn//Gs/Stk/Dra2/Bcr/5/Lks4 /4/...

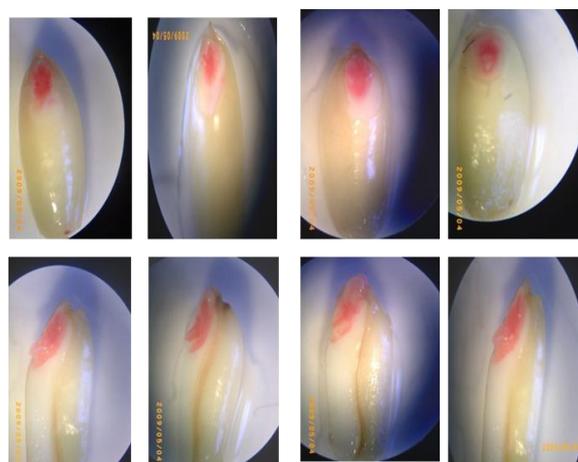
Figure 1. Les variétés 6 et 7 sont les plus vigoureuses



V1: Waha



V3 : Stk/Hau/Heca-1



V4: Ammar-8

Figure 2. Les variétés 1, 3 et 4 sont viables et moyennement vigoureuses.

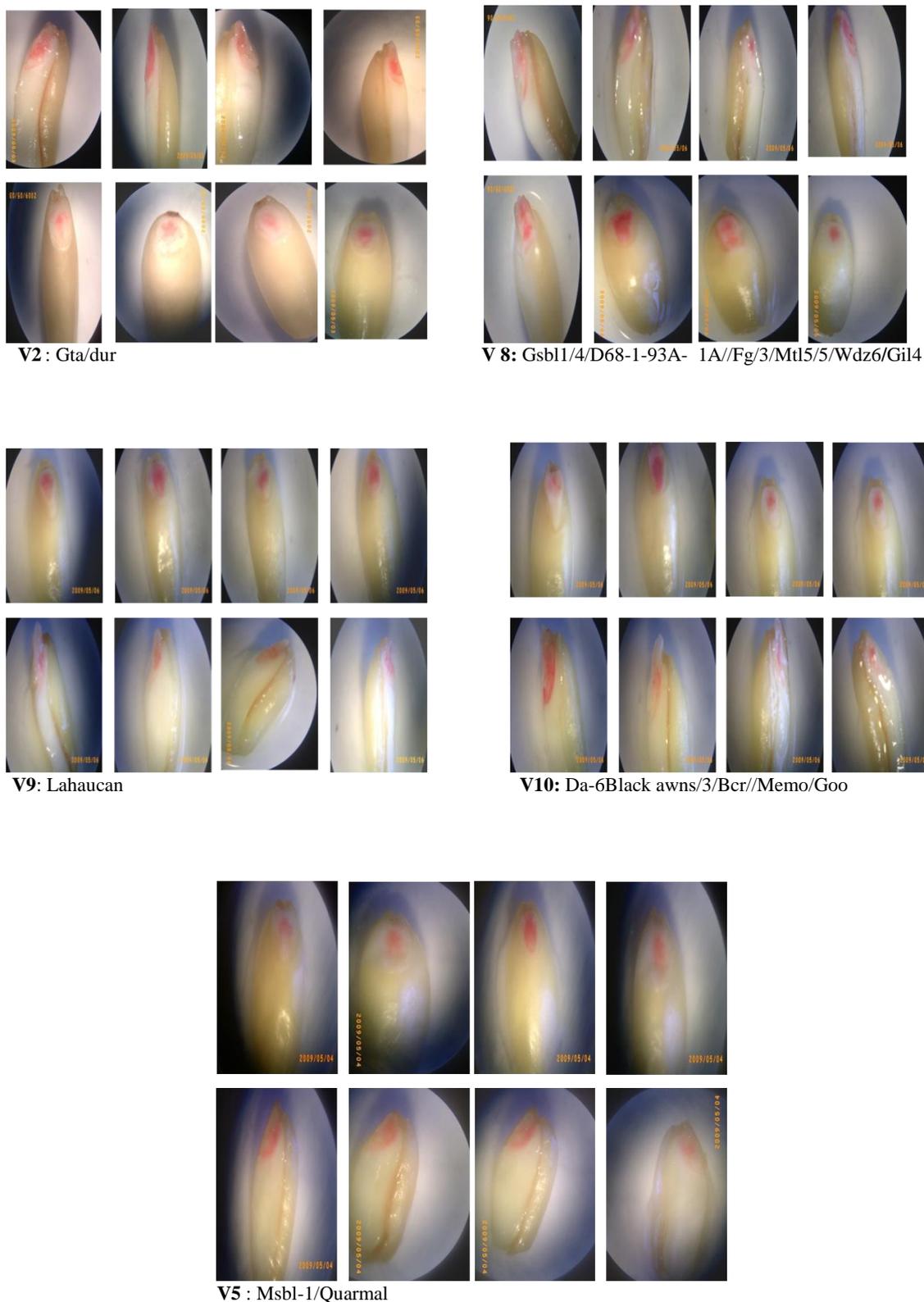


Figure 3. Les variétés 2, 8, 9 et 10 sont viables mais non vigoureuses. La variété 5 a une vigueur médiocre

3.2 Histologie

Les coupes histologiques, réalisées au niveau des feuilles de blé dur, représentent différentes étapes de stress par rapport au témoin sur les 10 variétés de blé dur qui ont servi à l'étude.

Les témoins

De manière générale, le témoin qui est représenté par les photos (V1T0), (V2T0), (V3T0), (V4T0), (V5T0), (V6T0), (V7T0), (V8T0), (V9T0), (V10T0) dans la figure 4 montre une similitude, sachant que ces feuilles n'ont subi aucun stress et donc montrent une structure histologique normale d'une feuille de monocotylédones à savoir :

- Un épiderme supérieur : (tissu protecteur) bien différencié formé par une assise de cellules rectangulaires de petites tailles. On note aussi la présence d'une cuticule plus au moins épaisse.
- Un mésophile homogène qui est formé par un parenchyme assimilateur (photosynthèse) et un parenchyme à parois épaissies (réserves).
- Un système vasculaire : (tissu conducteur) qui correspond aux nervures, composé de Xylème primaire vers l'épiderme supérieur et du phloème primaire vers l'épiderme inférieur, on note alors la superposition de ces faisceaux criblo vasculaires.
- Un sclérenchyme : (tissu de soutien) coiffant et protégeant les tissus conducteurs, formé par des cellules mortes dont les parois sont épaissies par la lignine (en fer de cheval).
- Un collenchyme : (tissu de soutien) présent parfois chez certaines coupes (V4 et V5), qui est représenté par des cellules arrondies, accolées au phloème.
- Un épiderme inférieur : où on note la présence de stomates.
- Les nervures sont latérales et parallèles.

Les stressés

- Les variétés 1, 4, 5, 9, 10 montrent une bonne présentation de tous les tissus et ne semblent pas être affectées par le stress. Nous pouvons donc les assimiler à des

variétés tolérantes, et qui peuvent se maintenir et terminer leur cycle de développement jusqu'à la maturité au champ.

- Les variétés 2 et 3 : les faisceaux libéro-ligneux (FLL) sont moins développés, mais montrent aussi un nombre élevé de faisceaux criblo-vasculaires. Ceci nous permet de conclure que ces variétés peuvent montrer des potentialités d'adaptation selon le stress appliqué.
- Les variétés 6 et 7 : les FLL sont moins différenciés.
- La variété 8 : la variété montre des adaptations par rapport au stress modéré (le nombre de FLL a augmenté).

3.3 Dosage des sucres solubles

L'analyse des sucres solubles révèle que, d'une manière générale, les traitements stressés ont une quantité plus importante de sucres solubles. En fait, les sucres solubles sont considérés comme étant des osmoprotecteurs, des indicateurs biochimiques de tolérance au stress hydrique.

Les variétés ayant accumulé des teneurs élevées en sucres sont supposées être celles qui résistent le mieux au stress (Fig. 5).

3.4 Turgescence cellulaire

- Les résultats obtenus montrent que les variétés V1 et V8 qui ont une RWC = 100% sont des variétés tolérantes au stress hydrique.
- Par contre les variétés V4, V5, V7 et V9 qui ont une RWC plus élevée que les autres semblent être les plus prometteuses, quant à une adaptation possible au stress (Fig.6).

3.5 Teneurs en osmolytes : accumulation de proline

Tous les génotypes ont réagi positivement en accumulant de la proline à des degrés divers. L'analyse statistique montre des différences très hautement significatives pour leur interaction (Fig.7).

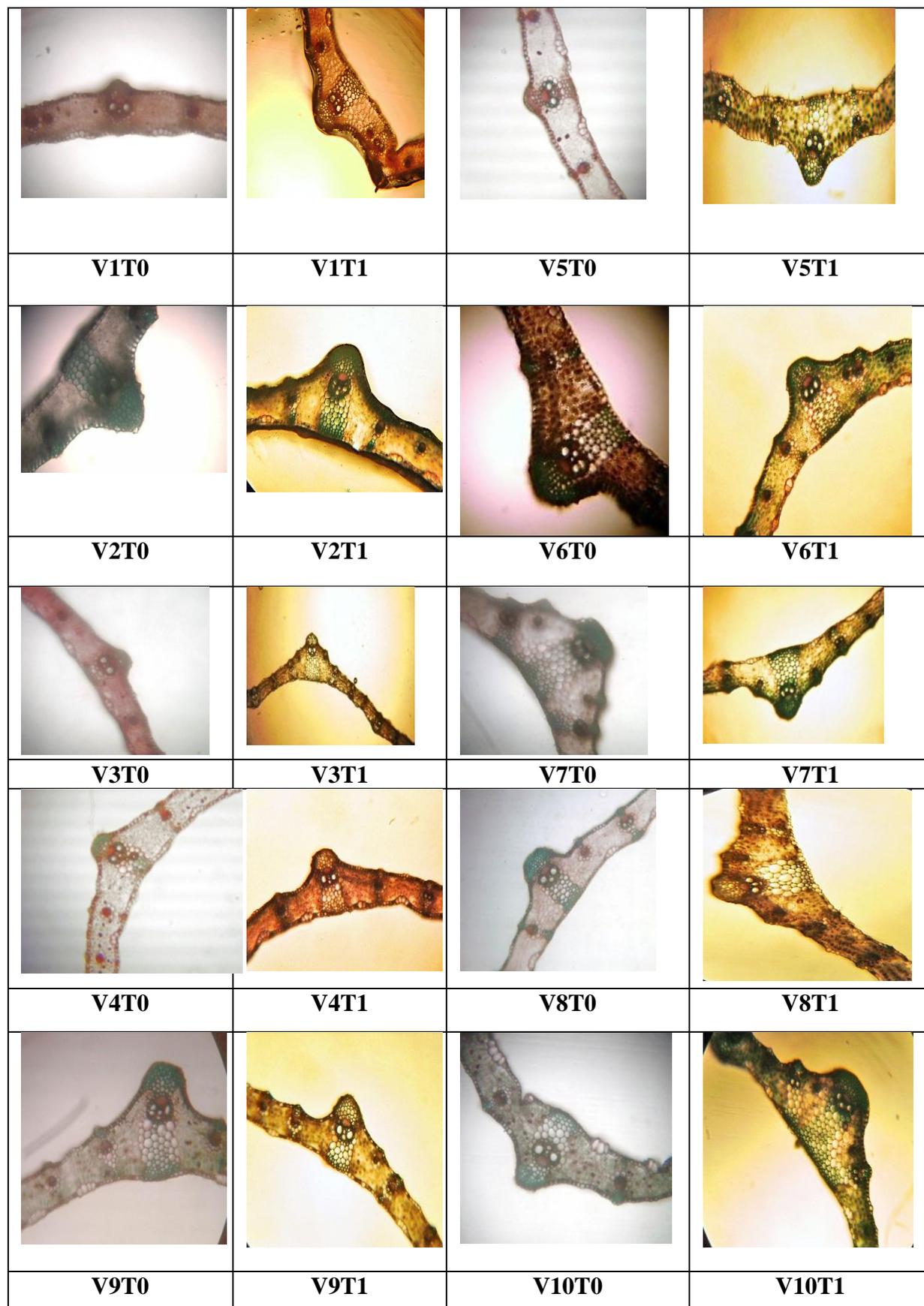


Figure 4. Coupes transversales des feuilles de blé dur du témoin et stressé (x100)

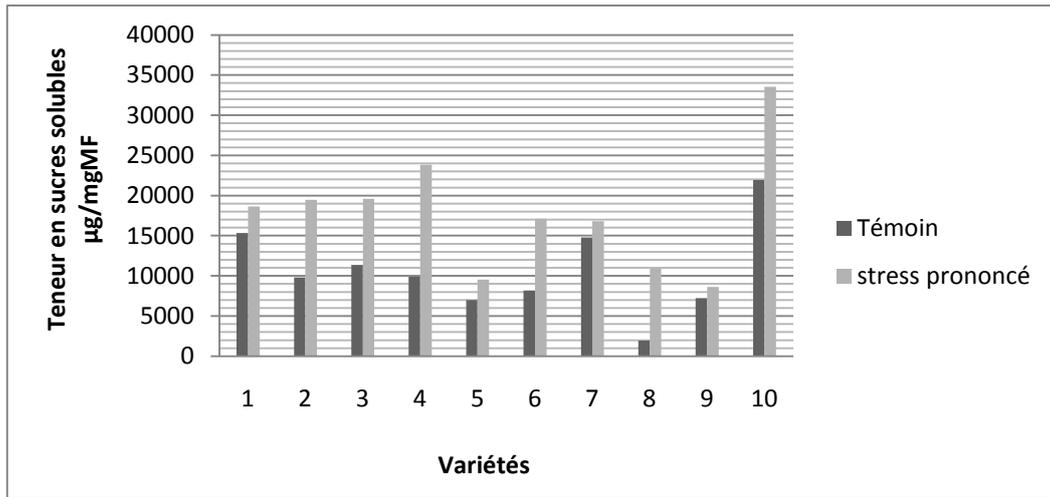


Figure 5. Evolution de la teneur en sucres solubles en fonction des niveaux de stress hydriques (Témoin, stress prononcé)

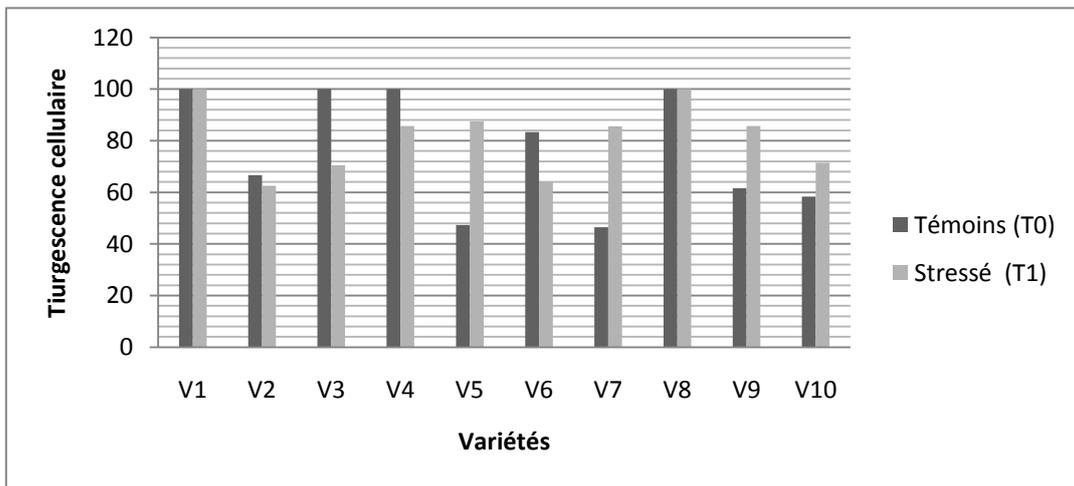


Figure 6. Turgescence cellulaire des dix variétés en fonction des niveaux de stress (exprimée en %)

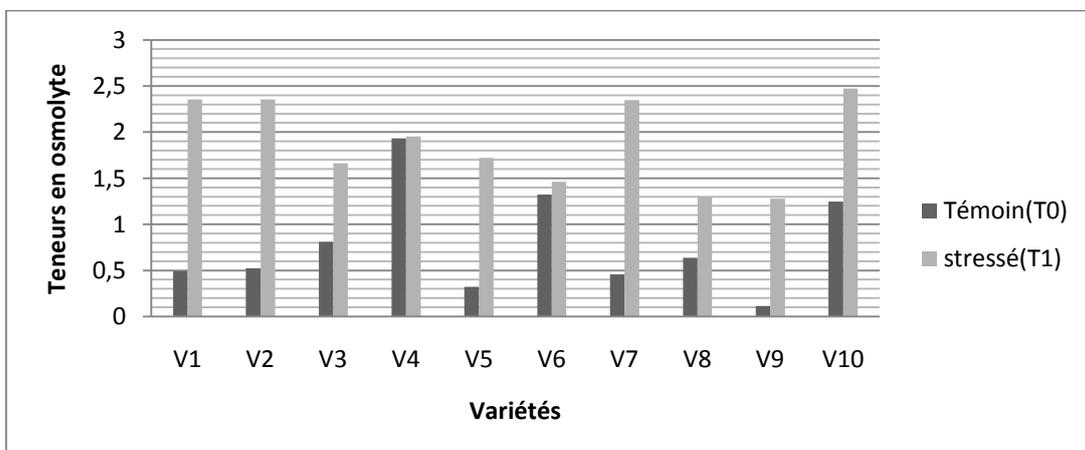


Figure 7. Evolution de l'accumulation de la proline en fonction des niveaux de stress.

3.6 Résultats de l'analyse de la variance ANOVA et Test (Student - Newman Keuls)

Les résultats des marqueurs physiologiques et biochimiques obtenus ont fait l'objet d'une analyse ANOVA pour comparer le comportement de chaque variété selon les traitements (Tab.2).

Tableau2. Comparaison entre les variétés : analyse de la variance

			Traitements	
			T ₀	T ₁
Variables	Proline	F _{obs}	2.564	2.267
		P	0.038*	0.061 ^{ns}
	Sucre soluble	F _{obs}	628.317	1704.590
		P	0.0001***	0.0001***
	RWC	F _{obs}	4.004	1.527
		P	0.005**	0.205 ^{ns}

* : significatif au seuil de 5%.

** : Hautement significatif au seuil de 1 %

***: Très hautement significatif au seuil de 1 %

ns : Non significatif.

4. INTERPRETATION STATISTIQUE

4.1 Sucres solubles

T0 - sans déficit hydrique :

Le test est très hautement significatif ($p < 0.001$) et le classement très hétérogène des variétés selon le test Newman et Keuls n'est en fait qu'une confirmation supplémentaire de cette réponse.

T1 - avec déficit hydrique : La réponse au stress hydrique est très hautement significative. Le classement en groupes homogènes reste très diversifié. Les sucres solubles, admis comme étant un excellent marqueur de tolérance au stress, témoignent des mécanismes génétiques endogènes à chacun des génotypes.

4.2 Turgescence cellulaire

T0 - sans déficit hydrique : Au seuil de 0.005, le classement par groupe homogène montre, un seul lot, à l'exception de la variété V10. Un second groupe apparaît et subdivise l'ensemble du germoplasme en deux catégories, l'une avec les variétés V1, V3, V4 et V8 l'autre avec le

reste des génotypes, à savoir V2, V5, V6, V7, V9 et V10.

T1 - avec déficit hydrique : le test est très hautement significatif. Il y a eu effet stress hydrique sur les réponses respectives des différents génotypes. L'accommodation physiologique grâce à ce mécanisme par lequel la plante arrive à manifester une certaine plasticité membranaire pour éviter la plasmolyse, peut être retenue comme un trait d'adaptation et de ce fait, en termes de tests indirects, peut constituer un outil prédictif très intéressant dans la sélection précoce.

4.3 Accumulation de proline

T0 - sans déficit hydrique : L'analyse statistique montre qu'il y a un effet significatif ; ce qui prouve qu'il y a une réponse variétale spécifique même en absence de stress.

Dans les conditions optimales de culture (sans déficit hydrique), les 10 génotypes réagissent différemment eu égard à l'accumulation de proline.

Le classement des génotypes en groupes homogènes fait ressortir un premier groupe (A) où seule la V9 ne figure pas ; un deuxième groupe (B) où seule la V4 n'est pas incluse.

T1 : avec déficit hydrique

Lorsque le stress est imposé, l'effet est très hautement significatif. Les réponses génotypiques sont très spécifiques d'une variété à une autre. Ce résultat est conforté par le test de Newman et Keuls où il ressort une très grande hétérogénéité au niveau du classement par groupe homogène. Ceci est quelque peu attendu au regard de l'aptitude génotypique de chaque variété. L'origine du germoplasme semble aussi être une des explications de cette réponse.

5. CONCLUSION

A la lumière des résultats obtenus, se dégagent un certain nombre de points à même de constituer une explication globale des mécanismes physiologiques, histologiques et biochimiques exploités.

En effet, la présente contribution traite de tests indirects, appelés aussi tests prédictifs, effectués au stade juvénile de la plante. L'élaboration d'un rendement final en grains, sous contrainte hydrique peut à juste titre être considérée comme étant d'abord le résultat de

manifestations physiologiques et biochimiques, traduit en termes de réflexes ou d'accommodations transitoires, temporaires. Parmi ces réponses, la turgescence cellulaire pour les variétés V1 et V8 semble être un trait déterminant dans la sélection de génotypes développant une aptitude à une gestion et utilisation plus efficiente de l'eau.

L'osmoprotection est un autre trait pour lequel les chercheurs sont unanimes quant à sa participation dans la tolérance des génotypes. La diversité des réponses, même si au fond, la protéolyse débouche nécessairement vers une accumulation de solutés tels la proline et les sucres solubles, prouve que les génotypes réagissent différemment selon leur origine génétique.

L'étude histologique fait ressortir que sous conditions de stress hydrique, cinq génotypes (1, 4, 5, 9 et 10) ont tout de même manifesté une résistance membranaire grâce à une bonne présentation de tous les tissus impliquant une absence d'altération.

Un autre volet, celui de l'exploration topographique au tétrazolium, a permis d'identifier les génotypes dont les semences sont vigoureuses physiologiquement. Il s'agit des variétés 1, 3, et 4. Ces différents tests viennent ainsi fournir des explications présentées souvent comme un préalable à une meilleure connaissance du végétal.

En effet, la traduction des manifestations physiologiques et / ou biochimiques constitue un moyen de vérifier les accommodations transitoire qui peuvent servir de base à la sélection directe. Cependant tous les génotypes ne réagissent pas de la même manière et peuvent avoir des réponses spécifiques au stress hydrique. L'approche multi-caractères, dite aussi synthétique regroupe plusieurs traits déterminants dans la tolérance aux stress abiotiques notamment.

A l'instar des résultats qui découlent de la présente étude, les génotypes utilisés se sont exprimés par plus d'un caractère à la fois et affichent de ce fait, à la fois la diversité des réponses mais aussi de leur faculté à contourner le stress, moyennant des coûts physiologiques. Demarly [11] parle de répartition des charges génotypiques en conditions de stress ; le programme génétique fixe n'étant plus apte à supporter les variations imprévisibles du milieu. L'ensemble des résultats montre qu'il y a effectivement une autre voie de sélection, non moins complémentaire à la sélection classique.

Il s'agit de regrouper les différentes réponses des génotypes étudiés et d'identifier des marqueurs physiologiques et biochimiques d'adaptation au stress hydrique.

Ce travail nous aura permis d'aller dans les détails et de comprendre le fonctionnement des génotypes sous contrainte hydrique. A partir de là, ces marqueurs peuvent enfin être utilisés et incorporés dans le cadre d'un programme d'amélioration génétique des céréales.

REFERENCES

- [1] Belaid A., 2000. The economics of durum wheat production in WANA : past trends and future prospects in : *Proceedings du symposium blé, Enjeux et stratégies*. 49-70.
- [2] Ait kaki Y., 2007. Etude comparative des potentialités technologiques des blés durs algériens anciens et récents : Relation de la qualité de ces blés par différentes stratégies d'études : Critères technologiques (infra rouge), Biochimiques (électrophorèse bidimensionnelle) et moléculaire PCR. Thèse de Doctorat d'Etat en Sciences. Université Badji Mokhtar Annaba, 121p.
- [3] Ait Kaki S., 2008. Contribution à l'étude de l'interaction génotype X milieu pour la qualité technologique chez le blé dur. Thèse de Doctorat d'Etat en Sciences. Université Badji Mokhtar Annaba, 127p.
- [4] Adda A., 2006. Effet du stress hydrique sur le comportement morpho physiologique du système foliaire et racinaire chez différents génotype de blé dur (*Triticum durum*). Thèse de Doctorat en Sciences Université d'Es Sénia, Oran, 327p.
- [5] Bouzerzour H., 2002. Rythme de développement des variétés contrastées de blé dur (*Triticum durum* Desf) . Analyse de la croissance et développement. *Annales de la recherche agronomique*. Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie INRA., 52-70.
- [6] Assabah A., 2006. Evaluation and perspectives of the sector of cereal 2006. Office Algérien interprofessionnel des céréales (OAIC). 85p.
- [7] Adda A., Sahnoune M., Kaid-Harche M., Merah O., 2005. Impact of water deficit intensity on *Triticum durum* wheat seminal roots, *C.R. Biologie*. 918-927.
- [8] Levitt J. Sullivan C.Y., Krull E., 1960. Adaptation of plants to water and high temperature stress. *Bull. Res. Coun.*, Vol 2 , 80-173.

- [9] Hsiao T.C., 1973. Plant responses to water stress. *Ann. Rev. Plant. Physiol.*, 24, 519-570.
- [10] Levitt J., 1980. Responses of plants to environmental stresses. Vol II, Water, radiation, salt and other stresses, Academic Press, Inc, 606 p.
- [11] Demarly Y., 1984. Mécanismes génétiques de l'adaptation chez les végétaux. *Rev. Actual. Bot.*, Vol. 131 (1), 125-137.
- [12] Tetrazolium Testing Committee, 1970. Tetrazolium Testing Handbook. For Agricultural seeds. Contribution N° 29 to the Handbook of Seed Testing. Eds. Association of Official Seed Analysts. p.62.
- [13] Copeland L. 1976. Principles ships of seed weight and technology. Burges Publising company. Minneapolis USA. 107p.
- [14] Chaker A., 2003. Etude de l'effet des stress thermiques (chaleur et froid) sur quelques paramètres physiologiques et biochimiques du blé dur (*Triticum durum* Desf), Thèse de Doctorat d'Etat en Sciences. Université Badji Mokhtar Annaba, 25-62.
- [15] Brinis L., 1995. Effet du stress hydrique sur quelques mécanismes morpo physiologiques et biochimiques de traits d'adaptation et déterminisme génétique chez le blé dur. Thèse de Doctorat d'Etat en Sciences Université Badji Mokhtar Annaba. 156p.
- [16] Morsli L., et Brinis L., 2010. Effet du stress hydrique sur quelques mécanismes physiologiques et biochimiques d'adaptation chez huit génotypes de blé dur (*Triticum Durum* DESF). *Revue des Sciences et de la Technologie, Synthèse*, Vol. 21, 27-37.
- [17] Arnon D.I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoxydase in *Beta vulgaris*. *Plant. Physiol.*, 24, 1-25.
- [18] Desclaux D., & Porier D., 2004. Moucheture du blé dur: bilan des connaissances colloque: grandes cultures et semences en langue doc Roussillon DADP, 1-35.
- [19] Turner N.C. 1997, in Mussel H, R.C. Staples (Eds), *Stress physiology of crop plants*, Wiley Interscience, New-York, 343p.
- [20] Benbelkacem A, Mekniand M.S & Rasmusson D.C., 1984. Breeding for high tiller number and yield in barley. *Crop Sci.* 24, 968-972.
- [21] Schields R. and Burnett W. 1960. Determination of protein bound carbohydrate in serum by a modified anthrone method. *Anal. Chem.*, Vol. 32, 885-886.
- [22] Ladigues P. V., 1975. Some aspect of tissue water relations in three populations of *Eucalyptus Viminalis labill* . *New. Phytol.*, 75, 53-62.
- [23] Monnneux P, 1991. Quelles strategies pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales? In : *l'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides*. AUPELF- URE,F Ed. John Libbey Eurotext, 165-186.