

## Contribution à la mise en place d'une approche intégrée de lutte contre la sécheresse chez le blé dur au Maroc

**Karrou M.**

*in*

Royo C. (ed.), Nachit M. (ed.), Di Fonzo N. (ed.), Araus J.L. (ed.).  
Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges

Zaragoza : CIHEAM

Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 40

2000

pages 559-567

Article available on line / Article disponible en ligne à l'adresse :

<http://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=600094>

To cite this article / Pour citer cet article

Karrou M. **Contribution à la mise en place d'une approche intégrée de lutte contre la sécheresse chez le blé dur au Maroc.** In : Royo C. (ed.), Nachit M. (ed.), Di Fonzo N. (ed.), Araus J.L. (ed.). *Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges* . Zaragoza : CIHEAM, 2000. p. 559-567 (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 40)



<http://www.ciheam.org/>  
<http://om.ciheam.org/>

# Contribution à la mise en place d'une approche intégrée de lutte contre la sécheresse chez le blé dur au Maroc

M. Karrou

Département d'Agronomie, CRRA-INRA, B.P. 589, Settat, Maroc

---

**RESUME** – Dans les zones arides et semi-arides du Maroc caractérisées par un manque de pluies et une forte fluctuation des précipitations dans le temps et dans l'espace, les pertes d'eau par évaporation et par ruissellement (cas des terrains accidentés) sont considérables. La stratégie à adopter dans ces zones est le développement de technologies permettant de minimiser ces pertes et de tirer le maximum de chaque goutte d'eau de pluie tombée en vue d'augmenter et de stabiliser les rendements des cultures. Cette stratégie doit être basée sur une approche intégrée permettant l'amélioration de l'absorption immédiate de cette eau par les plantes en cas de besoin ou sa conservation dans le sol pour une utilisation ultérieure pendant des phases de croissance critiques. Cette approche nécessite, entre autres, le développement de matériels génétiques adaptés et une conduite technique des cultures appropriée permettant une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau. Les travaux de recherche que nous avons conduits sur blé dur depuis 1994-1995 dans le but de mettre en place cette approche ont montré le rôle du rapprochement des lignes de semis dans la couverture rapide du sol par la végétation et donc dans la réduction de l'évaporation et l'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau et du rendement grains. Ces travaux ont également montré la nécessité de remplir le profil hydrique tôt dans le cycle du blé dur (au tallage, si nécessaire) dans le cas des exploitations ayant la possibilité de pratiquer l'irrigation d'appoint. La variabilité génotypique du taux de remplissage du grain et de la capacité de remobilisation des assimilats photosynthétiques des tiges vers les grains a été également démontrée. Il y a donc possibilité de choisir des parents qui ont ces caractéristiques et de créer des lignées ayant des poids du grain élevés et stables pour les zones arides et semi-arides.

**Mots-clés** : Evaporation, transpiration, efficacité, utilisation, approche, agronomique, génétique.

**SUMMARY** – “Contribution to the setting up of an integrated method to combat drought in durum wheat”. In arid and semi-arid areas of Morocco that are characterized by lack of rainfall and high fluctuations of the precipitation in time and space, high quantities of water are lost by evaporation and runoff (case of sloped lands). The strategy to be adopted in these zones is the development of technologies that help minimize these losses and take advantage of each droplet of rain in order to increase and stabilize crop yields. This strategy has to be based on an integrated approach that allows the improvement of immediate uptake of this water by plants when needed or its conservation in the soil for further utilization during the critical growth stages. This approach requires, among others, the development of adapted genetic material and an appropriate crop management that involves a better water use efficiency (WUE). Our research studies on durum wheat since 1994-1995 that aim towards the development of this approach showed the role of reducing row spacing in covering the soil by plants early in the season and hence in reducing soil evaporation and improving WUE and grain yield. These studies showed also the necessity of watering wheat during tillering, if needed, to fill the soil profile early during the growing season in the case of farms that have access to irrigation water. Genetic variation of grain filling rate and of remobilization of assimilates from stems to grains was also demonstrated. Consequently, there is a possibility to choose parents that have these characteristics and create lines that have high and stable kernel weights.

**Key words**: Evaporation, transpiration, efficiency, use, approach, agronomic, genetic.

---

## Introduction

L'agriculture pluviale dite “Bour” au Maroc représente environ 90% de la superficie agricole utile. La superficie potentiellement irrigable n'est que de 1,35 million d'hectares. Ce type d'Agriculture (pluviale) dépend de la pluviométrie qui est très variable dans le temps et dans l'espace. En effet, les précipitations annuelles moyennes sont inférieures à 100 mm au sud (Sahara) et augmentent progressivement en allant vers le nord pour atteindre dans certaines régions (Rif) 1500 mm. La variation inter-annuelle est tellement élevée que presque aucune année n'est similaire à une autre. Les sécheresses fréquentes que connaît le Maroc, surtout depuis les années 1980, ont fait que les productions agricoles sont devenues de plus en plus faibles pour une population qui ne cesse d'augmenter. Ces sécheresses ont également affecté les réserves en eaux souterraines et superficielles.

En effet, les nappes phréatiques ont atteint, certaines années, des niveaux critiques. La particularité de ces sécheresses est que si dans le passé elles touchaient plus certaines régions que d'autres (zones arides et semi-arides) et par conséquent il y a eu une certaine compensation de productions entre les régions, cette dernière décennie est caractérisée par les sécheresses ayant concerné tout le Maroc.

Malgré que la sécheresse peut survenir à n'importe quel moment de l'année, on peut globalement distinguer deux types de sécheresse au Maroc (Watts et El-Mourid, 1988). Il s'agit de la sécheresse du début du cycle qui coïncide souvent avec le démarrage des cultures céréalières et affecte la germination, la levée et le tallage. Cette sécheresse affecte la mise en place de la source (production des organes végétatifs) indispensable pour l'élaboration du puits (les grains).

Le deuxième type de sécheresse est celui de fin du cycle. Ce stress est beaucoup plus fréquent que le premier et est toujours associé aux hautes températures et affecte négativement l'élaboration des deux principales composantes du rendement à savoir le nombre de grains et le poids du grain.

En plus de la sécheresse et du stress thermique de fin de cycle des cultures d'automne, la profondeur du sol et la topographie des parcelles ne contribuent pas beaucoup à la conservation de l'eau dans le sol. En effet, un pourcentage assez élevé des sols, surtout des zones arides et semi-arides, sont peu profonds et ont par conséquent des capacités de stockage d'eau limitées. Par ailleurs, les cultures plantées sur les terrains accidentés profitent peu de l'eau des pluies du fait que la majorité de cette eau est perdue par ruissellement. Ce ruissellement constitue également un agent d'érosion des sols.

Les effets négatifs des sécheresses sur les cultures sont souvent accentués par l'utilisation d'espèces et variétés non adaptées et de techniques culturales favorisant les pertes d'eau.

Pour mieux cerner les problèmes liés à l'insuffisance de pluies et à leurs mauvaises répartitions inter et intra-annuelles, il est nécessaire de mieux gérer cette ressource naturelle d'une façon rationnelle et plus efficiente.

L'objectif est donc dans le cas des céréales de profiter au maximum de chaque goutte d'eau de pluies tombée. En effet cette eau reçue sous forme de précipitations devrait être soit utilisée immédiatement soit stockée dans le sol pour être utilisée ultérieurement par la plante notamment à des périodes critiques. Cette gestion raisonnée de l'eau peut augmenter et stabiliser le rendement. De même, dans le cas des environnements aléatoires tels que ceux des zones arides et semi-arides du Maroc, celle-ci permet de tirer le maximum des années pluvieuses.

La complexité du phénomène de sécheresse et déficit hydrique faisant intervenir le sol, le climat et la plante et leurs interactions exige d'abord, pour réduire son effet sur la production, une caractérisation agro-écologique de l'environnement permettant la détermination de zones homogènes et leurs potentialités de production et une stratégie intégrée de lutte se basant sur des voies agronomiques et génétiques et impliquant différentes disciplines. Avant de présenter cette stratégie, nous allons d'abord décrire le modèle de Passioura (1977) qui servira de base pour la présentation de l'approche intégrée de lutte contre la sécheresse chez le blé dur.

## Description du modèle de Passioura

Jusqu'aux années 70, les études conduites sur la tolérance à la sécheresse étaient orientées vers l'identification des traits permettant aux plantes de se protéger contre le stress hydrique. Actuellement, une stratégie différente est adoptée et vise la maximisation du rendement sous des conditions de déficit hydrique. Cette approche est basée sur le modèle de Passioura (1977). Cet auteur a avancé que la production de grains des céréales sous des conditions de sécheresse est fonction de la quantité d'eau transpirée, de l'efficacité d'utilisation de l'eau pour la production de la biomasse et de la capacité des plantes à mobiliser les assimilats photosynthétiques vers les grains. En effet, d'après Passioura, le rendement grain (Rg) peut être décomposé comme suit :

$$R_g = \text{Transpiration} \times \text{EUE} \times \text{IR}$$

EUE = Efficacité d'utilisation de l'eau = Rendement en matière sèche/Transpiration

IR = Indice de récolte = Rendement grains/Rendement en matière sèche + Rendement grains

D'après le même auteur, les termes de l'équation sont indépendants ; par conséquent toute amélioration d'un ou de plusieurs paramètres de l'équation permettra une augmentation du rendement.

Le modèle de Passioura a été utilisé surtout pour l'identification de traits impliqués dans l'amélioration génétique du rendement sous des conditions de sécheresse. Cependant, en analysant les termes de ce modèle, on se rend compte que ceux-ci peuvent être aussi améliorés par une meilleure gestion des cultures (approche agronomique). Par conséquent, dans ce manuscrit, une approche intégrée, génétique et agronomique, de lutte contre la sécheresse basée sur le modèle décrit ci-dessus est discutée.

## Présentation de l'approche intégrée à travers le modèle de Passioura

### Transpiration

L'eau du sol peut être perdue dans l'atmosphère par évaporation directe ou à travers la plante par transpiration. Elle est également non disponible pour les plantes si elle s'infiltre vers des horizons profonds non exploités par les racines des plantes ou si elle ruisselle vers des endroits non cultivés.

Pour augmenter la transpiration il faut donc diminuer l'évaporation au profit de la transpiration et favoriser l'absorption, par les racines, de l'eau stockée dans le sol en profondeur.

Les recherches conduites au Maroc et ailleurs ont montré qu'une voie d'amélioration de la transpiration et de réduction de l'évaporation est le recours à la couverture rapide du sol par la végétation. Cette amélioration peut être assurée par un semis précoce. En effet, ce dernier permet la réduction des pertes d'eau qui sont souvent occasionnées par l'évaporation de l'eau du sol humide travaillée après les pluies. Faire coïncider le cycle de la culture avec le cycle des pluies en semant tôt, a non seulement un effet positif sur l'utilisation des pluies précoces, mais permet aussi à la plante d'échapper à la sécheresse et aux hautes températures de fin du cycle (Table 1).

Table 1. Effet de la variation de l'époque de semis sur l'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE), l'évapotranspiration (ET) et le rendement-grains (Rg) du blé dur Marzak au domaine expérimental de Sidi El Aidi (SEA) (extrait de Bouchoutrouch, 1993).

	SEA 84/85 (384 mm de pluie)			SEA 85/86 (286 mm de pluie)		
	EUE (kg/mm)	ET (mm)	Rg (kg/ha)	EUE (kg/mm)	ET (mm)	Rg (kg/mm)
1 <sup>ère</sup> semaine de nov.	9,8	286,0	2801	12,2	295,0	3570
1 <sup>ère</sup> semaine de déc.	7,2	251,0	1818	12,8	285,0	3630
1 <sup>ère</sup> semaine de jan.	6,1	226,1	1375	6,0	244	1470

La couverture précoce du sol et la diminution de l'évaporation peuvent également être réalisées par l'utilisation des espèces (Gregory *et al.*, 1992) et/ou variétés (Siddique *et al.*, 1989) ayant une croissance rapide (émission et croissance rapide des feuilles et des tiges). Cependant, le recours aux espèces et variétés très vigoureuses peut entraîner, en cas de sécheresse de début du cycle, un épuisement rapide de l'humidité du sol et par conséquent une chute des rendements. Pour éviter ces problèmes, le choix judicieux de la structure du peuplement permettant une répartition adéquate des plantes dans l'espace et une couverture précoce du sol par la culture paraît être une alternative prometteuse. En effet, les résultats obtenus au Maroc (Tables 2 et 3) ont montré qu'en réduisant l'espacement entre les lignes de 24 cm à 12 cm on peut augmenter substantiellement le rendement et l'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE). Du fait que cette augmentation ne s'accompagne pas de l'augmentation de la quantité d'eau évapotranspirée, on peut conclure que l'amélioration de l'EUE était due à la réduction de l'évaporation au profit de la transpiration rendue possible par le rapprochement des lignes de semis et la couverture plus précoce du sol par la culture.

Le recours à un enracinement très profond ne semble pas être une stratégie à adopter surtout dans les zones arides et semi-arides où les quantités d'eau reçues sont souvent faibles et ne s'infiltrent pas vers des horizons profonds. Par conséquent, la plante n'a pas intérêt à investir beaucoup d'énergie dans la croissance verticale de cet organe. Cette stratégie pourrait être adoptée dans des zones où les sols

sont profonds et où les pluies sont assez abondantes et par conséquent où l'eau peut être stockée en profondeur. De même, dans les environnements plus arides, un enracinement très superficiel pourrait être aussi un inconvénient. En effet, l'horizon superficiel 0-40 cm est la partie du profil cultural qui souffre le plus rapidement du déficit hydrique du fait qu'elle est exposée à une forte perte en eau par évaporation. Cette évaporation expose les racines à un dessèchement du sol et donc à la sénescence et au flétrissement rapide de la plante (Karrou, 1992).

Table 2. Effets de la variation de l'espacement entre les lignes (EEL) et de la densité de semis (DS) sur le rendement grains (grain) et la matière sèche (MS) du blé dur

Modalités de semis	1995-1996		1996-1997	
	Grain (kg/ha)	MS (kg/ha)	Grain (kg/ha)	MS (kg/ha)
<b>12-cm EEL</b>				
200 graines/m <sup>2</sup>	4380	10430	1940	5470
300 graines/m <sup>2</sup>	3920	9561	2460	6080
400 graines/m <sup>2</sup>	3720	9300	2520	6770
Moyenne	4020	9764	2310	6110
<b>24-cm EEL</b>				
200 graines/m <sup>2</sup>	3640	9333	1740	4330
300 graines/m <sup>2</sup>	3730	9564	1510	3800
400 graines/m <sup>2</sup>	2770	7758	1600	3910
Moyenne	3380	8884	1620	4010
CV (%)	12	13	15	15
LSD (5%)				
DS	323	793	NS	NS
EEL	274	611	382	1160
Interaction	NS	NS	NS	NS

Table 3. Effets de la variation de l'espacement entre les lignes (EEL) et de la densité de semis (DS) sur l'efficacité d'utilisation de l'eau pour la production de grains (EUEg), la production de matière sèche (EUEms) et sur l'évapotranspiration réelle à l'anthèse (ETan) et à la maturité physiologique (ETmp)

Modalités de semis	1995-1996		1996-1997		
	EUEg (kg/mm)	EUEg (kg/mm)	EUEms (kg/mm)	ETan (mm)	ETmp (mm)
<b>12-cm EEL</b>					
200 graines/m <sup>2</sup>	10,4	5,9	17,8	306	349
300 graines/m <sup>2</sup>	9,3	8,6	22,0	312	328
400 graines/m <sup>2</sup>	8,8	8,9	25,4	310	338
Moyenne	9,5	7,8	21,7	309	338
<b>24-cm EEL</b>					
200 graines/m <sup>2</sup>	8,6	4,6	11,4	308	379
300 graines/m <sup>2</sup>	8,8	4,1	10,4	310	364
400 graines/m <sup>2</sup>	6,6	4,7	11,5	305	339
Moyenne	8,0	5,5	11,1	308	359
CV (%)	12	13	14	3	7
LSD (5%)					
DS	1,6	NS	NS	NS	NS
EEL	1,1	1,5	2,9	NS	NS
Interaction	NS	NS	NS	NS	NS

## Efficiencia d'utilización de l'eau

L'efficiencia d'utilización de l'eau est définie comme étant la quantité de matière sèche produite par unité d'eau transpirée. Certains auteurs ont montré que l'amélioration de cette efficiencia dépend de la photosynthèse et de la production de matière sèche de la partie aérienne. En effet dans les zones arides et semi-arides du Maroc où les quantités d'eau stockées dans les horizons profonds du sol sont faibles ou nulles, la stratégie à adopter est d'orienter plus d'assimilats carbonés vers la production de matière sèche de la partie aérienne que vers celle des racines. La sélection de variétés ayant la capacité d'avoir un ratio matière sèche de la partie aérienne/matière sèche de la partie souterraine élevé et des feuilles érigées est donc à privilégier. La position érigée des feuilles peut favoriser l'interception de plus d'eau de pluies et réduire la lumière incidente et donc la quantité d'eau perdue par transpiration.

En plus de la voie génétique, l'irrigation d'appoint est considérée comme une technique potentielle qui améliore l'efficiencia d'utilización de l'eau. En effet, les résultats de recherche obtenus en 1994 (Table 4) ont montré que l'apport d'une dose de 60 mm d'eau au tallage et/ou à la montaison favorise l'émission des talles et la production de matière sèche et augmente l'efficiencia d'utilización de l'eau. Cependant, bien que l'irrigation d'appoint augmente la productivité du blé, la dose optimale à apporter par stade critique reste dépendante des conditions pluviométriques de l'année. Pour mieux raisonner cette dose et faire des recommandations aux agriculteurs, des essais de modalités (doses et époques) d'apport d'eau d'irrigation ont été conduits. De ces expérimentations on peut conclure que le remplissage du profil hydrique au tallage, en cas de sol profond et à capacité de rétention d'eau élevée, est une condition nécessaire pour augmenter et stabiliser les rendements du blé dur (Tables 5 et 6). La disponibilité hydrique au cours de la période végétative permet l'élaboration de la composante la plus déterminante du rendement grains (nombre de grains) et la formation de la biomasse qui constitue une source très importante pour le remplissage du grain (formation du puits).

Table 4. Effet de l'irrigation d'appoint sur l'efficiencia d'utilización de l'eau (EUE) et le rendement-grains (Rg) du blé dur au domaine expérimental de Sidi El Aidi (extrait de Boufirass *et al.*, 1994)

	EUE (kg/mm)	Rg (kg/ha)
Contrôle : sans irrigation (294 mm de pluie)	11,82	3382
Irrigué au tallage (pluie + 60 mm d'eau)	15,25	5421
Irrigué à l'épiaison (pluie + 60 mm d'eau)	12,85	4417
Irrigué au remplissage du grain (pluie + 60 mm d'eau)	12,26	4204

L'efficiencia d'utilización de l'eau peut aussi être améliorée par le contrôle des mauvaises herbes. En éliminant ces herbes, on élimine la compétition pour l'eau, les éléments minéraux et la lumière, entre les plantes cultivées et les adventices et par conséquent on crée un environnement favorable pour la croissance et le développement des plantes cultivées. En effet, sous ces conditions, toute l'eau disponible sera utilisée par les plantes cultivées au lieu d'être partagée avec les adventices. Les études conduites par Tanji et Karrou (1992) ont montré que la lutte précoce (au début tallage) contre les adventices peut assurer une économie d'eau dans le sol d'environ 50 mm.

## Indice de récolte

L'indice de récolte est le rapport entre la quantité de grains et la quantité de matière sèche totale produite. Il donne une idée sur la capacité de la plante à orienter ses assimilats vers la production de grains. Si dans le dernier chapitre on a privilégié la production de matière sèche totale, celle-ci ne doit pas être excessive (variété produisant beaucoup de matière sèche, anthèse trop tardive, effet de l'apport précoce d'azote) sinon les composantes de rendement élaborées relativement tard dans le cycle des céréales (nombre de grains et poids du grain) seront négativement affectées surtout si la fin du cycle coïncide avec un déficit hydrique accentué.

Certaines variétés ont le pouvoir de sentir le stress hydrique tôt et ont donc la capacité d'ajuster leur croissance en réduisant leur surface foliaire (sénescence de certaines feuilles et talles) aux disponibilités en eau. Blum et Arkin (1984) ont montré chez le sorgho que la surface foliaire chute significativement sous stress hydrique avant que la conductance stomatale dans les feuilles encore vivantes ne soit sérieusement

réduite. Cette réduction de la surface foliaire permet donc de réduire la compétition entre plantes et donc la transpiration, rationaliser l'absorption de l'eau et assurer un rendement grains minimal. En effet, certaines variétés marocaines, telles que Nesma, ont cette caractéristique (Karrou et El-Mourid, 1993).

Table 5. Rendement grains et ses composantes et l'efficience d'utilisation de l'eau sous différentes modalités d'apport d'eau d'irrigation en 1993-1994

Modalités d'apport d'eau	# Grains/m <sup>2</sup>	Poids de 1000 grains (g)	Rendement grains (kg/ha)	Efficience d'utilisation de l'eau (kg/mm)
T1 : Pluie seule (P)	8547	30,1	1815	9,70
T2 : P + 30 mm au T <sup>†</sup>	8852	37,8	1923	8,85
T3 : P + 30 mm à E <sup>††</sup>	10742	29,6	2321	10,69
T4 : P + 60 mm au T	12957	38,1	2532	10,24
T5 : P + 60 mm à E	9817	31,1	2795	11,31
T6 : P + 30 mm au T + 30 mm à E	9664	33,0	2394	9,68
T7 : P + 90 mm au T	13005	41,5	3559	12,84
T8 : P + 90 mm à E	10548	33,9	2936	10,59
T9 : P + 45 mm au T + 45 mm à E	11971	40,3	3025	10,91
T10 : P + 120 mm au T	15764	44,6	5177	16,85
T11 : P + 120 mm à E	9411	30,7	3125	10,17
T12 : P + 60 mm au T + 60 mm à E	12 738	37,1	3129	10,19
Signification au seuil 5%	**	**	**	
LSD	2975	5,4	931	
CV (%)	14,4	10,4	15,4	

<sup>†</sup>T = Au tallage.

<sup>††</sup>E = A l'épiaison.

Table 6. Rendement grains et ses composantes et l'efficience d'utilisation de l'eau sous différentes modalités d'apport d'eau d'irrigation en 1994-1995

Modalités d'apport d'eau	# Grains/m <sup>2</sup>	Poids de 1000 grains (g)	Rendement grains (kg/ha)	Efficience d'utilisation de l'eau (kg/mm)
T1 : Pluie seule (P)	2140	35,9	616	5,22
T2 : P + 30 mm au T <sup>†</sup>	3109	37,8	1041	7,03
T3 : P + 30 mm à E <sup>††</sup>	2785	40,1	1072	7,24
T4 : P + 60 mm au T	3396	39,7	1432	8,04
T5 : P + 60 mm à E	3166	36,8	713	4,00
T6 : P + 30 mm au T + 30 mm à E	2568	35,9	795	4,47
T7 : P + 90 mm au T	3785	38,9	1667	8,01
T8 : P + 90 mm à E	2855	37,4	1309	6,29
T9 : P + 45 mm au T + 45 mm à E	3960	37,0	1418	6,82
T10 : P + 120 mm au T	4752	45,2	2153	9,05
T11 : P + 120 mm à E	3640	40,0	1444	6,07
T12 : P + 60 mm au T + 60 mm à E	4200	41,0	1821	7,65
Signification au seuil 5%	**	*	**	
LSD	1131	5,3	762	
CV (%)	17,3	8,9	16,0	

<sup>†</sup>T = Au tallage.

<sup>††</sup>E = A l'épiaison.

Pour améliorer l'indice de récolte, il faut chercher un compromis entre la source (production d'organes végétatifs) et le puits (production de grains). A l'anthèse la quantité de matière sèche produite doit être suffisante pour assurer le remplissage du grain et donc un rendement grain acceptable. Cette quantité doit être comprise entre 5 à 6 tonnes/ha (El-Mourid, 1988). Le puits (grains) doit aussi être fort pour pouvoir attirer le maximum d'assimilats de la photosynthèse et de matière sèche accumulée dans les organes végétatifs. Une relation positive et significative a été trouvée entre la vigueur des plantes à l'anthèse et le rendement grains (El-Mourid, 1988). En effet les plantes qui sont capables de produire suffisamment de matière sèche à l'anthèse et de maintenir leurs stomates ouverts et l'assimilation de CO<sub>2</sub> élevée au cours de la formation et du grossissement du grain sont à rechercher. Une corrélation négative et significative a été trouvée entre le rendement grains et la température du couvert végétal (El-Mourid, 1988 ; Karrou, 1992 ; Samir, 1993) et une corrélation positive entre le taux de remplissage et le rendement grains a été également enregistrée (El Hafid et Karrou, 1994).

D'autres critères potentiels de tolérance à la sécheresse et donc d'augmentation du rendement grains et d'indice de récolte dans les zones arides et semi-arides sont l'ajustement osmotique permettant le maintien de la turgescence et donc de la photosynthèse et la capacité des plantes à remobiliser les assimilats carbonés des organes végétatifs vers les grains sous des conditions de déficit hydrique.

Actuellement, des recherches sur le choix des parents de blé dur ayant une meilleure capacité de remobilisation des assimilats carbonés des tiges vers les grains et des taux de remplissage des grains plus élevés sont en cours. Les résultats préliminaires de ces études montrent une variabilité génotypique pour ces deux paramètres. En effet, certains génotypes (V2, V3 et V4) sont classés, pendant deux campagnes agricoles 1994-1995 et 1995-1996, parmi les 5 premiers (Tables 7 and 8) quant à leurs capacités de remobilisation d'assimilats carbonés vers les grains sous des conditions de stress hydrique simulé par l'application d'un desséchant (chlorure de sodium). De même, pour le taux de remplissage du grain (Table 9), nous remarquons que les variétés V1, V2 et V9 sont classées parmi les 5 premières qui ont les valeurs les plus élevées. Par contre, les génotypes V4 et V6 tendent à avoir les taux les plus bas.

Table 7. Effet du desséchant (chlorure de sodium) sur le poids de 1000 grains de variétés de blé dur conduites en irrigué au domaine expérimental de Sidi El Aidi en 1994-1995

Variété	Non traité (NT)	Traité (T)	$[(NT-T)/NT]100$	Moy./variété
V1	36,3	33,7	7	35,0
V2	38,0	35,0	8	36,5
V3	32,6	28,9	11	30,8
V4	26,8	22,7	16	24,8
V5	27,3	22,5	17	24,9
V6	50,3	41,0	18	45,7
V7	34,2	27,1	21	30,6
V8	37,7	28,6	24	33,1
V9	40,7	31,0	24	35,9
V10	35,5	27,0	24	31,2
V11	44,0	33,4	24	38,7
V12	37,9	27,4	28	32,7
V13	45,9	30,1	34	38,0
V14	27,7	17,5	37	22,6
V15	38,6	23,4	39	31,0
V16	36,5	22,0	40	29,3
V17	41,9	24,2	42	33,1
V18	45,2	25,8	43	35,5
V19	42,4	24,3	43	33,3
V20	42,9	23,3	46	33,1
Moy./traitement	38,1	28,0		

CV (%) : 13,6

Effet du traitement : Significatif (LSD = 9,5)

Effet de la variété : Significatif (LSD = 12,2)

Effet de l'interaction : Significatif

Table 8. Effet du desséchant (chlorure de sodium) sur le poids de 1000 grains de variétés de blé dur conduites en irrigué au domaine expérimental de Sidi El Aidi en 1995-1996

Variété	Non traité (NT)	Traité (T)	[(NT-T)/NT]100	Moy./variété
V1	59,4	27,6	54	43,5
V2	43,9	43,4	1	43,7
V3	38,9	33,1	15	36,0
V4	43,6	42,3	3	42,9
V5	49,8	38,4	23	44,1
V6	53,9	36,4	32	45,1
V7	45,2	33,4	26	39,3
V8	37,0	35,4	4	36,2
V9	41,6	31,6	24	36,6
V10	53,2	40,4	24	46,8
V11	49,3	34,4	30	41,8
V12	44,4	33,5	25	38,9
V13	47,0	29,4	37	38,2
V14	40,2	30,8	23	35,5
V15	38,5	36,1	6	37,3
V16	43,5	38,3	13	40,9
V17	45,8	41,3	10	43,5
V18	53,8	40,8	25	47,3
V19	45,9	44,2	4	45,0
V20	51,4	38,5	25	46,3
Moy./traitement	45,7	37,0		

CV (%) : 15,35

Effet du traitement : Significatif (LSD = 4,6)

Effet de la variété : Hautement significatif (LSD = 1,4)

Effet de l'interaction : Hautement significatif

Table 9. Taux de remplissage du grain (Tx) de différentes variétés de blé dur sous différentes conditions climatiques au domaine expérimental de Merchouch

Variété	Tx (g/degré jours)		Tx (g/degré jours)
	Semis précoce campagne 97/98	Semis précoce campagne 98/99	Semis de saison campagne 98/99
V1	82	70	69
V2	92	65	72
V3	79	47	67
V4	63	58	59
V5	58	53	53
V6	57	43	55
V7	73	50	63
V8	67	58	70
V9	69	70	73
V10	73	57	63
V11	70	79	68
V12	65	52	63
V13	67	48	71
V14	70	58	60
V15	66	85	67
V16	93	55	59
V17	72	61	58

## Conclusions

Des études que nous avons conduites au Maroc et discutées ci-dessus nous pouvons conclure que pour réduire les effets de la sécheresse et augmenter et stabiliser les rendements du blé dur en zones arides et semi-arides, il est indispensable d'adopter une approche intégrée (génétique et agronomique). Cette approche doit viser le développement de matériels génétiques ayant la capacité de remobiliser les assimilats des tiges vers les grains sous stress hydrique et d'avoir des taux de remplissage des grains élevés tout en maintenant des nombres de grains/épi acceptables et relativement stables. En plus du développement variétal, le recours à la couverture précoce du sol par les plantes en jouant sur la structure du peuplement et la lutte précoce contre les mauvaises herbes est un moyen efficace pour réduire le gaspillage de l'eau par évaporation et par transpiration par les adventices. Dans le cas des exploitations ayant la possibilité d'accéder à l'irrigation, les apports d'eau au tallage et à l'épiaison, en cas de besoin, peuvent sécuriser la production du blé dur.

## Références

- Blum, A. et Arkin, G.F. (1984). Sorghum root growth and water use as affected by water supply and growth duration. *Field Crop Res.*, 9 : 131-142.
- Bouchoutouch, M. (1993). *Yield and yield components, water use and weed infestation as affected by planting date of wheat in semi-arid environment*. Mémoire présenté pour accéder au grade d'ingénieur en chef. DIF-INRA Rabat.
- Boutfirass, M., Karrou, M. et El-Mourid, M. (1994). Irrigation supplémentaire et variétés de blé dans les zones semi-arides du Maroc. Dans : *Actes de la Conférence sur les Acquis et Perspectives de la Recherche Agronomique dans les Zones Arides et Semi-arides du Maroc*, El Gharous, M., Karrou, M. et El Mourid, M. (éds), Rabat, 24-27 mai 1994.
- El Hafid, R. et Karrou, M. (1994). Contribution à l'étude de certains mécanismes impliqués dans le remplissage du grain chez différentes variétés de blé en milieu semi-aride. Dans : *Actes de la Conférence sur les Acquis et Perspectives de la Recherche Agronomique dans les Zones Arides et Semi-arides du Maroc*, El Gharous, M., Karrou, M. et El-Mourid, M. (éds), Rabat, 24-27 mai 1994.
- El-Mourid, M. (1988). *Performance of wheat and barley cultivars under different soil moisture regimes in a semi-arid region*. PhD dissertation, Iowa State University.
- Gregory, P.J., Tennant, D. et Belford, R.K. (1992). Root and shoot growth and water and light use efficiency of barley and wheat crops grown on a shallow duplex soil in a Mediterranean-type environment. *Aust. J. Agr. Res.*, 43 : 555-573.
- Karrou, M. (1992). *Physiological and morphological traits associated with nitrogen uptake and use in Moroccan wheats at different moisture regimes*. PhD dissertation, University of Nebraska, Lincoln-Nebraska.
- Karrou, M. (1998). Observations on effect of seeding pattern on water-use efficiency of durum wheat in semi-arid areas of Morocco. *Field Crop Res.*, 59 : 175-179.
- Karrou, M. et El-Mourid, M. (1993). Acquis de recherche sur la physiologie du stress au Centre Aridoculture. *Al Awamia*, 81 : 19-33.
- Passioura, J.B. (1977). Grain yield harvest index and water use of wheat. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.*, 43 : 117-120.
- Samir, K. (1993). *Réponses agrophysiologiques de trois variétés de blé dur au stress hydrique en zones semi-arides*. Thèse de DES, Faculté des Sciences de Meknès.
- Siddique, K.H.M., Belford, R.K., Perry, M.W. et Tennant, D. (1989). Growth development and light interception of old and modern wheat cultivars in a Mediterranean-type environment. *Aust. J. Agr. Res.*, 40 : 473-487.
- Tanji, A. et Karrou, M. (1992). Water use and water use efficiency of weeds and wheat in semi-arid Morocco. *Al Awamia*, 78 : 29-43.
- Watts, D.G. et El-Mourid, M. (1988). *Rainfall patterns and probabilities in the semi-arid cereal production region of Morocco*. USA I. D. project No. 608-0136.