

## Effet du stress hydrique sur les caractéristiques d'enracinement du blé dur (*Triticum Durum*. Desf)

Mouna EL FAKHRI<sup>a</sup>, Said MAHBOUB<sup>b</sup>, Mounsif BENCHEKROUN<sup>c</sup>, Nasserelhaq NSARELLAH<sup>d</sup>.

<sup>a,c</sup> Département de Biologie Appliquée et Agroalimentaire, Faculté des Sciences et Techniques, Settat, Maroc

<sup>b</sup>laboratoire d'Ecologie et d'Environnement, Faculté des Sciences Ben M'Sik, Casa, Maroc

<sup>d</sup>Département d'Amélioration Génétique des Plantes, INRA, Settat, Maroc

---

### Résumé

Un système racinaire capable d'extraire l'eau du sol serait un caractère essentiel pour l'adaptation à la sécheresse. Cette caractéristique revêt une importance particulière pour les cultures qui subissent régulièrement des déficits hydriques durant le cycle de croissance. Son impact sur le rendement serait particulièrement élevé car il interviendrait directement dans la disponibilité de l'eau pour la plante en conditions de stress.

L'objectif de cette étude est d'apprécier les performances du système racinaire sous stress hydrique chez dix variétés du blé dur (Hedba, Razzak, Oued Zenati, Kyperounda, Simeto, Jenah Khetifa, Mrb5, Senator Capelli, Massara-1 et Waha). Ces variétés sont adaptées à différentes zones méditerranéennes. Les caractéristiques des enracinements ont été évaluées pour chaque variété sous différentes conditions de disponibilité d'eau dans le sol. Les données recueillies ont montré des variations pour chacune des caractéristiques mesurées. Ces variations dépendaient du régime hydrique et de la variété considérée. Les différentes variétés avaient différents comportements sous stress laissant entrevoir différentes stratégies des géotypes pour l'adaptation au stress hydrique. Les corrélations positives entre les paramètres racinaires étudiés ont permis de mettre en évidence les caractéristiques optimales d'enracinement en conditions de ressources hydriques limitées.

*Mots clés* : blé dur, variétés, stress hydrique, système racinaire.

---

### 1. Introduction

Dans les zones arides et semi-arides, une grande hétérogénéité des formes de sécheresse sont rencontrées [1]. La seule observation des variations pluriannuelles des rendements observés chez l'espèce ne permet pas de déterminer précisément les formes de réactions qu'elle développe. L'analyse doit alors être complétée par une meilleure compréhension des mécanismes de fonctionnement de la plante ; dans le but de déterminer les mécanismes physiologiques et morphologiques d'adaptation à la sécheresse [2, 3, 4,5]. Il est généralement admis qu'un système racinaire bien développé constitue un caractère important pour

l'amélioration de l'absorption des ressources hydriques du sol. De nombreuses études conduites au champ ou en conditions contrôlées montrent l'existence d'une grande variation des caractéristiques d'enracinement des différentes espèces cultivées en conditions hydriques défavorables.

Cette diversité peut être exploitée afin de sélectionner du matériel possédant l'architecture racinaire la mieux adaptée à un type de sécheresse donné [6].

Des travaux [6,7] apportaient un certain nombre d'informations sur le rôle du système racinaire en condition de sécheresse:

- Il apparaît bien que la capacité d'ajustement du développement racinaire en fonction des conditions hydriques du sol peut contribuer de manière

significative à augmenter la disponibilité en eau, et par conséquent éviter la sécheresse.

- La plasticité intravariétale du système racinaire devra être prise en considération et exploitée au même titre que la diversité intervariétale de développement racinaire observée en conditions normales.
- L'étude des interactions entre l'état hydrique du sol et la croissance d'une part et le développement racinaire et l'absorption racinaire d'une autre part, indique qu'il est nécessaire de fixer une valeur optimale des caractéristiques d'enracinement afin d'éviter une péjoration du rendement utile.
- Le choix et la taille des dispositifs utilisés lors de l'expérimentation doivent être ajustés en fonction de l'espèce afin d'éviter un développement très rapide du stress qui ne favorise pas la mise en place des caractéristiques adaptatives existant au niveau racinaire [8].

## 2. Matériel et méthodes

La présente étude porte sur l'évaluation de la croissance racinaire chez dix génotypes de blé dur. Elle a été conduite à l'Institut National de Recherche Agronomique de Settat en collaboration avec la Faculté des Sciences et Technique de Settat ; en vue de rechercher une variabilité génétique au niveau des caractéristiques de l'enracinement de blé dur.

Cette étude a permis d'apprécier les performances du système racinaire sous condition hydrique normale et sous condition de stress hydrique chez dix génotypes de blé dur originaires de la zone méditerranéenne. Six des dix variétés utilisées sont anciennes ou demi améliorées, il s'agit de: Oued Zenati, Kyperounda, Hedba, Simeto, Jenah Khetifa, et Senator Capelli. Les autres variétés (quatre) sont modernes, productives et ont une large adaptation, il s'agit de : Razzak, Mrb5, Massara-1 et Waha.

### 2.1. Dispositif expérimental

Dans des conditions contrôlées (sous serre) ; le semis a été réalisé dans des tubes en plastique transparent de 20 cm de diamètre et de 100 cm de long. Les tubes sont remplis d'un mélange de sol; tamisé à 2 mm, stérilisé puis mélangé avec du sable à raison de 2/3 sol et 1/3 sable. Les analyses granulométriques du substratum ont révélé qu'il est constitué de 27% d'argile, 26% de limon et 47% de sable. L'essai comprend cinq répétitions.

Les variétés ont reçu la même quantité d'eau jusqu'au stade d'épiaison, puis la contrainte hydrique est appliquée

par un arrêt complet d'irrigation jusqu'à maturité, alors que les témoins sont irrigués régulièrement. Deux régimes hydriques ont été utilisés : le régime sous conditions hydriques normales et le régime stressé. Il y avait cinq répétitions de chaque variété par régime hydrique. Trois plantes ont été semées par tube. Le dispositif expérimental utilisé était celui d'un essai factoriel complètement aléatoire.

L'évaluation de l'échantillon a été réalisée à la maturité (après 138 jours). La terre est séparée des racines par un jet modéré d'eau du robinet. Les racines sont ensuite lavées dans un bac avant de procéder aux mesures. Les paramètres étudiés sont:

- Le nombre de racines primaires (NRP), déterminé par comptage des racines de longueur supérieure à 1 cm.
- La longueur de la racine principale (LRP), paramètre plus fréquemment retenu, est mesurée en cm à l'aide d'une règle plate.
- Le volume racinaire (VR), exprimé en cm<sup>3</sup>, a été apprécié selon la méthode de Musick et al. [9] en comparant les niveaux d'eau, avant et après immersion de la totalité des racines dans un volume d'eau connu.
- La masse de matière sèche racinaire (MSR), exprimée en grammes, a été déterminée après séchage à l'étuve à 60°C pendant 96 heures [10].

### 2.2. Analyse statistique

L'analyse statistique a consisté en une analyse de la variance selon le modèle:

$Y = \text{régime hydrique} + \text{génotype} + \text{génotype} \times \text{régime hydrique} + \text{erreur}$ .

La comparaison des moyennes est faite par le test LSD « least significant difference ».

## 3. Résultats

Les résultats obtenus montrent une variabilité génétique importante des caractéristiques de l'enracinement chez les variétés testées. Le nombre de racines primaires, le volume racinaire, la matière sèche racinaire et la longueur de la racine principale varient en fonction du génotype, du traitement et de leur interaction.

L'analyse de la variance (Tableau 1) a montré un effet hautement significatif du génotype, et du traitement ou régime hydrique. L'effet de l'interaction entre le génotype et le régime hydrique est statistiquement significatif.

*Effet du stress hydrique sur les caractéristiques d'enracinement du blé dur (Triticum Durum. Desf)*

Tableau 1: analyse de la variance des paramètres mesurés: NRP, LRP, VR et MSR.

Facteur de variation	Degré de liberté	CME NRP	CME LRP	CME VR	CME MSR
Génotype	9	S	HS	S	HS
RH	1	HS	HS	HS	HS
Génotype x RH	9	HS	HS	HS	HS
Erreur	81	-	-	-	-

RH : régime hydrique, CME : carré moyen des écarts, S, HS : significatif (P=0,05) et hautement significatif (P=0,01), respectivement.

### 3.1. Le nombre de racines primaires (NRP)

Sous condition de stress hydrique, le NRP nombre de racines primaires émises a augmenté chez neuf des dix variétés testées. Les variétés Hedba, Razzak et Oued Zenati se placent en tête (environ 70%), chez les variétés Kyperounda et Simeto, cette augmentation est de l'ordre de 50%. La différence ne dépasse pas les 20% chez les génotypes Jenah Khetifa, Mrb5, Senator Capelli et Massara-1. La variété Waha qui a dominé toutes les variétés en régime irrigué (102 racines primaires) ne donne aucune réponse significative en situation de stress hydrique (Tableau 2).

Tableau 2 : Variation du nombre de racines primaires (NRP) chez 10 génotypes et sous deux régimes hydriques

Génotype	Témoin	Stressée	Moyenne	Variation (%)
Hedba	43,66	146	94,83	70,09
Razzak	45	148	96,5	69,59
Oued Zenati	47	150	98,5	68,66
Kyperounda	57	114	85,5	50
Simeto	47,33	95,33	71,33	50,35
Jenah Khetifa	40,33	50	45,165	19,34
Mrb5	41,66	52,66	47,16	20,88
Massara-1	42	52,66	47,33	20,24
Senator	43,33	55	49,165	21,21
Waha	102,33	102,5	102,415	0,16
Moyenne RH.	50,964	96,615	73,7895	39,052

### 3.2. La longueur de la racine primaire

Sous conditions de stress hydrique, les variétés Hedba, Razzak et Oued Zenati se sont montrées les plus performantes en termes d'augmentation de la LRP (d'environ 60%) (Tableau 3). Ce caractère indique un enracinement profond permettant de récolter l'eau en profondeur lorsque celle-ci est limitée dans les couches superficielles du sol [11] et même si cette profondeur n'est atteinte que par une seule racine principale [12].

L'effet du stress hydrique sur ce paramètre a été peu marqué chez les variétés Kyperounda et Simeto avec une augmentation de l'ordre de 20%. Pour les génotypes Jenah Khetifa, Mrb5 et Massara-1, Senator Capelli et Waha ce taux a été de 15%.

Tableau 3 : Variation de la longueur de la racine principale (LRP) en cm chez 10 génotypes et sous deux régimes hydriques

Génotype	Témoin	Stressée	Moyenne	Variation (%)
Hedba	45,55	117,60	81,575	61,26
Razzak	45,41	116,15	80,78	60,90
Oued Zenati	46,60	114,98	80,79	59,47
Kyperounda	72,11	90,49	81,3	20,36
Simeto	75,30	95,04	85,17	20,77
Jenah Khetifa	57,05	67,02	62,035	14,87
Mrb5	62,10	72,98	67,54	14,90
Massara-1	62,10	73,18	67,64	15,14
Senator	52,83	61,92	57,375	14,68
Waha	61	56,87	52,74	15,62
Moyenne	58,005	86,21	72,1075	26,673

### 3.3. Volume du système racinaire (VR)

Le volume du système racinaire reflète une extension et/ou une ramification du système racinaire qui favorise la colonisation d'un plus grand volume de sol, rendant plus accessibles à la plante les réserves en eau du sol [13]. Les variétés Hedba, Razzak et Oued Zenati se distinguent par une augmentation de plus de 80% du VR sous régime sec. Les variétés Kyperounda et Simeto ont montré une augmentation moindre (40%) alors que le reste des variétés a montré des augmentations du VR de l'ordre de 10%. (Tableau 4).

Tableau 4 : Variation du volume racinaire (VR) en cm<sup>3</sup> chez 10 génotypes et sous deux régimes hydriques

Génotype	Témoin	Stressée	Moyenne	Variation (%)
Hedba	9,30	48,70	29	80,90
Razzak	10,50	53,97	32,235	80,54
Oued Zenati	11,33	50,06	30,695	81,36
Kyperounda	9,52	16,26	12,89	41,45
Simeto	9,66	16,05	12,855	39,41
Jenah Khetifa	10,30	11,50	10,9	10,43
Mrb5	10,48	11,67	11,075	10,19
Massara-1	9,89	11	10,445	10,09
Senator	9,50	10,55	10,025	9,95
Waha	10,15	11,30	10,725	10,17
Moyenne	10,063	24,106	17,0845	37,449

### 3.4. La matière sèche racinaire (MSR)

En cas de stress hydrique les variétés Hedba, Razzak et Oued Zenati ont tendance à accumuler beaucoup plus de matière sèche dans leurs racines, elles semblent avoir l'aptitude de développer un système racinaire plus important avec un taux d'environ 75%. Le taux d'augmentation de la matière sèche racinaire chez les génotypes Kyperounda et Simeto est de 50%. Alors que les autres variétés paraissent répondre moins à cet objectif dont le taux d'augmentation est compris entre 10% et 4% (Tableau 5).

Tableau 5: Variation de la matière sèche racinaire (MSR) en gr. chez 10 génotypes et sous deux régimes hydriques

Génotype	Témoin	Stressée	Moyenne	Variation (%)
Hedba	2,98	12,11	7,545	75,39
Razzak	3	11,89	7,445	74,76
Oued Zenati	3,67	14,75	9,21	75,11
Kyperounda	3,35	6,70	5,025	50
Simeto	3,12	6,30	4,71	50,47
Jenah Khetifa	3,55	3,90	3,725	8,97
Mrb5	2,83	3,12	2,975	9,29
Massara-1	2,40	2,59	2,495	7,33
Senator	2,65	2,95	2,8	10,16
Waha	2,05	2,13	2,09	3,75
Moyenne	2,96	6,644	4,802	36,523

### 3.5. Corrélations entre les différents paramètres étudiés

Les corrélations entre les caractéristiques des racines mesurées sous conditions hydrique normale sont peu significatives (tableau 6). Il y a une seule corrélation (avec

un coefficient de déterminisme faible) entre les paramètres NRP et MSR. Ceci indiquerait que sous condition normale les différentes caractéristiques des racines ne sont pas automatiquement liées.

Tableau 6. Corrélations observées entre les moyennes des paramètres racinaires mesurés sous condition non stressée

	MSR	VR	LRP
VR	0,32 NS		
LRP	-0,11 NS	-0,36 NS	
NRP	-0,54	0,00 NS	0,20 NS

Les corrélations entre les caractéristiques des racines sous conditions de stress hydrique, sont significatives et avec un signe positif. Les coefficients de détermination sont aussi plus importants (Tableau 7). Le manque de corrélation entre les caractéristiques racinaires sous conditions hydriques normales et les fortes corrélations observées entre elles, sous conditions de stress hydrique, indiqueraient que le stress induit une variation collective cohérente chez les différents paramètres mesurés.

Tableau 7. Corrélations observées entre les moyennes des paramètres mesurés MSR, VR, LRP et NRP sous condition stressée

	MSR	VR	LRP
VR	0,95**		
LRP	0,96**	0,90**	
NRP	0,90**	0,89**	0,82**

En considérant les changements dans les différentes caractéristiques mesurées, lors du passage de l'état non stressé à l'état stressé, on obtient des corrélations significatives. Ces corrélations sont toutes aussi positives et avec des coefficients de déterminations élevés. (Tableau 8). Ceci indiquerait que le passage à l'état de stress induit une augmentation au niveau des paramètres quantitatifs et qualitatifs des racines.

Tableau 8. Corrélations observées entre les % des variations des paramètres mesurés MSR, VR, LRP et NRP lors du passage des conditions non stressées aux conditions stressées

	MSR	VR	LRP
VR	0,98**		
LRP	0,89**	0,92**	
NRP	0,98**	0,95**	0,93*

#### 4. Discussion

A la lumière des résultats obtenus on peut retenir une augmentation de l'importance des caractéristiques quantitatives des racines en conditions hydriques limitantes, accompagnée d'une redistribution du système racinaire, avec la formation de racines plus longues et plus ramifiées.

L'analyse de l'état initial et de l'évolution du système racinaire dans les conditions contraignantes permet de distinguer quatre groupes de variétés. Le premier groupe composé des variétés Hedba, Razzak et Oued Zenati, se caractérise par des réponses au stress hydrique qui sont importantes, positives et hautement significatives. Le deuxième groupe comporte deux génotypes; Kyperounda et Simeto, pour lesquels le déficit hydrique a provoqué un développement des paramètres racinaire avec des taux d'augmentation équivalents aux 2/3 de ceux notés chez le premier groupe. Les variétés Jenah Khetifa, Mrb5, Massara-1 et Senator Capelli, formant le troisième groupe, répondent moins aux conditions de stress hydrique. Le quatrième groupe est composé d'une seule variété (Waha), qui ne répond pas aux conditions de stress mais qui présente des caractéristiques racinaires qui sont d'ores et déjà élevées par rapport aux autres variétés sous condition hydrique normale.

Les corrélations entre les différentes caractéristiques des racines mesurées ne sont visibles que dans la condition de stress hydrique. En considérant le passage du régime hydrique normal au régime hydrique stressé, on note des corrélations significatives et positives entre les changements en % dans les différents paramètres mesurés. Ces corrélations indiquent que le stress est bien le facteur déterminant de l'évolution des caractéristiques des variétés (neuf cas sur dix) et ce, bien que la réponse ait été variable d'une variété à une autre.

Dans la littérature, l'aptitude à maintenir un nombre de racines primaires élevé sous stress hydrique est considéré comme permettant une meilleure accessibilité à l'eau par la plante. Cependant, plusieurs auteurs accordent une attention particulière à la profondeur de l'enracinement [14], permettant de chercher l'eau en profondeur lorsque sa présence est limitée dans les couches superficielles du sol

[11, 15]. Ceci serait vrai même si cette profondeur n'est atteinte que par une seule racine principale [12].

Chez les variétés étudiées, le stress hydrique affecte positivement le volume racinaire avec une réponse variable selon le génotype. Ce paramètre traduit une extension et/ou une ramification du système racinaire qui favorise la colonisation d'un plus grand volume du sol, rendant plus accessible à la plante les réserves en eau (et en éléments nutritifs) du sol. Cette caractéristique n'est atteinte que dans des conditions favorables [13].

Par ailleurs, le volume racinaire augmente en fonction du nombre et de la longueur des racines. Ceci est expliqué par la corrélation positive entre les paramètres racinaires (longueur de la racine principale ; nombres des racines primaires ; et volume racinaire).

D'autre part la corrélation positive entre l'accumulation de la matière sèche dans les racines et les paramètres cités (NRP LRP ; et VR) montre qu'en condition de stress hydrique, cette matière sèche sert à la production de nouvelles racines, à leur prolifération (volume racinaire), à leur allongement (accroissement en longueur) et à leur entretien. Sous condition de déficit hydrique, un système souterrain se développant profondément dans le sol est le caractère le plus recherché ; la matière sèche orientée vers la partie souterraine étant destinée à l'allongement des racines.

En effet, la caractéristique la plus importante n'est pas la quantité de matière sèche accumulée dans les racines, mais plutôt sa destination [16].

Les résultats de cette étude infirment ceux des autres auteurs [12, 13, 17, 18, 19, 20, 21] ; montrant que le déficit hydrique inhibe plus la croissance du système racinaire que celle des organes aériens. En effet, pour ces auteurs, pour le blé dur, le déficit hydrique réduit en général la profondeur maximale des racines, le volume total racinaire, le nombre total des racines et la matière sèche racinaire. Ainsi, sous conditions favorables d'alimentation en eau, il peut exister un équilibre entre les différents paramètres racinaires avec une tendance à l'allongement. Lorsque l'alimentation hydrique est limitante, l'accroissement en longueur des racines rompt cet équilibre, mais cette réponse au stress hydrique dépend du génotype [22]. Cependant, il faudrait garder en compte que les variétés utilisées ne sont pas les mêmes pour tous les auteurs.

Selon certains chercheurs [23, 24], un système racinaire capable d'extraire l'eau du sol est une caractéristique essentielle pour la résistance à la sécheresse. Cette caractéristique revêt une importance particulière sur les cultures qui subissent régulièrement des déficits hydriques de fin de cycle. Son impact sur le rendement est particulièrement élevé car elle intervient directement dans l'efficacité de l'utilisation de l'eau en conditions de stress. La majorité des résultats reportés montre une corrélation

positive entre la profondeur d'enracinement et le rendement en grains [25, 26].

En effet, le rendement en grains dépend étroitement des quantités d'eau disponibles pendant la période allant de l'anthèse à la maturité [27].

Le maintien d'un rendement élevé sous des conditions de déficit hydrique chez le blé dur peut être expliqué par la capacité à pomper l'eau en profondeur. L'aptitude des racines à exploiter les réserves en eau du sol sous stress est une réponse particulièrement efficace pour l'élaboration de la production de graines [28].

Pourtant Fischer et Maurer [29] ont montré qu'aucune corrélation significative entre le rendement en grains et les paramètres de l'enracinement n'a été observée, du fait que le rendement en grains sous stress hydrique dépend de plusieurs facteurs et de leurs interactions dominées par la sensibilité au déficit hydrique, le potentiel de production et l'évitement de sécheresse.

La productivité au champ, que ce soit sous condition normale ou sous condition de stress est le critère le plus recherché en fin de ligne par le praticien. Le chercheur essaie de trouver le lien entre des caractères agromorphologiques (aériens ou sous terrains) pour pouvoir évaluer l'effet de chaque caractéristique et l'utiliser dans les programmes d'amélioration génétique.

Les quatre groupes identifiés sur la base des caractéristiques du système racinaires sont montrés dans le tableau 9 pour permettre la mise en parallèle des performances connues des dix variétés et des caractéristiques des racines mesurées dans cette étude. Les données recueillies montrent que le premier groupe (celui avec la plus grande expansion des racines lors de la sécheresse) est en fait composé de 2 variétés peu productives et peu tolérantes à la sécheresse, en plus d'une variété productive et tolérante à la sécheresse. Les deux premières variétés sont tardives et ont une longue paille. Le deuxième groupe est composé de deux variétés tolérantes à la sécheresse mais dont une est productive et l'autre est peu productive. Le troisième groupe est formé de quatre variétés qui ont toutes une bonne tolérance à la sécheresse avec trois niveaux différents de productivité. Le quatrième groupe est composé de la variété Waha. Cette variété a une productivité élevée et une tolérance moyenne à la sécheresse. Elle développe toute sa masse racinaire potentielle sans prendre en compte l'état hydrique initial du sol.

Ce tableau récapitulatif montre que les variétés utilisées ont différentes stratégies et que ces stratégies se retrouvent diffusées à l'intérieur des groupes identifiés sur la base de la réponse du système racinaire.

Le premier groupe peut ainsi avoir une réaction excessive des caractéristiques racinaires à la sécheresse, les variétés fabriquent trop de racines, ce qui consomme leurs ressources et a des répercussions négatives sur les

performances finales en terme de rendement en grains. Les deuxième et troisième groupes contiennent des variétés qui combinent les caractéristiques des racines avec d'autres caractéristiques pour obtenir de meilleures performances avec plus ou moins de succès. Le quatrième groupe, composé de la variété Waha, a une stratégie qui consiste à être prête à utiliser au maximum toute l'eau disponible depuis le début et sans ressentir de stress hydrique.

Tableau 9: Résumé des performances documentées au champs des dix génotypes utilisés.

Nom	Groupage *	Potentiel de rendement	Tolérance à la sécheresse
Hedba	1	Faible	faible
Oued Zenati	1	Faible	faible
Razzak	1	T Bonne	bonne
Simeto	2	Bonne	bonne
Kyperounda	2	Faible	bonne
Senator Capelli	3	Moyen	bonne
Jenah Khetifa	3	Faible	bonne
Mrb5	3	T bonne	bonne
Massara-1	3	T bonne	bonne
Waha	4	T bonne	Moyen

\* Groupage des caractéristiques racinaires dans cette étude

## 5. Conclusion

Dans cette étude les variétés testées ont pu adopter des stratégies différentes selon le génotype considéré, et avec des degrés différents, des mécanismes d'adaptation à la sécheresse liés aux racines. Cette étude met en évidence les variations des caractéristiques racinaires mais ne les lie pas spécifiquement à un type particulier de comportement. Cette conclusion dérive du fait que les groupes de comportement racinaires identifiés contiennent chacun toutes les classes de performance au champ: potentiel de rendement et tolérance à la sécheresse au champ. Logiquement, l'évitement de la sécheresse par le maintien de niveaux élevés du potentiel hydrique de leurs tissus durant le stress hydrique provoqué à travers un système racinaire plus développé serait le plus prévisible. Les mécanismes d'évitement sont souvent considérés comme constituant la forme la plus évidente d'adaptation à la sécheresse. Néanmoins, ils se révèlent parfois insuffisants ou néfastes dans le cas de sécheresses intenses et prolongées, où il est aussi nécessaire que la plante puisse poursuivre son développement tout en supportant une déshydratation importante de ses tissus [30]. Un exemple populaire chez les améliorateurs est *le coût du type d'adaptation choisi*: si la plante dépense trop d'énergie à

produire des racines, aura t-elle assez de réserves pour continuer son cycle et produire des graines si la sécheresse est trop prolongée?. Les variétés utilisées dans cette étude montrent que les stratégies d'adaptation sont différentes et surtout agissent ou doivent agir de concert avec d'autres caractéristiques de la plante. Ces autres caractéristiques sont celles des parties aériennes et caractéristiques physiologiques et phénologiques. La conclusion finale est que les caractéristiques racinaires ne constituent qu'un des types d'adaptation que la plante doit aligner aux autres (adaptation physiologiques, morphologiques et phénologiques reliées aux autres parties de la plante) pour faire face à la sécheresse.

## Références

- [1] D.J.M. Annerose ,J. Oléag.. 46 (1991) 61.
- [2] J. Levitt , C.Y.Sullivan, E.Krull, J. Bull Res Coun. 80 (1960)173.
- [3] T.C. Hsiao,J. Annu Rev Plant Physiol 24 (1973) 519.
- [4] J. Levitt , Responses of plants to environmental stresses. Vol II, Water, radiation, salt and other stresses, Academic Press, Inc, 1980, 606 p.
- [5] N.C. Turner, in: H. Mussel, R.C. Staples (Eds), Stress physiology of crop plants, Wiley Interscience, New-York, 1997, 343-72.
- [6] E. Batcho,O.S. Daouda., D.M.J. Annerose, J.L.Khalifaoui ,A. Fofana, D. Laffray, P. Louguet, J. Bulletin APAMA, 6 (1990)51-63.
- [7] D.J.M. Annerose, Recherches sur les mécanismes physiologiques d'adaptation à la sécheresse. Thèse Université de Paris VII, 1990, 282p.
- [8] R.E. Sharp, W.J. Davies, J. Planta. 147 (1985) 43.
- [9] G.J. Musick, M.L. Fairchild, V.L. Ferguson, M.S.Zuber, J. Crop Science 5 (1965) 601.
- [10] J.J. Heitholt , J. Agronomy Journal 81 (1989) 464.
- [11] S.C. Brown, P.J Gregory, A.Wahbi, In: J.P. Srivastava, E. Porceddu, E. Acevedo, S. Varma (Eds), Drought tolerance in winter cereals. Proceedings of the international workshop, Capri, Italy , 1985, 27-31.
- [12] T. Ali Dib, P. Monneveux, J.L Arous, J. Agronomie 12 (1992) 381-393.
- [13] M. Benlaribi, P. Monneveux, P. Grignac, J. Agronomie 10 (1990) 305-322.
- [14] J.Lyunch, J.J. Van Beem , J. Agronomy Journal 33 (1993)1253-1257.
- [15] J.M. Clarke, R.M. Depauw, T.E. Townley Smith, J. Crop Science 32 (1992)723-728.
- [16] J.E. Box, J. Agronomy Journal 26 (1986) 355-361.
- [17] M.M. Jones, N.C. Turner, C.B. Osmond, in: L.G. Paleg, D. Aspinall (Eds), Physiology and biochemistry of drought resistance in plants, 1981, 15-37.
- [18] P.J. Kramer, J. Academic Press, New York, USA (1983)120-186.
- [19] A. Khaldoun, J. Chery, P. Monneveux, J. Agronomie 10 (1990) 369-379.
- [20] A. Al hakimi, P. Monneveux, in : Genetic Resources Section Meeting of Eucarpia, 1993.
- [21] A. Daaloul, H. Bchini, R. Sayar, J. PGGGR Newsletter, 129, 25-31.
- [22] M. Karrou, communication personnelle, 1992.
- [23] J.L.B. Khalifaoui, J. Bull Soc Bot Fr. 137 (1990) 125-37.
- [24] G.V. Subbarao, C. Johansen, A.E. Slinkard, R.C.Nageswara Rao, N.P. Saxena, Y.S. Chauhan, J. Crit Rev Plant Sci.14 (1995) 469-523.
- [25] D. Ketring, J. Crop Sci. 24 (1984) 229-32.
- [26] G.C. Wright, K. Hubick, G.D. Farquhar, J. Aust J Agric Res. 42 (1991) 453-70.
- [27] R.A. Richards, 1983J. Australian Journal of Agricultural Research. 34 (1983) 23-31.
- [28] J.B. Passioura, J. Aust Agric Sci. 43 (1977) 117-20.
- [29] R.A. Fischer, R. Maurer , J. Australian Journal of Agricultural.Research. 29 (1978) 897-912.
- [30] J.L.B. Khalifaoui, Approche de l'amélioration génétique de l'adaptation à la sécheresse des espèces cultivées en zones semi-arides. Thèse, Université d'Orsay , 1988, 297p.