

ETUDE DE LA TOLERANCE A LA SECHERESSE DE QUELQUES VARIETES DE BLE DUR (*Triticum durum* Desf.). I. EFFET DE L'IRRIGATION DE COMPLEMENT SUR LES CARACTERES PHENOLOGIQUE, MORPHOLOGIQUES ET PHYSIOLOGIQUES

MEKLIICHE A., BOUKECHA D. ET HANIFI-MEKLIICHE L.
Institut National Agronomique El-Harrach Alger

RESUME

L'étude de la tolérance à la sécheresse du blé dur a été réalisée sur quelques caractères morphologiques, physiologiques et phénologique. L'effet de l'irrigation de complément a été significatif pour les caractères longueur de l'épi, surface foliaire, longueur du col de l'épi, hauteur de la tige, teneur relative en eau, teneur en proline, teneur en sucres solubles et teneur en chlorophylle à l'exception de la date d'épiaison et de la longueur des barbes. Des différences génotypiques ont été notées. Les variétés Vitron, Waha, Ardente et Hedba 3 possèdent le plus grand nombre de caractères favorables à la tolérance à la sécheresse.

ABSTRACT

The study of durum wheat drought tolerance was achieved on few morphological, physiological traits and heading date. The effect of watering was significant for ear length, straw length, leaf area, relative water content, proline content, sugar soluble content and chlorophyll content except heading date and length beard. Genotypic differences were observed. The varieties Vitron, Waha, Ardente and Hedba 3 have the greatest number of traits favourable to drought tolerance.

INTRODUCTION

La sécheresse est l'un des principaux facteurs limitant les rendements à travers le monde. Le manque d'eau, souvent associé à des stress abiotiques (gels, hautes températures, salinité,...) et la variabilité des facteurs climatiques sont responsables des pertes de rendements très importantes.

Le stress hydrique peut intervenir à n'importe quel stade du cycle de la culture (BENLARIBI, 1990 ; BALDY, 1992). La tolérance à la sécheresse est un phénomène complexe, faisant intervenir de nombreux mécanismes interagissant entre eux et à déterminisme génétique complexe. Les combinaisons de ces mécanismes définissent des stratégies d'adaptations de la plante vis-à-vis du stress (TURNER, 1979 ; NACHIT et KETATA, 1986).

L'esquive est l'une des stratégies d'amélioration variétale qui consiste à raccourcir le cycle d'une variété afin de lui permettre de parvenir jusqu'à la maturité durant une période humide. FISHER et MAURER (1978) ont montré dans une étude sur 53 cultivars de blé, d'orge et de Triticale, que chaque jour de précocité confère un gain de rendement compris entre 30 et 85 kg/ha. Toutefois la précocité à la floraison s'accompagne d'une réduction du potentiel de production, par diminution du nombre de sites de remplissage (FISHER, 1979). De plus les variétés précoces ont de faibles potentiels en année favorable (GATE, 1995).

Une deuxième stratégie est l'évitement qui permet le maintien d'un potentiel hydrique élevé dans la plante. Ceci peut être obtenu par une réduction de la transpiration s'effectuant par la cuticule et les stomates incomplètement fermés (BELHASSEN *et al.*, 1995). La glaucescence, la pilosité des feuilles ou des tiges, la couleur claire des feuilles et la présence des cires qui est un caractère génétique et qui s'extériorise en conditions de stress hydrique (GATE, 1995) induisent tout une augmentation de la réflectance qui conduit à une réduction des pertes d'eau (AL HAKIMI, 1992). La couleur des organes de transpiration liée au rapport chlorophylle a/chlorophylle b et la présence de pigmentation (anthocyanes, caroténoïdes) ont un effet sur la proportion de la réflectance lumineuse de la feuille et par conséquent sur la température foliaire (MONNEVEUX et BELHASSEN, 1996). La réduction de la surface foliaire tend à minimiser les pertes en eau en réduisant la transpiration (ARRAUDEAU, 1989) mais peut aussi diminuer le rendement à cause de la réduction de la capacité photosynthétique (BIDINGER et WITCOMBE, 1989).

La troisième stratégie mise en œuvre par les plantes est le phénomène de tolérance. Ce dernier est un abaissement du potentiel hydrique qui s'exprime par un maintien de la turgescence, rendu possible grâce à l'ajustement osmotique (MONNEVEUX et THIS, 1997). L'ajustement osmotique est réalisé grâce à une accumulation des solutés (principalement vacuolaire) conduisant à un maintien du potentiel de turgescence (BLUM, 1989, MORGAN *et al.*, 1986). Les solutés responsables de l'osmorégulation sont essentiellement des acides organiques, des acides aminés et des sucres. Certains constituants inorganiques peuvent être présents. Parmi les acides aminés, l'accumulation de la proline pourrait conduire à une osmorégulation plus efficace. L'ajustement osmotique peut être aisément évalué à partir des mesures de potentiel osmotique et de teneur relative en eau, l'accumulation des sucres solubles étant la cause essentielle de la baisse du potentiel osmotique (REKIKI, 1997).

Ce travail consiste à caractériser six variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) vis-à-vis du stress hydrique dans deux essais différents (un essai pluvial et essai avec irrigation de complément) par la mesure de certains caractères morphologiques, physiologiques et phénologique d'adaptation à la sécheresse.

MATERIEL ET METHODES

Ce travail porte sur l'étude de la tolérance à la sécheresse de 6 variétés de blé dur (*Triticum turgidum* conv. *Durum*). Ces variétés sont Waha (sélection locale faite à l'intérieur du matériel introduit de l'ICARDA), Hedba 3 (variété sélectionnée en 1905 par Ducelier à l'intérieur d'une population algérienne), Vitron (variété introduite d'Espagne), Ardente (variété française), Siméto (variété italienne) et Saadi (variété marocaine).

L'expérimentation est réalisée au champ à l'Institut National Agronomique d'Alger sur 2 essais l'un conduit avec irrigation de complément et l'autre en conditions pluviales. Le dispositif expérimental utilisé pour les 2 essais est un dispositif en blocs aléatoires complets. Le nombre de blocs est de 4 pour chaque essai. Chaque bloc comporte 6 microparcelles correspondant aux 6 variétés étudiées. Chaque microparcelle est formée de 6 lignes de 2 m de long espacée entre elles de 0,20 m. La parcelle a subi un labour profond avec une charrue à soc suivie de 2 passages de rotavator et un avec le cultivateur à dents. La parcelle a reçu une fumure de fond sous forme de 15N, 15P et 15K à raison de 100 kg/h. Un deuxième apport

d'engrais azoté a été apporté sous forme de sulfate d'ammonium à raison de 90 U/ha au stade tallage. Un désherbage chimique anticotylédonaire est réalisé au stade tallage. Des traitements phytosanitaires contre les pucerons et contre l'oïdium ont été effectués.

Le semis a été réalisé le 05/12/1996 à une densité de 60 grains/m linéaire. La récolte a été faite le 24/05/1997 et le 04/06/1997 respectivement pour l'essai pluvial et l'essai avec irrigation de complément.

Trois irrigations de complément ont été apportées durant la période qui s'étale de l'épiaison à la fin floraison (tableau 1). L'irrigation a été réalisée par microdiffuseurs. La quantité d'eau apportée à l'irrigation correspond à la reconstitution de la capacité de rétention sur 0,60 m. L'irrigation est déclenchée lorsque l'humidité du sol arrive au dessous de 1/3 de la réserve.

Tableau 1 : Dates et doses d'irrigation

Stade végétatif	Date de réalisation	Doses d'irrigation (mm)
Epiaison	25/03/97	60
Epiaison – floraison	07/04/97	60
Floraison	16/04/97	60

Les caractères étudiés sont la date d'épiaison qui correspond au nombre de jours du semis jusqu'à la date d'épiaison de 50 % de la microparcelle, la hauteur de la tige en cm (HT), la longueur de l'épi en cm (LEP), la longueur des barbes en cm (LB), la longueur du col de l'épi en cm (LC), la surface de la feuille étendard en cm² (SF), la teneur relative en eau (TRE), la teneur en proline, les sucres solubles totaux, la teneur en chlorophylle (a + b) ainsi que le rapport Chlorophylle a/chlorophylle b. Les différentes mesures ont été effectuées sur un échantillon de 10 plantes par parcelle élémentaire. Les méthodes utilisées pour les différents caractères

physiologiques sont la méthode de BARRS (1968) pour la mesure de la teneur en eau, la méthode de SHIELDS et BURNETT (1960) pour le dosage des sucres solubles totaux, la méthode de TROLL et LINDSLEY (1955) simplifiée est mise au point par DREIR et GORRING (1975) pour le dosage de la proline, la méthode de HISCOX et ISRAELSTAM (1978) pour le dosage de la chlorophylle.

RESULTATS ET DISCUSSION

Caractère phénologique

La date d'épiaison, souvent utilisée comme un indicateur de précocité est considérée comme un important caractère qui influence les rendements des céréales, surtout en zone où la distribution de la pluviométrie et la variabilité des températures affectent la longueur du cycle de développement (HADJCHRISTODOULOU, 1987). L'analyse de la variance (tableau 2) révèle un effet variété très hautement significatif, tandis que l'effet irrigation de complément est non significatif. L'interaction génotype x irrigation est significative. Le coefficient de variation est très faible (1,3 % pour l'essai irrigué et 2,1 % pour l'essai conduit en pluvial). La non signification de l'irrigation sur ce caractère est due au fait que le premier apport d'eau a été effectué au stade épiaison par conséquent il ne peut influencer ce caractère.

La longueur du cycle des variétés testées varie entre 90 jours à 126 jours. On distingue parmi les variétés testées :

- des génotypes très précoces (durée semis - épiaison inférieure à 100 j dans les deux traitements), ce sont Waha, Vitron et Ardente,
- des génotypes moyennement précoces (durée semis – épiaison entre 104 et 106 j dans les deux traitements, ce sont Siméto et Saadi.
- un génotype très tardif (durée semis – épiaison supérieure à 120 j dans les deux traitements), il s'agit de Hedba 3,

Tableau 2 : Effet de l'irrigation de complément sur les caractères morphologiques et phénologique

VARIETES	Date d'épiaison (jours)		Longueur de l'épi (cm)		Longueur des barbes (cm)		Longueur du col de l'épi (cm)		Hauteur de la tige (cm)		Surface foliaire (cm ²)	
	Irrigué	Pluvial	Irrigué	Pluvial	Irrigué	Pluvial	Irrigué	Pluvial	Irrigué	Pluvial	Irrigué	Pluvial
Waha	90,25 d	90,25 c	8,55 bc	8,62 a	12,43 a	12,90 a	10,83 e	9,35 b	71,37 c	65,63 bc	53,18 a	36,04 a
Vitron	92,25 d	93,00 c	8,31 c	8,23 ab	10,84 b	11,44 b	13,16 d	11,02 a	71,68 c	68,59 b	44,05 b	40,83 a
Simeto	105,25 b	104,75 b	7,67 d	7,66 b	8,75 e	10,30 c	19,92 bc	8,81 b	72,44 c	63,84 bc	34,15 c	32,92 a
Saadi	106,00 b	104,75 b	7,70 d	7,83 b	9,62 d	9,99 c	18,95 c	7,27 c	70,03 c	60,50 c	39,75 bc	37,06 a
Hedba	122,00 a	126,00 a	9,61 a	8,74 a	11,28 b	9,22 d	23,75 a	12,28 a	121,75 a	80,24 a	33,39 c	23,40 b
Ardente	94,75 c	94,00 c	8,81 b	7,75 b	10,25 c	10,80 bc	20,60 b	11,57 a	82,71 b	64,90 bc	44,00 b	41,33 a
Moyenne	101,75	102,13	8,44	8,14	10,53	10,78	17,87	10,05	81,66	67,61	41,42	35,26
CV %	1,3	2,1	2,5	4,7	3,5	4,6	4,9	8,8	2,9	5,4	9,0	12,9
Effet génotype	***		***		***		***		***		***	
Effet irrigation	Ns		***		Ns		***		***		***	
Interaction génotype x irrigation	*		***		***		***		***		Ns	
Différence en %	-		3,55		-		43,76		17,14		14,87	

* ** *** significatif à 0,05, 0,01, 0,001 respectivement.

Caractères morphologiques

L'analyse de la variance met en évidence un effet génotypique significatif à très hautement significatif pour l'ensemble des caractères mesurés. L'effet irrigation de complément est très hautement significatif pour l'ensemble des caractères sauf pour la longueur des barbes. L'interaction variété x irrigation de complément est significative pour tous les caractères à l'exception de la surface foliaire (tableau 2). Les coefficients de variation varient de 2,5 % (longueur de l'épi en irrigué) à 12,9 % (surface foliaire dans l'essai pluvial).

- **La longueur de l'épi** moyenne passe de 8,44 cm dans l'essai avec complément d'irrigation à 8,14 cm dans l'essai pluvial soit une diminution de 3,55 %. Quelque soit l'essai la variété Hedba 3 possède la longueur de l'épi la plus élevée (9,61 cm dans l'essai irrigué et 8,74 cm dans l'essai pluvial). La plus faible valeur est obtenue par Siméto (7,67 cm) dans l'essai avec irrigation de complément et les variétés Siméto (7,66cm) Ardente (7,75 cm) et Saadi (7,83 cm) dans l'essai pluvial.

- **La longueur des barbes** passe en moyenne de 10,78 cm dans le traitement irrigué à 10,53 cm dans le traitement pluvial. La longueur moyenne en conditions pluviales et irriguées est pratiquement la même. Ces résultat concordent avec ceux de AIT KAKI (1993).

- **La surface de la feuille étandard** mesurée sur tous les génotypes est très différente. En conditions irriguées, les feuilles étandard les plus grandes sont observées chez la variété Waha (53,18 cm²), et les plus petites sont observées chez les variétés Siméto (34,15 cm²) et Hedba 3 (33,39 cm²). En ce qui concerne le traitement pluvial, les feuilles étendants les plus grandes sont observées chez les variétés Ardente (41,33 cm²), Vitron (40,83 cm²) et Waha (36,04 cm²), et la plus petite est observée chez Hedba 3 (23,40 cm²). La surface moyenne de la feuille étandard passe de 41,42 cm² dans le traitement irrigué à 35,26 cm² dans le traitement pluvial, ce qui correspond à une diminution de 14,87 %.

- **La longueur du col de l'épi** est influencée négativement par le stress hydrique. La longueur moyenne de cet organe passe de 17,87 cm dans l'essai avec complément d'irrigation à 10,05 cm dans l'essai pluvial, soit une baisse de 43,76 %. La variété Hedba 3 présente une longueur du col de l'épi la plus élevée (23,75 cm) et la plus faible valeur est obtenue par la variété Waha (10,83 cm) dans le traitement avec irrigation de complément. Dans le traitement sec, la longueur du col de l'épi la plus élevée est obtenue par les variétés Hedba (12,28 cm), Ardente (11,57 cm) et Vitron (11,02 cm), alors que la plus faible valeur est obtenue par la variété Saadi (7,27 cm).

- **La hauteur de la tige** présente une variabilité importante. Dans l'essai avec complément d'irrigation, la variété Hedba 3 a eu la plus grande taille (>120 cm), tandis que Waha, Vitron, Siméto et Saadi sont à paille courte (<80 cm). Dans l'essai pluvial, la hauteur de la tige varie de 80,24 cm (Hedba 3) à 60,5 cm (Saadi). L'effet du déficit hydrique est très néfaste sur ce caractère. La moyenne de la taille des génotypes est de 81,66 cm dans le traitement avec complément d'irrigation et de 67,61 cm dans le traitement pluvial, soit une diminution de 17,14 %.

Caractères physiologiques

L'analyse de la variance montre un effet irrigation de complément très hautement significatif pour tous les caractères, un effet génotype et une interaction génotype x irrigation significatif à très hautement significatifs pour l'ensemble des caractères étudiés. Les coefficients de variation varient de 4 % (teneur en eau relative de l'essai avec irrigation de complément) à 29,9 % (teneur en sucre de l'essai avec irrigation de complément) (tableau 3).

- **La teneur relative en eau** la plus élevée dans l'essai avec complément d'irrigation est obtenue par la variété Saadi ; la variété Vitron est caractérisée par une faible valeur. En ce qui concerne le traitement pluvial, la variété Hedba 3 possède la plus forte teneur relative en eau par rapport à l'ensemble des autres variétés. La moyenne de la teneur relative en eau passe de 88,24 à 59,46 % soit une diminution de 32,62 % par rapport à l'essai avec irrigation de complément. Selon Sairam *et al.* (2001), le stress hydrique diminue la teneur relative en eau.

- **La teneur en proline** dans l'essai pluvial passe de 26,62 µg/g MF (Hedba 3) à 7,94 µg/g MF (Saadi), tandis que dans l'essai avec irrigation de complément celle-ci passe de 19,74 µg/g MF (Hedba 3) à 1,44 µg/g MF (Waha). La moyenne de la teneur en proline varie de 4,68 µg/g MF dans l'essai avec complément d'irrigation à 13,4 µg/g MF dans l'essai pluvial. L'accumulation de la proline est environ 3 fois plus importante dans l'essai pluvial soit une augmentation de 186,32 % par rapport au traitement avec complément d'irrigation. L'accumulation de la proline intervient comme une réponse au déficit hydrique (MONNEVEUX et NEMMAR, 1986).

- **La teneur en sucres solubles** moyenne de l'ensemble des génotypes est de 24,78 µg/g MF dans l'essai avec complément d'irrigation et 46,53 µg/g MF dans l'essai pluvial soit une augmentation de 87,77 %. Deux groupes homogènes peuvent être distingués dans les 2 essais (tableau 3). Dans le

traitement avec irrigation de complément la variété Waha constitue le premier groupe (46,76 $\mu\text{g/g}$ MF) et Vitron, Siméto, Saadi, Hedba 3 et Ardente constituent le second groupe (la plus faible valeur est donnée par Vitron 15,41 $\mu\text{g/g}$ MF). Dans le cas de l'essai pluvial, les variétés Waha et Siméto sont caractérisées par une accumulation en sucre plus importante que les autres variétés (52,31 et 51,56 $\mu\text{g/g}$ MF respectivement. ALI-DIB *et al* (1992) ont mis en évidence une augmentation de la teneur en sucres solubles chez les variétés de blé dur en situation de contrainte hydrique, en conditions contrôlées à un stade précoce. La variété Waha présente une accumulation supérieure à Oued Zenati. Dans les mêmes conditions d'expérimentations, il a été montré que cette teneur en sucres chez Waha était associée à un maintien de la teneur relative en eau (KORICHI, 1992). LEWICKI (1993) confirme la participation des sucres à l'ajustement osmotique en conditions de plein champ pour cette variété.

- **La teneur en chlorophylle** moyenne passe de 36,93 % dans l'essai avec complément d'irrigation à 31,61 % dans l'essai pluvial soit une différence de 14,4 % entre les essais en faveur de l'essai avec irrigation de complément. Dans l'essai avec irrigation de complément, les variétés Waha, Siméto et Hedba forment un groupe homogène et présentent une teneur en chlorophylle plus importante que celle des autres variétés qui constituent le second groupe. L'essai pluvial présentent 2 groupes chevauchants, les variétés Siméto et Ardente ont les valeurs les plus élevées tandis que Saadi et Waha présentent les valeurs les plus faibles. Selon GUMMMULURU et HOBBS (1989), ces différences observées entre génotypes pour la teneur en chlorophylle sont liées à la tolérance à la sécheresse. ACEVEDO et CECCARELLI (1989) notent que le passage après la floraison, de la coloration des feuilles, du vert foncé au vert clair, semble être lié chez l'orge au niveau de tolérance des génotypes aux conditions de sécheresse de la Syrie. De plus, ALI DIB (1992) trouve qu'une couleur foncée correspond le plus souvent à un rapport chlorophylle a/chlorophylle b faible, alors qu'une couleur pâle correspond généralement à un rapport chlorophylle a/chlorophylle b élevé. Certains génotypes ont un rapport <1 , c'est le cas des variétés Saadi, Hedba et Ardente; d'autres au contraire sont caractérisées par un rapport >1 c'est le cas de Waha, Vitron et Siméto (tableau 3). On note une augmentation du rapport de 34,65 % en passant de l'essai avec complément d'irrigation (1,01) à l'essai pluvial (1,36).

Tableau 3 : Effet du déficit hydrique sur les caractères physiologiques

VARIETES	Teneur relative en eau (%)		Teneur en chlorophylle (a+b) (µg/g MF)		Rapport Chi a/Chi b (µg/g MF)		Teneur en proline (µg/g MF)		Teneur en sucre (µg/g MF)	
	Irrigué	Pluvial	Irrigué	Pluvial	Irrigué	Pluvial	Irrigué	Pluvial	Irrigué	Pluvial
Waha	89,56 ab	55,39 b	42,94 a	27,52 b	1,33 a	1,03 d	1,44 b	12,01 b	46,76 a	51,56 a
Vitron	83,07 b	59,75 b	26,28 b	31,47 ab	1,03 ab	1,46 b	1,67 b	13,34 b	15,41 b	42,39 b
Simeto	89,37 ab	57,89 b	41,40 a	35,81 a	1,02 ab	1,16 c	1,84 b	13,15 b	20,67 b	52,31 a
Saadi	92,15 a	53,77 b	29,92 b	27,92 b	0,99 ab	1,25 c	1,68 b	7,94 c	15,83 b	46,14 b
Hedba	85,35 ab	74,67 a	39,61 a	32,41 ab	0,94 ab	1,44 b	19,74 a	26,62 a	27,44 b	41,1 b
Ardente	89,94 ab	58,28 b	41,43 a	34,53 a	0,76 b	1,80 a	1,68 b	7,31 c	19,00 b	45,65 b
Moyenne	88,24	59,46	36,93	31,61	1,01	1,36	4,68	13,40	24,78	46,53
CV %	4,0	7,1	12,1	12,2	19,9	1,01	20,0	9,5	29,9	5,7
Effet génotype	**		**		*		***		***	
Effet irrigation	***		***		***		***		***	
interaction génotype x irrigation	***		**		*		***		***	
Différence en %	32,62		14,40		-34,65		-186,32		-87,77	

Chi a = chlorophylle a

Chi b = chlorophylle b

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ACEVEDO E., CECCARELLI S., 1989.-** Rôle of a physiologist-breeder in a breeding program for drought resistance conditions. In Baker F.W.G. (ed.) drought resistance in cereals, Wallingford, U.K., 117 – 139
- AÏT KAKI Y. 1993.-** Contribution à l'étude des mécanismes morphologiques et biochimiques de tolérance au stress hydrique sur cinq variétés de blé dur. Thèse magister, ISN, Université d'Annaba, 113 p.
- Al Hakimi A., 1992.-** Evolution de la variabilité génétique des caractères d'adaptation à la sécheresse chez les espèces primitives (sauvages et cultivées) de blé tétraploïde. Thèse D.E.A., Montpellier, 186 p.
- ALI DIB T., 1992.-** Etude de la tolérance à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Etude de la tolérance à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Etude des caractères phénologiques et morphologiques d'adaptation. Thèse Doct. ENSA. Montpellier 186 p.
- ARRAUDEAU M., 1989.-** Breeding strategies for drought. In cereal F.W.G. Baker (ed.) drought resistance in cereals, CAB international, 107 -116.
- BALDY C., 1992.-** Indicateurs de la contrainte hydrique. Sécheresse 6, 175 - 177.
- BARRS H., 1968.-** Determination of water deficit in plants tissues. –In Kozlowski, T (ed.) : Water Deficit and plant growth. 235 – 368. Academy Press, New York.
- BELHASSEN E., THIS D., MONNEVEUX P. 1995.-** L'adaptation génétique face aux contraintes de sécheresse. Cahier d'Agriculture 1, 251 – 261.
- BENLARIBI M. 1990.-** Adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* DEesf.), étude des caractères morphologiques et physiologiques. Thèse de Doctorat. Univ. Constantine. 164 p.
- BIDINGER F.R., WITCOMBE J.R., 1989.-** Evaluation of specific deshydration tolerance traits improvement of drought resistance. In drought resistance in cereals F.W.G. Baker of CAB international, 151 - 164.

- BLUM A., 1989.-** Osmotic adjustment and growth of barley genotypes under drought stress. *Crop Sci.* 29, 230 – 233.
- DREIER W., GÖRING M., 1974.-** Der Einfluss hoher salz Konzentrationen auf verschieden physiologische Parameter von Maisururzeln. *Wiss; z; DER hu; Berlin, Nath. Naturwiss. R.,* 23, 641 – 644.
- FISHER R.A., 1979.-** Growth and water limitations to dry wheat yield in Australia a physiological frame work. *J; Aust. Inst, Sci.* 45, 83 – 94.
- FISHER R.A., MAURER R., 1978.-** Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Aust. J. Agric. Res.,* 29, 697 – 912.
- GATE P.H., 1995.-** Ecophysiologie du blé. Technique et documentation. Lavoisier, Paris, 351 p.
- GUMMULURU S., HOBBS S.L.A., 1989.-** Genotype variability in physiological characters an dits relationship to drought tolerance in durum wheat. *Can. J. Plant. Sci.,* 69, 703 – 711.
- HADJICHRISTODOULOU A., 1987.-** The effects of optimum heading date and its stability on yield and consistency of performance barley and durum wheat in dry areas. *J. Agri. Sci. Camb.* 108, 599 – 608.
- HISCOX J.D., ISRAELSTAM G.F., 1978.-** A methode for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Can. J. Bot.,* 57, 1332 - 1334.
- KORICHI M., 1992.-** Contribution à l'étude de l'ajustement osmotique et de la réponse protéique du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au stress hydrique. D.E.A., Bases de la production végétale, Université de Montpellier II Sciences et Techniques de Languedoc, ENSA de Montpellier.
- LEWICKI S., 1993.-** Evaluation de paramètres liés à l'état hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) et l'orge (*Hordeum vulgare* L.) ; soumis à un déficit hydrique modéré, en vue d'une application à la sélection de genotypes tolérants. Thèse de Doctorat. ENSA. Montpellier. 86 p.

- MONNEVEUX P., BELHASSEN E., 1996.-** The diversity of drought adaptation in the wide. *Plant Growth Regulation* 20, 85 – 92.
- MONNEVEUX P. 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 (*Triticum durum* Desf.): étude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. *Agronomie* 6, 583 – 590.
- MONNEVEUX P., THIS D., 1997.-** La génétique aux problèmes de la tolérance des plantes cultivées à la sécheresse : espoirs et difficultés. *Sécheresse* 1, 1, 8, 29 – 37.
- MORGAN J.M., HARE R.A., FLETCHER R.J., 1986.-** Genetic variation in osmoregulation in bread in durum wheats and its relationship to grain yields in a range of field environments. *Aust. J. Agric. Res.* 37, 449 – 457.
- NACHIT M.M., KETATA H., 1986.-** Breeding strategy for improving durum wheat in mediterranean rainfed areas. *Proceeding of 4 th International Wheat Conference*, 2 – 9 may, Rabat, Morocco.
- REKIKI DJ., 1997.-** Identification et analyse génétique des caractères physiologiques liés au rendement en condition de sécheresse chez le blé dur. Intérêt potentiel des espèces sauvages apparentées pour l'amélioration de ces caractères. Thèse de Doctorat. ENSA de Montpellier. 158 p.
- SAIRAM R.K., CHANDRASEKHAR V., SRIVASTAVA G.C., 2001.-** Comparison of hexaploid and tetraploid wheat cultivars in their responses to water stress. *Biologica plantarum*, 44 (1), 89 – 94.
- SCHIELDS R., BURNETT, 1960.-** Determination of protein-bound carbohydrate in serum by a modified anthrone method. *Anal. Chem.* 32, 885-886.
- TROLL W., LINDSLEY J., 1955.-** A photometric method for the determination of proline. *J. Biol. Chem.*, 215, 655 – 660.
- TURNER N.C., 1979.-** Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plants. In : *Stress and physiology in crop plants*, (H. Mussel, RC Staales eds.), Wiley, New York, 343 – 372.