

# EFFET DU DÉFICIT HYDRIQUE SUR LES TRANSFORMATIONS ANATOMIQUES DES RACINES ET LA TENEUR RELATIVE EN EAU DES FEUILLES DU BLÉ DUR (*TRITICUM DURUM* DESF.)

ADDA Ahmed<sup>1</sup>  
et MERAH Othmane<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire d'agro-biotechnologie  
et de nutrition en zones semi-aride  
Université Ibn Khaldoun de Tيارت,  
Algérie

<sup>2</sup>Université de Toulouse, INP-  
ENSIACET, LCA (Laboratoire de  
Chimie Agro-industrielle),  
F-31030 Toulouse, France

<sup>3</sup>INRA, UMR 1010 CAI, F-31030  
Toulouse, France

## Résumé

*La tolérance au déficit hydrique est une fonction impliquant plusieurs paramètres qui souvent s'interfèrent entre eux. Les transformations structurales qui se manifestent à l'échelle des différents tissus et organes intensifient souvent leurs capacités à limiter la perte d'eau en situation de déficit hydrique. Les racines s'avèrent les plus concernées par ces transformations. L'étude présentée illustre les principales transformations anatomiques au niveau de la zone subérimée des racines séminales du blé dur et leur implication dans la rétention et la conductance de l'eau vers les parties aériennes en situation de décroissance du potentiel hydrique du substrat. Les plantes du blé dur sont conduites sous quatre régimes hydriques, 100%, 60%, 40% et 25% de la capacité au champ. Avant la réalisation des mesures, les plantes ont subi un choc osmotique par application du NaCl. Les mesures ont porté sur les transformations des cellules endodermiques et l'évaluation de la teneur relative en eau des feuilles. Les résultats indiquent que l'accentuation du déficit hydrique engendre l'épaississement de la paroi interne des cellules endodermiques, la réduction de leurs dimensions et la réduction du diamètre des vaisseaux ligneux du métaxylème. Ces transformations s'avèrent efficaces dans le maintien de l'hydratation de la partie aérienne en limitant la perte d'eau des racines vers le sol et augmentent la résistance hydraulique des racines assurant ainsi une meilleure ascension de la sève.*

## INTRODUCTION

Le déficit hydrique est la principale contrainte abiotique limitant la production agricole. Cette situation caractérise la région méditerranéenne qui se définit par des irrégularités spatiales et temporelles de la déclaration de cette contrainte. Devant cette situation, l'utilisation des génotypes tolérants à la sécheresse s'impose (LOSS et SIDDIQUE, 1994; GRANDO et CECCARELLI, 1995). La compréhension et la définition des paramètres impliqués dans la fonction d'adaptation, présente un intérêt majeur dans tout programme visant à améliorer les facultés adaptatives de cette espèce. La réponse et le remodelage du système racinaire au

déficit hydrique, présentent une contribution fondamentale dans le processus de tolérance à la sécheresse chez le blé dur. La croissance et la capacité d'élaboration du rendement dépendent fortement de la croissance et du fonctionnement du système racinaire. Les difficultés pratiques rencontrées dans la surveillance de la croissance racinaire, rendent difficile l'estimation exacte de la répartition verticale des racines (LEON et SCHWARZ, 1992 ; MIAN *et al.*, 1994). Cependant, l'étude de la morphologie et l'anatomie des racines, souffrent des difficultés qu'impose la lourdeur expérimentale. Ceci explique la faiblesse des niveaux de variabilité utilisée dans les différentes études.

Ainsi, les résultats dégagés à travers les différentes manipulations s'avèrent faibles. La plupart de ces études se consacrent essentiellement au système racinaire adventif, des quelles se sont dégagées des différences importantes des génotypes dans leurs réponses aux situations de déficit hydrique (YADAV et SHARMA, 1982; TEULAT, 1997). Les études consacrées à la caractérisation des racines séminales du blé restent insuffisantes (WAHBI et GREGORY, 1995; MALIK *et al.*, 2002). Les résultats dégagés des

différentes études concernant cette espèce, explique dans leur majorité l'effet du déficit hydrique sur les variations morphologiques des racines adventives sous les régimes hydriques déficients (BENLARIBI *et al.*, 1990; MOTZO *et al.*, 1993). Il serait admissible que l'effet du déficit hydrique déclaré à des stades tardifs de développement, englobe des modifications différentes que celles constatées à des phases juvéniles.

#### Matériel et méthodes

#### Le matériel végétal et conduite de

#### l'essai

Le matériel végétal utilisé pour la réalisation des trois essais est composé de huit génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) d'origine et de degré de tolérance au déficit hydrique différents (Tab.01). Parmi la collection figurent, deux variétés algériennes réputées d'une large utilisation dans la production céréalière locale, quatre génotypes italiens issus du projet IAO et enfin deux génotypes introduits des centres de sélection, ACSAD et ICARDA.

Tableau 01: L'identification des génotypes utilisés dans l'étude

Génotype	type	Origine
NEFFER	Lignée fixe	IAO (Italie)
ACSAD299	Lignée fixe	ACSAD (Syrie)
OUED ZENATI	Variété (population locale)	Locale (Algérie)
CTA264	Lignée fixe	IAO (Italie)
HEDBA3	Variété (population locale)	Locale (Algérie)
JAPPA3246	Lignée fixe	IAO (Italie)
APPULO	Lignée fixe	IAO (Italie)
WAHA (CHAM1)	Lignée fixe	ICARDA (Syrie)

L'essai est mené dans une serre à conditions contrôlées au niveau de l'Institut des Sciences Agronomiques et Biologiques de l'Université de Tiaret, dans des conditions de température de 20°C diurne, 15°C nocturne et une humidité relative de 70%. Le semis est réalisé dans des cylindres en PVC de 60cm de long et 5cm de diamètre, remplis d'un substrat d'une faible capacité de rétention (27%) composé de sable et de fumier, à des proportions respectives de 8 : 1. Les grains préalablement désinfectés et prégermés sont semés dans les cylindres. Au stade une feuille complètement différenciée chaque cylindre est vidée à 10 cm de la

surface de son contenu. Une couche de 3 cm d'épaisseur de polyester est placée dans la limite de la couche inférieure du substrat. Les cylindres sont ensuite remplis du mélange enlevé. A la limite de la surface des cylindres les plants sont placés dans des petits pots et ce pour limiter toute prolifération éventuelle des racines adventives (Fig.1).

Après la levée, le régime d'irrigation est modifié pour l'ensemble des cylindres. Ceux du traitement SDH sont maintenus à la capacité au champ par apport quotidien du volume d'eau déterminé par voie pondérale.

Les cylindres des traitements ADH sont

divisés en trois lots (ADH1, ADH2, ADH3) et au niveau des quels on a procédé par arrêt d'arrosage progressif. A la date des mesures les plants auront reçus 27 jours de stress au niveau du lot ADH3, ceux issus du lot ADH2 17 jours et enfin ceux du lot ADH1 10 jours correspondant à des humidités respectives de 3, 7 et 15%. La réhydratation du substrat des cylindres des traitements ADH s'est faite par leur disposition dans des pots recevant un volume de 200 ml quotidiennement. L'eau d'irrigation est substituée chaque trois jours, par une solution nutritive préparée au laboratoire (Tab.02).

Tableau 02 : Composition de la solution nutritive

Eléments	Solution-mère	Composition de la solution
KNO <sub>3</sub>	101.1g/l	5ml/l
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	136.09g/l	1ml/l
Citrate de fer	38.91g/l	1ml/l
ZnSO <sub>4</sub> (7H <sub>2</sub> O)	0.28g/l	1ml/l
(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> (4H <sub>2</sub> O)	0.12g/l	1ml/l
H <sub>3</sub> Bo <sub>3</sub>	1.85g/l	1ml/l
MgSO <sub>4</sub> (7H <sub>2</sub> O)	246.47g/l	1ml/l
CaCl <sub>2</sub> (2H <sub>2</sub> O)	147.02g/l	1ml/l
MnSO <sub>4</sub> (H <sub>2</sub> O)	0.84g/l	1ml/l
CuSO <sub>4</sub> (5H <sub>2</sub> O)	0.25g/l	1ml/l

### Application du choc osmotique

Cette manipulation consiste à intensifier la pression osmotique du substrat au niveau de la zone subérifiée des racines. Ainsi 24 heures avant les mesures, la couche superficielle du substrat (en dessous du gobelet contenant les racines adventives) est délicatement récupérée et mélangée avec du NaCl à raison de 15 g par 1000g de substrat et présentant une pression osmotique d'environ 6062 KPa. Le substrat ainsi modifié est réinstallé dans les cylindres.

### Les mesures effectuées

#### La structure des racines

Un échantillon d'une longueur de 1cm de la zone subérifiée des racines séminales, localisée dans les premier 10 cm de la surface des cylindres, est prélevée et immédiatement fixé avec un

mélange d'éthanol, de formol et d'acide acétique (17V, 3V, 1V) pendant 12 h. Les échantillons sont ensuite lavés à l'eau courante pendant le même que celui de la fixation et déshydratés par passage dans des solutions d'éthanol à concentration croissante (50%, 70%, 90%, 100% et 100%). Les échantillons sont imprégnés et inclus dans de la paraffine fondue à 56°C et coupés à l'aide d'un microtome (LEIKA RM2145) à une épaisseur de 7 µm. Après déparaffinage au toluène, les coupes sont lavées et déshydratées à l'éthanol et colorés à l'aide du carmin aluné et vert de méthyle.

Les observations ont porté sur l'épaisseur du cadre de l'endoderme et la longueur des cellules endodermiques. Les mesures ont été effectuées à l'aide d'un microscope de marque ZEISS doté d'un micromètre oculaire.

### La teneur relative en eau

La teneur relative en eau des tissus de la feuille est estimée au niveau de l'ensemble des plants avant et après l'application du choc osmotique.

Le limbe de la feuille est sectionné à sa base et immédiatement pesé (Pf). La partie sectionnée est placée dans un tube à essai rempli d'eau distillée. L'ensemble est maintenu à l'obscurité et à une température de 24°C pendant 12 heures. Les feuilles sont délicatement essayées en surface et pesées à nouveau, ce qui donne le poids en pleine turgescence (Ppt). La matière sèche (Ps) de la feuille est obtenue par passage à l'étuve à une température de 80°C pendant 48 heures. La teneur relative en eau est déterminée par le rapport :

$$TRE = ((Pf - Ps) / (Ppt - Ps)) \times 100$$

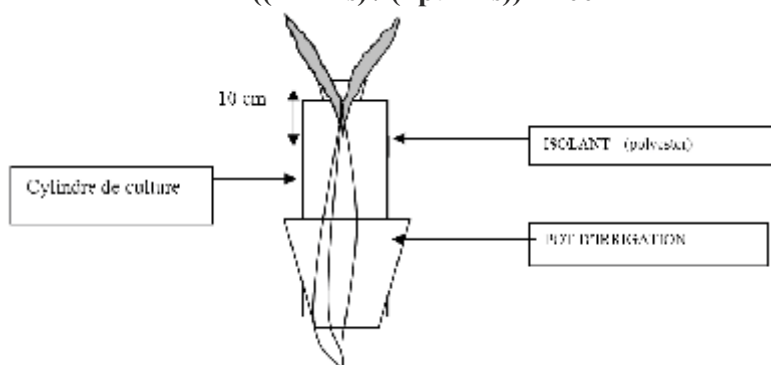


Figure 1 : Le dispositif adopté dans l'expérimentation

## Résultats et discussions

### La teneur relative en eau

L'estimation de la teneur relative en eau représente un indicateur physiologique efficace dans l'état d'hydratation des plantes en fonction des régimes hydriques disponibles dans le substrat de culture. Ainsi tout déséquilibre dans l'alimentation hydrique, s'exprime régulièrement dans la dépression de cette teneur (RICHARDS, 1987 ; CLARCK, 1991).

L'estimation de ce paramètre, indiquerait sur l'état hydrique de la plante avant et après l'application du choc osmotique au niveau de la zone subérifiée des racines séminales.

Le but escompté à travers cette investigation s'oriente principalement vers les transformations des barrières racinaires opérées suite aux manifestations d'adaptation limitant la perte d'eau à partir des zones racinaires conductrices, non absorbantes (zones subérifiées).

L'analyse des résultats obtenus (Tab.03) montre que la teneur relative en eau des plants est grandement influencée par la nature du génotype ( $p<0.001$ ), la situation hydrique ( $p<0.001$ ) et

l'application du choc osmotique ( $p<0.001$ ). Il est de noter qu'une influence importante est exercée sur ce paramètre par l'interaction entre la situation hydrique et le choc osmotique ( $p<0.001$ ).

Les plants issus des différentes situations hydriques réagissent de manières très distinctes pour la rétention d'eau après l'application du choc osmotique. Ainsi les plants issus du traitement conduit à 100 % CC, sont les plus sensibles à l'abaissement du potentiel hydrique au niveau de la zone subérifiée des racines. La valeur moyenne de la teneur relative en eau (Fig.02) est de 93.77 % avant l'application du choc osmotique, tandis qu'après elle n'est que de 49.64 %. La régression de la teneur en eau est ainsi évaluée à 52.94 %.

Au niveau des plants issus du traitement ayant subi le plus faible déficit hydrique, la dévaluation de la teneur relative en eau est moins prononcée en comparaison avec celle constatée précédemment. L'estimation de ce paramètre avant et après l'application du choc osmotique présente des valeurs respectives de 94.40 % et 62.32 %.

Dans ce cas, la baisse de la teneur en eau est de 66.02 %.

Chez les plants issus du deuxième et troisième traitement avec déficit hydrique (ADH2, ADH3), on ne constate aucune dévaluation de la teneur en eau estimée avant et après l'application du choc osmotique. Ceci s'explique par une préservation de la conductance d'eau et l'insensibilité à la variation du potentiel hydrique du substrat au voisinage de la zone subérifiée des racines séminales.

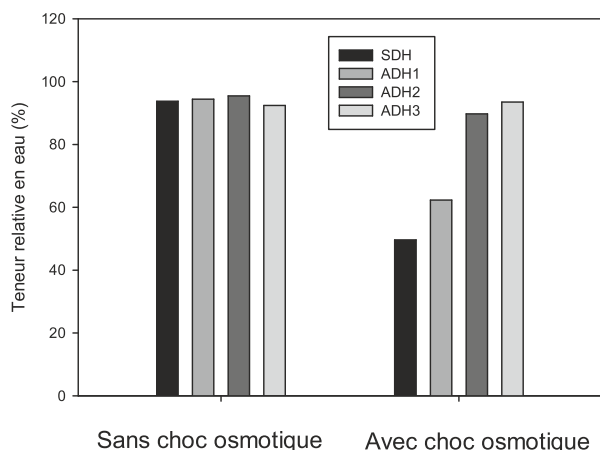
Les génotypes conduits agissent différemment à l'application du choc osmotique. Cependant, au niveau des plants issus du dispositif ADH1, la réduction la plus importante de la teneur en eau d'une valeur de 44.95 % est manifestée par APPULO. A l'opposé la plus réduite des dépressions est enregistrée par WAHA avec 20.93 %.

A l'échelle des plants issus du traitement ADH2, le génotype WAHA se distingue parmi la collection par la plus faible baisse de la teneur en eau à la suite de l'application du choc osmotique avec une valeur de 2.64 %. Tandis qu'OUED ZENATI inscrit la plus forte dépression avec 9.6 %.

Tableau 03 : Influence du déficit hydrique, le choc osmotique et la nature génotypique sur la teneur relative en eau des plantes

Génotype	Hydrique	Génotype x effet hydrique	Génotype x stress osmotique	Hydrique x stress osmotique
Test F	Test F	Test F	Test F	Test F
6.98***	1153.08***	5.22***	5.56***	1176.48***

Figure 2: Teneur relative en eau sous différentes situations hydriques avec et sans application du choc osmotique



### Effet du déficit hydrique sur l'épaisseur de la paroi interne des cellules endodermiques

Les résultats obtenus dans cette étude (Tab.04) montrent que l'épaississement pariétal interne de l'endoderme est fortement influencé par les facteurs de l'étude. Cependant, le régime hydrique appliqué permet des variations importantes dans l'expression de ce paramètre ( $p<0.001$ ). De son côté la variabilité testée agit de manière très marquée sur son élaboration ( $p<0.001$ ). Les réactions extériorisées par les génotypes testées sont différentes en réponse aux niveaux de déficit hydrique appliqué ( $p<0.001$ ).

Tableau 04 : Effet du génotype et du traitement hydrique sur les paramètres anatomiques de la zone subérimée des racines

Paramètres	Effet du génotype	Effet hydrique	Génotype x hydrique
	Test F	Test F	Test F
Epaisseur de l'endoderme	15.09***	402.10***	9.89***
Diamètre des cellules de l'endoderme	1.92	53.04***	0.97
Diamètre des vaisseaux	26.08***	49.79***	1.12

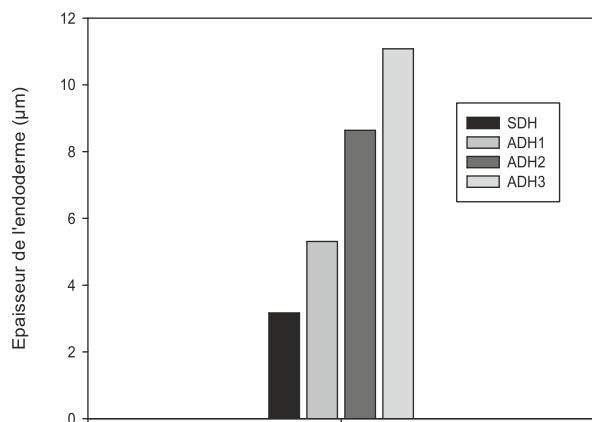
La lecture des résultats obtenus (Fig.3), démontre que le déficit hydrique provoque un épaississement très prononcé de la paroi interne de l'endoderme ( $r=0.870^{**}$ ).

L'application du premier déficit hydrique a provoqué un épaississement

de 40.3 %. Le second déficit hydrique (ADH2) intensifie d'avantage l'épaississement de la paroi de l'endoderme avec un taux de 63.31%. Au niveau des racines issues des plants ayant subi le plus long déficit hydrique (ADH3) l'épaisseur du cadre subérimé

des cellules endodermiques est la plus importante, elle présente une valeur génotypique moyenne de 11.08  $\mu\text{m}$  ce qui représente un taux de progression de 71.39 % en comparaison avec celui des plants du traitement hydrique témoin (SDH).

Figure 3: Effet du déficit hydrique sur l'épaississement de l'endoderme



Les résultats obtenus, montrent que l'épaisseur de la paroi du cadre de l'endoderme est grandement dépendante de la nature des génotypes conduits.

Le génotype WAHA se distingue par une progression dans l'épaississement de l'endoderme importante. Ainsi entre le traitement témoin (SDH) et le stress le moins sévère aucune réaction n'est notée, tandis qu'à partir du deuxième niveau du déficit hydrique la différence est notable. Au niveau du stress hydrique le plus long, l'endoderme est le plus épais avec une valeur moyenne de 12.45 $\mu\text{m}$ . Cette valeur représente une progression de 75% par rapport au traitement témoin. Une situation presque similaire est observée chez le génotype APPULO avec une valeur de 67%.

Le génotype NEFFER présente l'endoderme le moins épais au niveau du stress le plus long (ADH3) avec une valeur de 6.60 $\mu\text{m}$ , ce qui représente une progression de 50% par rapport au témoin, qui est d'une valeur génotypique moyenne de 3.30 $\mu\text{m}$ .

### Effet du déficit hydrique sur le diamètre des cellules endodermiques

L'analyse des résultats obtenus (Tab.04) illustre que l'élaboration de cette caractéristique anatomique dépend étroitement du régime hydrique appliqué d'une part ( $p<0.001$ ), et de la nature des génotypes expérimentés ( $p<0.001$ ) de l'autre. Aucune distinction génotypique n'est constatée, aux variations du régime hydrique pour

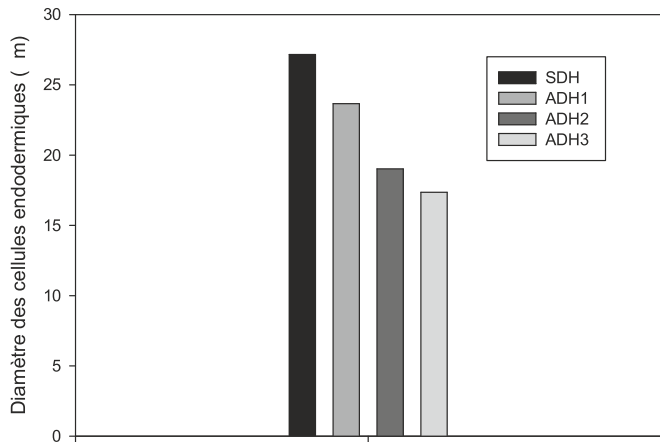
l'élaboration de ce paramètre ( $p>0.05$ ). Ceci indique que les réactions manifestées par la variabilité conduite en présence du déficit hydrique, sont similaires.

L'intensification du déficit hydrique permet une réduction du diamètre des cellules de l'assise endodermique ( $r=-0.775^{**}$ ).

Les réductions constatées sont progressives avec l'appauvrissement du substrat en ressources hydriques

(Fig.4). Ainsi au niveau du traitement ADH1 on enregistre une réduction évaluée à 12.88 % par rapport au traitement témoin, à l'échelle du traitement ADH2 elle est de 30 % et enfin au niveau du traitement ADH3 la réduction est la plus importante, estimée à 36.14 %.

Figure 4: Effet du déficit hydrique sur le diamètre des cellules endodermiques



Une variation est constatée au niveau des différents génotypes pour la formation de ce caractère. A l'application du premier déficit hydrique, le génotype NEFFER se distingue parmi la variabilité conduite en inscrivant la plus importante réduction du diamètre des cellules endodermiques avec une réduction évaluée à 26.82 %. A l'opposé, et dans la même situation hydrique les génotypes, JAPPA3246 et OUED ZENATI s'avèrent indifférents pour l'élaboration de cette caractéristique.

C'est au niveau du traitement ADH2 que la réaction des génotypes est plus marquante. Ainsi WAHA et ACSAD299 semblent mieux valoriser cette réaction, en inscrivant les plus grandes réductions avec des niveaux respectifs de 36.38 % et 41.07 %.

A l'échelle du traitement ayant subi le plus long stress hydrique c'est le génotype NEFFER qui se définit par la réduction la plus élevée avec un niveau de 43.29 %. D'une manière générale les variétés locales, OUED ZENATI et HEDBA3 manifestent les plus faibles réductions de la surface des cellules endodermiques en réponse aux déficits hydriques appliqués.

### Effet du déficit hydrique sur le diamètre des vaisseaux ligneux

La réduction du diamètre des vaisseaux du xylème, présente un caractère d'adaptation au déficit hydrique. Il est évoqué d'abord par RICHARDS et PASSIOURA (1981), ensuite d'autres travaux justifient son rôle dans l'accroissement de la résistance hydraulique et l'amélioration de la circulation ascendante de la sève brute dans les éléments conducteurs.

Les résultats dégagés dans cette étude

(Tab.04), montrent que l'élaboration du diamètre des vaisseaux est grandement influencée par l'état hydrique du substrat ( $p < 0.001$ ) et la nature des génotypes testés ( $p < 0.001$ ). L'influence du déficit hydrique, agit par une réduction des diamètres des vaisseaux ligneux secondaires du xylème primaire ( $r = -0.589^{**}$ ). Le processus de la réduction du diamètre est perçu de manière identique par la variabilité conduite (Fig.05, Fig.06). Ceci se consolide par l'absence de source de variation issue de l'interaction entre les effets, génotypique et hydrique ( $p > 0.05$ ).

Les résultats obtenus (Fig.05) montrent que la réduction du diamètre des vaisseaux au niveau du traitement ADH1 est de 6.45 % par rapport à celui des plants témoins (SDH). Au niveau des traitements ayant subi des stress hydriques plus longs, les réductions des diamètres sont plus accentuées. Ainsi

au niveau du lot ADH2, la réduction est évaluée, à 18.71 % celle du traitement hydrique ADH3, elle est de 23.67 %.

Les valeurs du diamètre, inscrites, présentent des variations à travers les génotypes expérimentés.

Cependant au niveau du traitement ADH1, les plus importantes réductions sont extériorisées par HEDBA3 et JAPPA3246, à des niveaux respectifs de 19.06 % et 10.13 %. A l'échelle du traitement ADH2, la variété locale HEDBA3 se définit par une réduction plus marquée, évaluée à 32.80 %, suivie de NEFFER (20.70 %) et OUED ZENATI (20.69 %). Enfin au niveau du lot où les plants ont subi la plus longue période de déficit hydrique, les génotypes HEDBA3, CTA264, NEFFER, OUED ZENATI et WAHA, inscrivent les plus grandes réductions avec des valeurs respectives de 32.07 %, 24.32 %, 24.32 %, 24.11 % et 24.10 %.

Figure 5: Effet du déficit hydrique sur le diamètre des vaisseaux ligneux

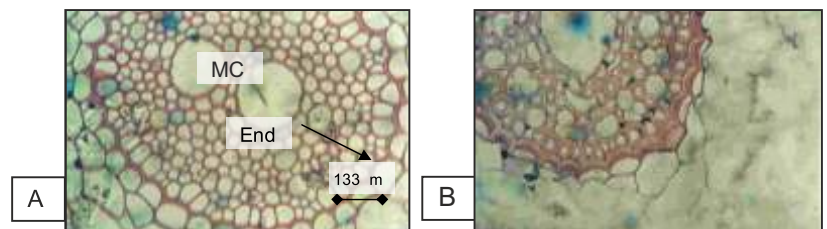
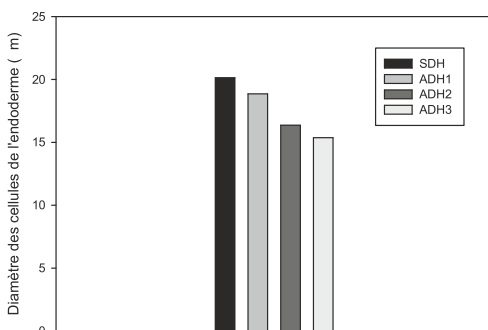


Figure 6 : Coupe transversale au niveau de la zone subérifiée de la racine montrant l'évolution de l'épaisseur d'endoderme chez le génotype WAHA (A : SDH, B : Avec déficit hydrique 3)

La réduction du diamètre des vaisseaux ligneux, imposée par une perte de turgescence lors de leur différenciation, accentue la résistance hydraulique des racines permettant une meilleure circulation ascendante et une rétention de la sève, en situation de déficit hydrique. Les résultats présentés se trouvent largement prouvés par les travaux de SHINGH et SALE (2000) qui démontrent que sous régime hydrique limitant, un système racinaire efficace du trèfle blanc se caractérise d'un déploiement en profondeur, une réduction du diamètre de racines ainsi qu'une réduction des vaisseaux conducteurs. Des résultats de même tendance sont dégagés par BANDYOPADHYAY et MALLICK (2003) sur le maïs.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bandyopadhyay P.k. and Mallick S., 2003. Effect of soil moisture levels on root distribution, water uptake and crop coefficient of winter maize in a humid tropic region. *Food Agric. Environ.* 3,4 : 141-147.
- Benlaribi M., Monneveux P. and Grignac P., 1990. Étude des caractères d'enracinement et de leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Agron.* 10 : 305-322.
- Clarke J. M. and Romagosa I., 1991. Evaluation of excised-leaf water loss rate for selection of durum wheat for dry environments. *Physiology-breeding of winter cereals for stressed Mediterranean Environments* (Montp. France, 3-6 July. 1989). Ed. INRA. Col. 55 : 401-413.
- Grando S. and Ceccarelli S., 1995. Seminal root morphology and coleoptile length in wild (*Hordeum vulgare* ssp. *spontaneum*) and cultivated (*Hordeum vulgare* ssp. *vulgare*) barley. *Euphytica* 86 : 73-80.
- Leon J. et Schwartz K.u., 1992. Description and application of screening method to determine root morphology traits of cereal cultivars. *J. Agron. Crop Sci.* 169 : 128-134.
- Loss S.P. and Siddique K.h.m., 1994. Morphological and physiological traits associated with wheat yield increases in Mediterranean environments. *Adv. Agron.* 52 : 229-276.
- Mian M.a.r., Nafziger E.d., Kolb F.l. and Teyker R.h., 1994. Root size and distribution of field-grown wheat genotypes. *Crop Sci.* 34 : 810-812.
- Motzo R., Attene G. and Deidda M., 1993. Genotypic variation in durum wheat root system at different stages of development in a mediterranean environment. *Euphytica* 66 : 197-206.
- Richards R.A. and Passioura J.B., 1981. Seminal root morphology and water use of wheat. II. Genetic variation. *Crop Sci.* 21 : 253-255.
- Richards R.a., 1984. Glauconess in wheat, its effect on yield and related characteristics in dryland environments, and its control by minor genes. In *Proc. 6th. Int. Wheat Genetics Symp.* (SAKANOTO S. eds.) Japan. pp. 447-451.
- Singh D.k. and Sale P.w.c., 2000. Growth and potential conductivity of white clover roots in dry soil with increasing phosphorus supply and defoliation frequency. *Agron. J.* 92 : 868-874.
- Teulat B., 1997. Recherches de marqueurs moléculaires liés à la tolérance au déficit hydrique chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.) thèse de doctorat, ENSA, Montpellier, France 199p.
- Wahbi A. and Gregory P.j., 1995. Growth and development of young roots of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes. *Ann. Bot.* 75 : 533-539.
- Yadav S.p. and Sharma S.p., 1982. A comparative study of seedling characters in wheat, barley, triticale and rye. *Seed Res.* 10 : 91-97.