

ETUDE DES CARACTERES D'ADAPTATION AU DEFICIT HYDRIQUE DE QUELQUES VARIETES DE BLE DUR ET D'ESPECES SAUVAGES APPARENTÉES: INTERET POTENTIEL DE CES VARIETES POUR L'AMELIORATION DE LA PRODUCTION.

**Study of the adaptation to water stress of some durum wheat and related wild species:
Potential interest of these species for the improvement of the yield**

KARA YUCEF¹ & BELLKHIRI CHEMS EDDINE²

karayoucef@hotmail.fr, chems25b@yahoo.fr

¹Université Mentouri. Faculté des Sciences de la Nature et de la vie. Département de Biologie végétale et d'Ecologie. Route de Ain Elbey, Constantine 25000 (Algérie).

²Université colonnel Elhadj Lakhdar. Batna.

RESUME

Divers caractères physiologiques liés à la tolérance à la sécheresse (Ajustement osmotique, teneur relative en eau et potentiel osmotique) ont été étudiés chez dix génotypes de blé dur à comportements agronomiques contrastés et chez une accession d'espèces sauvages apparentées (*Triticum durum cv Korifla/ Triticum dicocoides* 600808, *Aegilops geniculata* et *Aegilotricum Amphipoide*). La possibilité d'associer, chez le blé dur, tolérance à la sécheresse et rendement potentiel élevé a été discuté. Des relations étroites ont été observées entre ajustement osmotique et teneur relative en eau et confirment le rôle de l'ajustement osmotique dans la tolérance au déficit hydrique. Des corrélations significatives ont été trouvées entre ajustement osmotique et rendement au champ. Ce résultat suggère l'utilisation de l'ajustement osmotique et de la teneur relative en eau comme des critères de sélection dans les régions méditerranéennes. Les espèces sauvages apparentées au blé pourraient représenter dans le futur une source prometteuse à travers l'augmentation de la production en biomasse en général et de la production en grains en particulier.

Mots clés : Ajustement osmotique, teneur relative en eau, potentiel osmotique, *Aegilops*, Amphiploïde (*Aegilotricum*), blé dur, rendement en grain.

SUMMARY

Various physiological traits linked to drought tolerance (osmotic adjustment, relative water content, and osmotic potential) were studied in ten durum wheat genotypes with a contrasted agricultural behaviour, and in accession of wild related species (*Triticum.Durum cv Korifla/ Triticum dicocoides* 600808, *Aegilops geniculata* and *Aegilotricum Amphipoide*).

The possibility of associating, in durum wheat, drought tolerance and high potential yield was discussed. Close relationships were observed between osmotic adjustment and water relative content and confirm the role of osmotic adjustment in tolerance to water deficit. Moreover, significant correlations were found between osmotic adjustment and field yield. Therefore, the results suggest the use of the osmotic adjustment and the relative water content as criteria of selection in the Mediterranean region. Also, the related species to durum wheat and wild species may represent, in the future, an interesting source throughout increasing biomass production and therefore the grain yield.

KEY WORDS: Osmotic adjustment, relative water content, osmotic potential, *Aegilops*, *Amphipoide* (*Aegilotricum*), durum wheat, grain yield.

1 INTRODUCTION

Parmi les différents stress environnementaux, la sécheresse est la contrainte environnementale qui cause certainement le plus de dommages dans les productions agricoles. En effet, selon Trinchant et al., 2004, Chaque année, les surfaces perdues à cause des stress hydrique et salin varient autour de 20 millions d'ha dans le monde. En Algérie, la

rareté et le caractère irrégulier des précipitations (200 à 600 mm/an) peuvent être les facteurs d'une perte partielle ou totale de production, en particulier dans le cas des céréales.

En conséquence, la situation est particulièrement grave où les rendements sont faibles (moins de 10 qx/ha). Ces variations annuelles des conditions climatiques rendent

difficiles une sélection basée uniquement sur le rendement, car il s'agit d'un caractère fortement influencé par l'environnement et peu héritable. De ce fait, une réflexion sur les stratégies à entreprendre pour comprendre les mécanismes mis en jeu par les plantes afin de s'adapter aux conditions de l'environnement et de maintenir leur croissance et leur productivité s'impose (Hassani A et al., 2008). En effet, selon le degré de stress dans le milieu, les plantes sont exposées à des modifications de leur comportement morpho-physiologique (Bennaceur *et al.*, 2001), biochimique (Grennan, 2006) et minéral (Martinez et al., 2007). Ainsi, les plantes réagissent à ce stress, soit pour disparaître ou déclencher des mécanismes de résistance. Parmi ces mécanismes, l'ajustement osmotique joue un rôle primordial dans la résistance ou la tolérance de la plante à la contrainte (Munns et al., 2006). L'ajustement osmotique apparaît aujourd'hui comme un mécanisme majeur d'adaptation à la sécheresse. L'intérêt croissant qui lui est porté est lié à différents facteurs (maintien de la turgescence et de la croissance) (Boyer, 1985), retardement

de l'enroulement et de la sénescence foliaire, régulation stomatique (Hsiao et al., 1984), relations avec le comportement agronomique : relation entre capacité d'ajustement osmotique et rendement en grains sous stress hydrique (Morgan et al., 1986). L'ajustement osmotique permet le maintien de nombreuses fonctions physiologiques (Photosynthèse, transpiration, croissance...) (Grennan, 2006, Martinez et al., 2007), L'osmorégulation permet également une protection des membranes et des systèmes enzymatiques surtout dans les organes jeunes et la proline semble jouer un rôle dans le maintien des pressions cytosol-vacuole et de régulation du pH (Ottow et al., 2005).

L'ajustement osmotique peut intervenir à tous les stades de développement et son caractère inductible suggère qu'il n'a pas (ou peu) d'incidence sur le rendement potentiel.

Cette étude tente de décrire les paramètres liés à l'ajustement osmotique de quelques variétés de blé dur et une accession d'espèces sauvages apparentées au blé. Les espèces sauvages apparentées pourraient constituer une voie intéressante pour l'élargissement de la base génétique des blés cultivés et l'amélioration de leur tolérance non seulement aux stress abiotiques mais aussi aux stress biotiques. (Al Hakimi et al., 1995 ; Zaharieva et al., 2000). Par conséquent, à travers ce travail, nous chercherons à savoir si des caractères intéressants pouvaient être identifiés chez ces espèces sauvages apparentées, en vue de leur introduction dans des programmes de sélection.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 Matériel végétal

L'étude a porté sur dix huit génotypes dont :

- dix variétés de blé dur,
- six lignées interspécifiques, issues de croisement (*Triticum durum* cv *Korifla* / *Triticum dicoccoides*) présumées contrastées pour leur

teneur relative en eau. *Korifla* est une variété sélectionnée à l'ICARDA, précoce, productive et tolérante à la sécheresse. *Triticum dicoccoides* 600808 est une lignée tirée d'une population collectée en Jordanie et utilisée dans les programmes de sélection du blé dur CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maiz Y Trigo) /ICARDA (International Center for Agricultural Research in Dry Areas) pour l'amélioration de la qualité et de la résistance aux stress biotiques et abiotiques.

- deux espèces sauvages (*Aegilops geniculata* 13M80 et un *Amphiploïde* obtenues à partir d'un croisement intergénérique entre *Aegilops geniculata* 13m80 et *Triticum durum*. Toutes ces espèces présentent des niveaux de productivité et des comportements différents vis-à-vis du stress hydrique (**Tableau1**).

2.2 Protocole expérimental

2.2.1 Essai en conditions contrôlées

L'expérimentation s'est réalisée au laboratoire de génétique et d'amélioration des plantes à l'ENSA-INRA de Montpellier, France. Elle a pour objectif de préciser les caractéristiques physiologiques des variétés de blé dur et des lignées interspécifiques et espèces sauvages. Les mesures ont porté essentiellement sur l'ajustement osmotique et les paramètres du statut hydrique : teneur relative en eau, potentiel osmotique

Les plantules des différents génotypes, obtenues après germination sur boîte de pétri, sont repiquées dans des pots de 2.5 l remplis d'un mélange de terreau-vermiculite dans les proportions de 3 :1 en deux lots séparés (avec et sans déficit hydrique). Chaque lot comporte quatre répétitions par génotype. Les plantes sont cultivées dans des conditions contrôlées (chambre de culture) : température, 21°C le jour et 18°C la nuit, humidité de 60 à 70% (jour et nuit), intensité lumineuse de 85W.m² (12 heures de photopériode). Les pots sont arrosés trois fois par semaine et maintenus à hydratation maximum jusqu'au stade quatre feuilles bien développées. L'alimentation minérale est assurée par une solution nutritive HAKAPHOS (N : 15%, SO₃ : 19%, P₂O₅ : 10%, K₂O : 15% et MgO : 2%) à partir du stade deux feuilles, deux fois par semaine. A partir du stade quatre feuilles, les régimes d'irrigation sont ensuite modifiés : dans le cas du traitement témoin, le sol est maintenu constamment humide, , alors que dans le cas des plantes soumises au déficit hydrique, l'arrosage est interrompu pendant environ 15 jours. L'état hydrique des plantes est évalué par des mesures de l'état énergétique de l'eau dans la feuille (Potentiel hydrique foliaire), de teneur relative en eau (TRE) et de potentiel osmotique (PO). La teneur relative en eau est mesurée sur la dernière feuille bien développée selon la méthode de Barrs et al., (1968). Les valeurs de la (TRE) sont déterminées à partir de la formule :

$$\text{TRE} = (\text{Pf} - \text{Ps}) / (\text{Pr} - \text{Ps}) \times 100$$

Où Pf représente le poids frais (limbe de la feuille excisée à sa base et immédiatement pesé)

- Pr est le poids de réhydratation (feuille coupée et placée dans un tube à essai contenant de l'eau distillée, Pendant 24 heures à 4°C).
- Ps est le poids sec déterminé après passage de l'échantillon dans une étuve à 80°C pendant 48 heures.

Le potentiel osmotique (PO) est mesuré grâce à un osmomètre automatique qui détermine le point de congélation des solutions aqueuses ; l'abaissement du point de congélation par rapport à l'eau distillée donne une mesure directe de la concentration osmolaire. Les mesures

sont faites sur 50µl de de jus d'échantillon obtenu sur l'avant dernière feuille bien développée et qui a été au préalable plongée dans de l'azote liquide et conservée à -20°C.

La capacité d'ajustement osmotique (AO) est calculée selon Ludlow et al., (1983) comme étant la différence de potentiel osmotique à turgescence maximale (PI_{100}^t) entre les plantes témoins (PI_{100}^t) et stressées (PI_{100}^s). Le potentiel osmotique à turgescence maximale est calculé selon Wilson et al., (1979) :

$$(\text{AO}) = (\text{PI}_{100}^t - \text{PI}_{100}^s), \text{PI}_{100} = \text{PO} \times (\text{TRE} - \text{B}) / (100 - \text{B})$$

Où B est la dilution apoplastique qui est chez le blé de l'ordre de 15% (Gaudillère et al., 1990).

Tableau 1 : Liste des variétés de blé dur et espèces sauvages apparentées étudiées et leur origine.

Génotypes	Origine
Blés durs	
1 Hedba	Algérie
2 BD 1/94	ICARDA (Syrie)
3 Uveyik	ITGC (Algérie)
4 Araldur	Mexique
5 Ocotillo	Mexique
6 Titan	France
7 Kronos	Arizona (USA)
8 Mexicali	Arizona (USA)
9 Chens/Altar	Turquie
10 Waha	Turquie
Espèces sauvages	
11 <i>Aegilops geniculata</i> 13M80	Maroc
12 <i>Amphiploïde (Aegilotricum)</i>	ENSA (Montpellier, France)
Lignées interspécifiques	
13 Lignée 600808 n° 1	Jordanie/Syrie
14 Lignée 600808 n° 7	Jordanie/Syrie
15 Lignée 600808 n° 16	Jordanie/Syrie
16 Lignée 600808 n° 10	Jordanie/Syrie
17 Lignée 600808 n° 12	Jordanie/Syrie
18 Lignée 600808 n° 13	Jordanie/Syrie

2.2.2 Essai sous serre et en plein champ

Cette partie d'étude est destinée à relier le rendement des dix génotypes de blé dur aux divers caractères morphophysiologiques d'adaptation à la sécheresse (Teneur relative en eau, Ajustement et potentiel osmotique). L'essai s'est déroulé dans deux environnements différents : le premier sous serre (essai irrigué) ou l'alimentation en eau a été maintenue constante durant tout le cycle végétatif à raison de deux irrigations par semaine. Cet essai s'est réalisé en randomisation totale, soit 2 blocs, 4 répétitions et 40 parcelles élémentaires constituées de 4 lignes de 1 m de long espacées de 20 cm. L'espace entre les blocs est de 20 cm. Le deuxième en plein champ (essai pluvial), au cours duquel, nous avons enregistré un cumul annuel en précipitations de 464.2 mm. Cet essai s'est caractérisé par un déficit hydrique pendant les phases critiques de la céréale (10.5 mm au mois d'avril et 0 mm au mois de mai). L'essai s'est déroulé à l'ITGC (Institut Technique des Grandes Cultures) du Khroub (Plaine intérieure de l'Est algérien). Les mesures ont porté sur le rendement en grains. L'essai au champ a été mené suivant le dispositif de Fischeren randomisation totale à quatre répétitions, soit au total 40 micro-parcelles de 6m² chacune. Le semis a été effectué à la mi-novembre, (précédent cultural : jachère).

Sous les conditions hydriques non limitantes, les 10 blés durs affichent pratiquement les mêmes valeurs. A 15% de la capacité au champ (avec déficit hydrique), les variétés BD1/94, Araldur, Ocotillo et Mexicali présentent les teneurs en eau les plus élevées (88.42%, 88.38%, 87.25% et 89.13% respectivement). Chez la variété Kronos, la teneur relative en eau diminue au contraire rapidement pour atteindre la valeur de 56.17% en fin d'expérimentation. Les autres variétés enregistrent des valeurs légèrement inférieures au premier groupe. Chez l'ensemble des variétés

2.3 Traitement statistique des données

La signification statistique des résultats obtenus au cours de ces expérimentations a été testée par une analyse de variance réalisée à l'aide de la procédure GLM du logiciel SAS (Statistical Analysis System) (SAS Institute, 1987, Cary, Etats-Unis). Le test de Duncan a permis de comparer les moyennes et de les classer avec un seuil de signification de 5%. L'analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée à l'aide du même logiciel SAS.

3 RESULTATS

3.1 Cas des blés durs

L'analyse de la variance effectuée sur les paramètres de statut hydrique à savoir, teneur relative en eau (TRE), le potentiel osmotique (PO) et le potentiel à turgescence maximale (PI₁₀₀) permet d'observer un effet génotype, un effet traitement hydrique et un effet génotype x traitement hydrique très hautement significatif (Tableau 2).

3.2 Cas des lignées interspécifiques et espèces sauvages

L'analyse de la variance (Tableau 4) révèle qu'il existe au sein de ce groupe composé de lignées interspécifiques et d'espèces sauvages un effet variétal pour tous les paramètres mesurés et une interaction variété par traitement très hautement significative. L'Amphiploïde et *Aegilops geniculata* présentent les teneurs relatives en eau (TRE) les plus élevées en conditions de stress hydrique (respectivement 94.7 % et 91.56%). Les variétés interspécifiques ont des valeurs de TRE comprise entre 86.02 et 89.71 %, ce sont les lignées 1,16 et 7 issues du croisement *T.durum cv Korifla x Triticum dicoccoides 600808* qui affichent les valeurs de TRE les plus élevées au sein de ce groupe. On observe également une diminution très prononcée du potentiel osmotique particulièrement chez l'Amphiploïde. (*Aegilops geniculata/Triticum durum et Aegilops geniculata 13M80*). (Tableau 4).

L'ajustement osmotique (AO) présente une grande variabilité génotypique, L'amphiploïde et *Aegilops geniculata* montrent la capacité d'ajustement la plus élevée. La lignée 7 du groupe des variétés interspécifiques se caractérise par une capacité d'ajustement osmotique élevée.

3.3 Analyse globale

Une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée à une humidité du sol de 15% de la capacité au champ. Le pourcentage d'information donné par l'axe 1 et l'axe 2 totalisent environ 72.22%, l'interprétation peut être limitée à ces deux premiers axes à grand pouvoir discriminant. Les variables ajustement osmotique (AO), teneur relative en eau des plantes sous contrainte hydrique (TRES), potentiel osmotique des témoins (POT), potentiel osmotique à turgescence maximale des témoins (PI₁₀₀) montrent la plus forte contribution. Des corrélations significatives peuvent être notées entre les variables ajustement osmotique (AO) et la teneur relative en eau (TRE), potentiel osmotique (PO) et TRE, (coefficients de corrélations respectivement égaux à (0.62* et -0.62*) (Tableau 5).

Tableau 2 : Analyse de la variance des dix huit génotypes.

TRE= teneur relative en eau; PO = potentiel osmotique; PI₁₀₀ = potentiel osmotique à turgescence maximale; AQ=ajustement automatique ;**, ***seuil signification à 1 et 0.1% respectivement.

Variables F1 x F2	Effet génotype (F1)				Effet traitement (F2)	
	F	PR>F	F	PR>F	F	PR>F
TRE	22.17	0.0001***	406.93	0.0001***	26.56	0.0001***
PO	6.56	0.0001***	828.85	0.0001***	7.69	0.0001***
PI ₁₀₀	2.24	0.0058**	103.28	0.0001***	2.52	0.00017***
AO	4.86	0.0001***				

*** : Effet significatif au seuil $\alpha = 0,1\%$; ** : Effet significatif au seuil $\alpha = 1\%$

Tableau 3 : Effets du déficit hydrique sur les dix génotypes de blé dur (15% de la capacité au champ).

TRE= teneur relative en eau; PO = potentiel osmotique ; PI₁₀₀= potentiel osmotique à turgescence maximale

, * = seuil de signification à 1 et 0.1 % respectivement, ns : non significatif; ADH = traitement avec déficit hydrique; SDH = traitement sans déficit hydrique; Les moyennes à l'intérieur de chaque colonne non suivies de la même lettre sont significativement différentes du test de Duncan (P 0.05), ns= non significatif

Variétés	TRE (%)		PO (Mpa)		PT ₁₀₀ (Mpa)	
	SDH	ADH	SDH	ADH	SDH	ADH
Hedba	92.2 d	86.1 a	-1.12 a	-1.39 ba	-1.02a	-1.2 bac
BD1/94	94.5 bdac	88.42 a	-1.11 a	-1.6 c	-1.05 a	-1.41 c
Uveyik	93.44 dc	86.2 a	-1.24 b	-1.52 c	-1.16 a	-1.31 bac
Araldur	92.88dc	88.38 a	-1.08 a	-1.51bc	-1.00 a	-1.33 bac
Ocotillo	95.34 ba	87.25 a	-1.14 a	-1.62 c	-1.09 a	-1.40 bc
Titan	94.35 bdac	86.39 a	-1.12 ba	-1.57 c	-0.84 a	-1.09 ba
Kronos	95.89 a	56.17 b	-1.16 ba	-1.87 d	-1.11 a	-1.05 a
Mexicali	94.85 bac	89.13a	-1.17 ba	-1.38 a	-0.89 a	-1.23 bac
Chen's/Altar	95.76 ba	86.9 a	-1.12 ba	-1.6 c	-1.07 a	-1.39 bc
Waha	94.98 bac	86.5 a	-1.14 ba	-1.53 c	-1.08 a	-1.32 bac
PR	0.0123**	0.0001***	0.23 _{NS}	0.0001***	0.4984 _{NS}	0.0958**

*** : Effet significatif au seuil $\alpha = 0,1\%$; NS : effet non significatif

Tableau 4. Effets du déficit hydrique sur les lignées sauvages apparentées (15% de la capacité au champ).

Génotypes	TRE (%)		PO (Mpa)		PI ₁₀₀	
	SDH	ADH	SDH	ADH	SDH	ADH
Aegilops	93.39 e	91.56 a	-1.03 de	-1.56 a	-0.94 ba	-1.46 c
Amphiploïde	96.24 a	93.47 a	-1.11g	-2.34 bac	-0.80 a	-2.19 d
Lignée 10	95.0 bac	86.02 b	-1.12 bdec	-1.51 bac	-1.07 ba	-1.3 bac
Lignée 12	94.82 bac	88.06 b	-1.10 bdac	-1.51 bac	-1.04 ba	-1.26 bac
Lignée 13	94.91 bac	89.8 ba	-1.19 bdec	-1.5 bc	-1.13 b	-1.34 bac
Lignée 1	93.45 bdec	89.71 ba	-1.23 a	-1.36 bc	-1.14 b	-1.22 bac
Lignée 7	94.49 bdac	88.75 ba	-1.15 e	-1.61 bac	-1.09 ba	-1.43 c
Lignée 16	95.82 ba	89.39 ba	-1.20 de	-1.56 bc	-1.15 b	-1.39 c
PR	0.0003***	0.0001***	0.144 NS	0.0001***	0.27 NS	0.003***

*** : Effet significatif au seuil $\alpha = 0,1\%$; NS : effet non significatif

Tableau 5 : Corrélations entre ajustement osmotique, teneur relative en eau et potentiel osmotiques des dix huit génotypes étudiés.

	TRET	TRES	POT	POS	PI ₁₀₀ ^t	PI ₁₀₀ ^s	AO
TRET							
TRES	-0.37						
POT	-0.23	0.08					
POS	-0.38	0.61**	0.32				
PI ₁₀₀ ^t	-0.39	0.14	0.98***	0.36			
PI ₁₀₀ ^s	-0.16	-0.63**	0.14	0.21	0.094		
AO	-0.34	0.62**	0.43	0.01	0.48	-0.82***	

*** : Effet significatif au seuil $\alpha = 0,1\%$; ** : effet significatif au seuil $\alpha = 1\%$.

Les plans séparés par l'axe 1 correspondent à des comportements opposés vis-à-vis du déficit hydrique. A droite de l'axe, on trouve les génotypes *Aegilotrivicum* Amphiploïde, *Aegilops geniculata* 13M80, BD1/94, Ocotillo, Chen's/Altar et la lignée n° 7 qui se caractérisent par une grande capacité d'ajustement osmotique (AO), un fort maintien de la teneur relative en eau (TRE) en cas de déficit hydrique alors que les autres génotypes accusent des valeurs faibles de ces paramètres. Les génotypes Titan et Kronos se classent en dernière position. (Figure 1.).

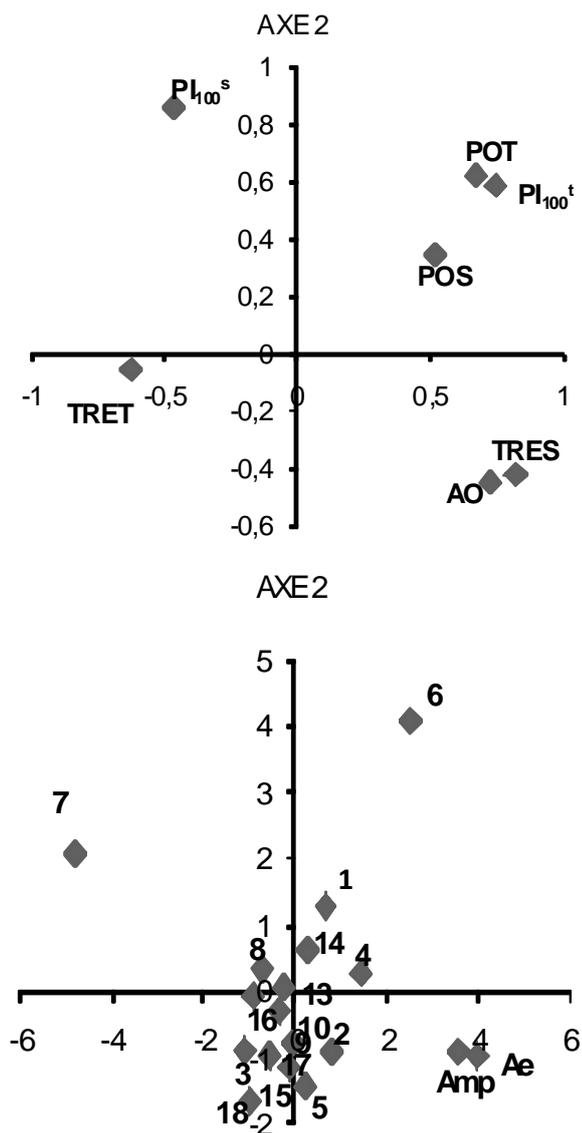


Figure 1: Analyse en composantes principales (ACP) des caractères relatifs au déficit hydrique et à l'ajustement osmotique des dix huit génotypes étudiés.

Ae=*Aegilops* ; *Amp*=*Amphiploïde* ; 1= Hedba ; 2 = BD1/94 ; 3 = Uveyik ; 4 = Araldur ; 5 = Ocotillo ; 6 = Titan ; 7 = Kronos ; 8 = Mexicali ; 9 = Chen's/Altar ; 10 =

Waha ; 13 = lignée n° 1 ; 14 = lignée n° 16 ; 15 = lignée n° 10 ; 16 = lignée n° 12 ; 17 = lignée n° 7 ; 18 = lignée n° 13

4 DISCUSSION

Au vu de ces résultats obtenus, on peut dégager, pour leur capacité élevée d'ajustement osmotique au sein du groupe des blés durs, les génotypes BD1/94, Ocotillo et Chen's/Altar ; la lignée n° 7 dans le groupe des espèces interspécifiques (*T.durum* cv Korifla x *T dicoccoides* 600808), *Aegilops geniculata* 13M80 et *Aegilotrivicum* Amphiploïde dans le groupe des espèces sauvages.

Le comportement de chaque génotype face aux conditions de déficit hydrique est la résultante de plusieurs mécanismes liés à l'absorption de l'eau, à la perte d'eau, à l'ajustement osmotique, aux propriétés membranaires, mais également aux caractéristiques morphologiques de la variété (enracinement, présence de cires et de pilosité ...). Dans cette étude, d'importantes variations ont été observées en conditions de déficit hydrique essentiellement pour la teneur relative en eau (TRE) comme pour le potentiel osmotique. *Aegilops geniculata* et l'Amphiploïde *Aegilotrivicum* manifestent la meilleure capacité d'ajustement osmotique et le meilleur maintien de la teneur relative en eau. Cette aptitude nous semble pouvoir être rapprochée des caractéristiques racinaires particulières à ces génotypes se traduisant probablement par des rapports absorption/ transpiration élevés. Kara et al., (2000) ont montré que ces espèces sont dotées de systèmes racinaires plus développés et plus extensifs que les autres accessions testées. Ces auteurs ont également observé que ces espèces sauvages développaient les biomasses aériennes et racinaires les plus élevées. Cette biomasse peut être attribuée chez *Aegilops geniculata* et Amphiploïde *Aegilotrivicum* à l'activité photosynthétique par unité de surface plus élevée au stade précoce, ce qui a conduit au développement d'un important système racinaire secondaire. Waines et al., (1993) ont également trouvé que la production de biomasse était plus élevée chez la plupart des espèces d'*Aegilops* de la section des *Sitopsis* (génome S) que chez le blé dur. Ces considérations sont d'un grand intérêt pour les perspectives d'amélioration du rendement potentiel des céréales.

Chez les blés durs, les génotypes BD1/94, Ocotillo, Waha et Chen's/Altar se distinguent par des valeurs d'ajustement osmotique et de teneur relative en eau élevées par rapport aux reste des variétés de blé dur. Ce résultat pourrait probablement être associé à leur productivité élevée. Les résultats du rendement en grains sont consignés dans le tableau 6.

Si le faible nombre de génotypes ne nous permet pas d'affirmer l'existence de relations entre ces caractères d'état hydrique, il faut bien noter que nos résultats vont dans le même sens que ceux de Blum (1989) et Rekika et al., (1997) conduisant à accorder un rôle primordial à l'ajustement osmotique et aux caractères qui s'y rattachent dans l'analyse physiologique et le criblage de génotypes pour la tolérance à la sécheresse.

Tableau 6 : Rendement en grains des variétés de blé dur.

Variétés	Rendement en q.ha ⁻¹ (irrigué)	Rendement en q.ha ⁻¹ (pluvial)
Hedba	47.49 ± 2.13	23.50 ± 3.98
BD 1/94	53.91 ± 5.55	32.00 ± 6.79
Uveyik	41.39 ± 6.05	20.17 ± 4.31
Araldur	49.51 ± 5.43	24.92 ± 2.16
Ocotillo	51.42 ± 5.14	27.02 ± 3.60
Titan	42.32 ± 5.23	25.40 ± 3.09
Kronos	41.04 ± 0.86	24.54 ± 3.95
Mexicali	38.33 ± 1.21	24.88 ± 3.68

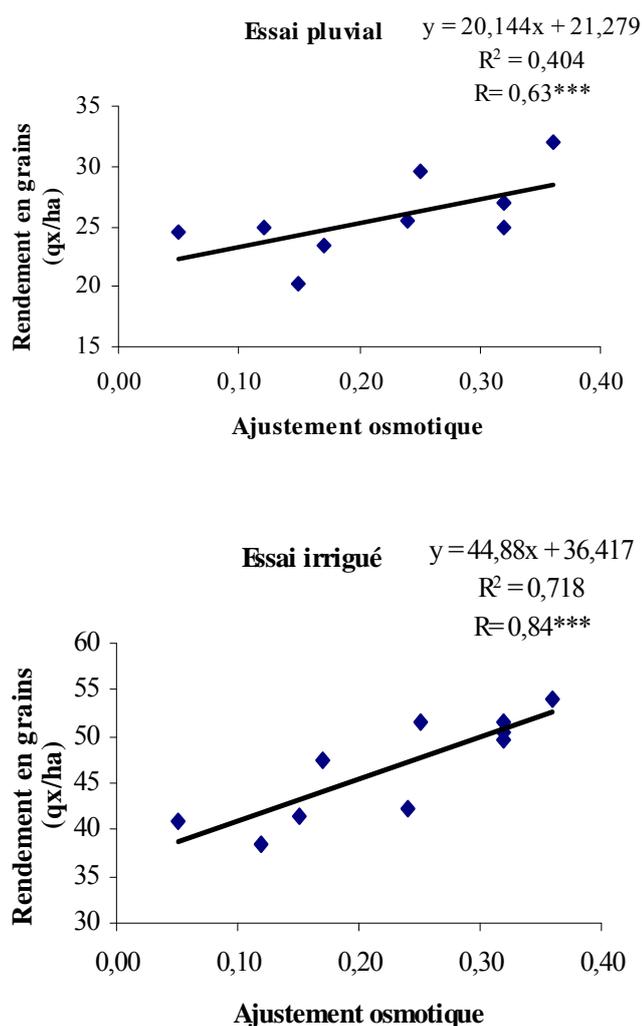


Figure 2 : Relation entre ajustement osmotique et rendement en grains.

5 CONCLUSION

L'expérience acquise en matière d'amélioration génétique pour la tolérance à la sécheresse met en relief les difficultés à appréhender en ce qui concerne ce caractère, ce qui a conduit à mettre en place différentes approches de sélection. L'approche analytique explicative basée sur le principe de la sélection directe par incorporation de caractères physiologiques et/ou morphologiques de

tolérance à la sécheresse chez les variétés productives, montre que l'utilisation de ces caractères comme critères de sélection indirecte dans un programme d'amélioration génétique peut être considérée comme une approche efficace. L'étude a porté sur les variations de ces caractères morphophysiologiques au sein d'un groupe de blé dur et aussi chez les espèces apparentées au blé. Cette étude a permis de donner une vue globale des comportements des variétés vis-à-vis du stress hydrique et de distinguer les variétés Ocotillo, BD1/94 et Chen's/Altar pour leur productivité élevée. Il ressort alors que l'adaptation aux conditions de sécheresse peut être recherchée à travers l'accroissement de la capacité d'ajustement osmotique qui permet le maintien de la turgescence face à un déficit hydrique même sévère. L'ajustement osmotique, peut être évalué facilement à travers les mesures de potentiel osmotique et de teneur relative en eau. La teneur relative en eau corrélée à l'ajustement osmotique constitue un critère de choix pour le criblage d'un grand effectif.

Concernant les espèces sauvages et apparentées au blé, on notera que le genre *Aegilops*, genre considéré comme le plus proche du genre *Triticum*, constitue une source de variabilité génétique importante utilisable dans l'amélioration des blés pour non seulement la résistance aux stress biotiques mais également et surtout aux stress abiotiques. Si ce choix de l'utilisation de ces espèces sauvages pour l'élargissement de la base génétique du blé et l'amélioration de sa tolérance au déficit hydrique semble être aujourd'hui pleinement justifié, de nombreux problèmes subsistent encore et demandent à être résolus, notamment la prise en considération de l'effet hétérosis manifesté par les hybrides et qui peut disparaître après quelques générations d'autofécondation. L'hétérosis affecte principalement la biomasse produisant le luxuriant, aspect bien connu des hybrides et le maintien des caractères favorables chez les Amphiploïdes et les lignées recombinantes et l'élimination de caractères agronomiques indésirables au cours des générations de back-cross.

Les résultats obtenus sur ces espèces sont encourageants même si cela concerne des plantes isolées, et qu'ils ne peuvent être extrapolés directement en conditions de champ.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Al Hakimi A., Monneveux P. & Galiba G., 1995. Soluble sugars, proline, and relative water content (RWC) as traits for improving drought tolerance and divergent selection for RWC from *T. polanicum* into *T. durum*. *J. Genet. And Breed.*, 49. 237-244.
- [2] Barrs H.D. & Weatherley P.E., 1968. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Aust. J. Biol. Sci.* 15, 413-428.
- [3] Benaceur M; Rahmoun C; Sdiri H; Medahi M & Selmi M; 2001. Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production de grains de blé. *Sécheresse*, 12 (3): 167-174.
- [4] Blum A., 1989. Osmotic adjustment and growth of

- barley genotypes under drought stress. *Crop Sci.*, 29, 230-233.
- [5] Boyer JS., 1985. Water transport. *Ann Rev plant physiol.*, 36, 473-516. Gaudillère J.P. & Barcelo M.O., 1990. Effets des facteurs hydriques et osmotiques sur la croissance des talles de blé. *Agronomie.*, 10, 423-432.
- [6] Grennan A.K.; 2006. High Impact Abiotic Stress in Rice. An "Omic" Approach; *Plant Physiol*, April 2006, Vol. 140, pp. 1139-1141.
- [7] Hassani A; Dellal A; Belkhdja M & Kaid-Harche M; 2008. Effets de la salinité sur l'eau et certains osmolytes chez l'orge (*Hordeum vulgare*). *European journal of Scientific Research*. Vol. 23, N°1, pp. 61-69.
- [8] Hsiao T.C. & Acevedo E., 1974. Plant responses to water deficits, water use efficiency and drought resistance. *Agric. Meteorol.*, 14, 59-84.
- [9] Hsiao TC., O'Toole JC., Yambao EB. & Turner NC., 1984. Influence of osmotic adjustment on leaf rolling and tissue death in rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Physiol.*, 75 : 338-41.
- [10] Kameli A. & Lösel D.M., 1995. Contribution of carbohydrates and other solutes to osmotic adjustment in wheat leaves under water stress. *J. Plant Physiol.*, 145, 363-366.
- [11] Kara Y., Martin A., Souyris I., Rekika D. & Monneveux P., 2000. Root characteristics in durum wheat (*T.turgidum conv. Durum*) and some wild Triticeae Species. Genetic variation and relationship with plant architecture. *Cereal Research and Communication*, 28 (3), 147-254.
- [12] Ludlow M.M., Chu A.C.P., Clements R.T. & Kerslake R.G., 1983. Adaptation of species of centrosema to water stress. *Aust. J. Plant Physiol.*, 10, 119-130.
- [13] Martinez JP; Silva H; Ledent JF & Pinto M; 2007. Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (*Phaseolusvulgaris* L.) *European journal of agronomy*. Jan., Vol. 26,1,p. 30-38.
- [14] Meinzer F.C., Grant D.A., Goldstein G. & Saliandra N.Z., 1990. Leaf water relations and maintenance of gas exchange in coffee cultivars grown in drying soil. *Plant Physiol.*, 94, 1781-1787.
- [15] Morgan JM., Hare RA. & Fletcher RJ., 1986. Variation in osmoregulation in bread and durum wheats and its relationship to grain yields in a range of field environments. *Aust J Agric Res.*, 37, 449-57.
- [16] Munns R; Richard A.J & Lauchli A; 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 57, No. 5, pp. 1025-1043.
- [17] Ottow E; Brinker M; E. Fritz E; Teichmann T; Kaiser W; Brosche M; Kangasjarvi J; Jiang X; & A.Polle A; 2005. *Populus euphratica* Displays Apoplastic Sodium Accumulation, Osmotic Adjustment by Decreases in Calcium and Soluble Carbohydrates, and Develops Leaf Succulence under Salt Stress 1. *Plant Physiology*, Vol. 139, pp. 1762-1772.
- [18] Rascio A., Platanos C., Scalfati G., Tonti A. & Fonzo N.D., 1994. The accumulation of solutes and water binding strength in durum wheat.
- [19] Rekika D., Nachit M., Araus J.L. & Monneveux P., 1997. The in vivo tolerance of photosynthetic membranes to high and low temperatures in cultivated and wild wheats of *Triticum* and *Aegilops*. *J. Plant Physiol.*, 150, 734-738.
- [20] Sen Goupa A. & Berkowitz G.A., 1987. Osmotic adjustment, symplast volume and nonstomatally mediated water stress inhibition of photosynthesis in wheat. *Plant physiol.*, 85, 1040-1047.
- [21] Trinchant J.C; Boscari A; Spennato G, Van de Sype G & Le Rudulier D; 2004. Proline Betaine Accumulation and Metabolism in Alfalfa Plants under NaCl Stress. *Exploring Its Compartmentalization in Nodules Plant Physiology*, Vol. 135, pp.1583-594.
- [22] Waines J.G., Rafi M.M. & Ehdai B., 1993. Yield components and transpiration efficiency in wild wheats. *In., Biodiversity and wheat Improvement*
- [23] Damania A.B. (ed.). Chichester, UK, John Wiley and sons. pp 173-186.
- [24] Wilson J.R., Fisher M.J., Schulze E.D., Dolby G.R. & Ludlow M.M., 1979. Comparison between pressure-volume and leaf point-hygrography techniques for determining water relation characteristics of grass and legume leaves. *Oecologia*, 41, 77-88.
- [25] Zaharieva M., David J., This D. & Monneveux P., 2000. Analyse de la diversité génétique d'*Aegilops geniculata* Roth en Bulgarie. *Cahiers Agricultures.*, 8, 181-8