

# Identification des critères agro-physiologiques d'adaptation du blé dur aux basses températures et à la sécheresse

M. Dekkaki\*, M. Amssa\*\* et L. Qariani\*\*

\*Institut National de la Recherche Agronomique, B.P 578, Meknès, Maroc

\*\*Faculté des Sciences, Université Moulay Ismaïl, Meknès, Maroc

---

**RESUME** – La caractérisation de l'adaptation des blés durs aux conditions de montagne passe par l'identification des caractères agro-physiologiques responsables de l'adaptation aux principales contraintes climatiques qui sévissent dans cet environnement. Leur utilisation dans un programme d'amélioration nécessite l'identification de critères simples et facilement mesurables sur un grand nombre d'individus. Dans cette optique nous avons conduit les essais suivants : (i) un essai au champ à la station expérimentale d'Annoceur en montagne pendant trois campagnes sur 16 variétés ; (ii) un essai en milieu contrôlé avec exposition à des températures froides entre 2 et 4°C des 16 variétés ; et (iii) un essai en milieu contrôlé pour l'étude de l'effet d'un stress hydrique de -2 Mpa sur 2 variétés. Différents paramètres caractérisant l'activité photosynthétique ont été mesurés. Les résultats obtenus ont permis d'établir des corrélations entre des caractéristiques de vigueur précoce, des réponses physiologiques aux stress, et le rendement en conditions de champ. Des comportements types ont été caractérisés et des critères adaptatifs ont été identifiés. Les possibilités de leur utilisation dans les programmes d'amélioration de l'adaptation du blé dur aux conditions de montagne sont discutées.

**Mots-clés** : Blé dur, adaptation, montagne, froid, sécheresse.

**SUMMARY** – “Identification of agro-physiological criteria of durum wheat adaptation to low temperatures and drought”. The characterization of the durum wheat adaptation to mountain conditions passes through the identification of the agro-physiological characters, responsible for the adaptation to the main climatic constraints that rage in this environment. Their utilization in a program of improvement requires the identification of simple and easily measurable criteria. In this study experiments were realized: (i) experiment in the experimental station of Annoceur in mountain during three years, on 16 varieties of durum wheat; (ii) experiment in controlled chamber under cold temperatures between 2 and 4°C on the 16 varieties; and (iii) experiment in controlled environment for surveying the effect of drought of -2 Mpa on 2 varieties. Different parameters characterizing photosynthetic activity have been measured. The results show interrelationships between features of precocious vigor, of the physiological responses to stress, and the yield in field conditions. Behavior types have been characterized and some adaptive criteria have been identified. Possibilities of their utilization in improvement programs of durum wheat to the mountain conditions are discussed.

**Key words:** Wheat, adaptation, mountain, cold, drought.

---

## Introduction

La montagne au Maroc est le secteur le moins valorisé en raison des contraintes posées par la topographie, les conditions climatiques sévères et le peu de recherche qui lui a été consacré. La céréaliculture dans ces zones reste soumise à différents stress abiotiques (sécheresse, froid, grêle, etc.) fréquents pouvant anéantir toute la récolte (Dekkaki *et al.*, 1996). La gamme variétale recommandée pour ces régions de montagne reste limitée. Quelques variétés seulement ont montré des potentialités dans ces zones.

Le présent travail vise à travers l'étude de caractères agro-physiologiques d'adaptation du blé dur au froid et à la sécheresse, à contribuer à comprendre les relations entre les effets de ces stress sur certaines fonctions physiologiques et l'élaboration du rendement en condition de montagne.

## Matériels et méthodes

Seize variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) représentant une gamme à cycle végétatif long et à cycle végétatif court, avec des types de printemps et d'hiver ont été choisies. Les essais au champ se

sont déroulés durant trois campagnes agricoles au Domaine Expérimental d'Annoceur, situé sur la cause moyen atlassique à 18 km de Sefrou, à une altitude de 1345 m. Les paramètres mesurés concernent le rendement en grain et ses composantes, l'indice de récolte et les caractéristiques phénologiques.

En complément à l'étude au champ deux essais ont été installés en conditions contrôlées. Le premier essai, sur plantes entières (regroupant les seize variétés), a pour objectif l'étude de l'effet des températures froides (2 à 4°C) sur la cinétique de la fluorescence chlorophyllienne. Le deuxième essai (sur deux variétés Oumrabi et Karim) a pour objectif l'étude de l'effet d'un stress hydrique de -2 Mpa, induit artificiellement sur des segments foliaires, sur les paramètres de la fluorescence chlorophyllienne.

## Résultats et discussion

### Caractérisation agro-phénologique au champ de l'adaptation du blé dur aux conditions de montagne (Table 1)

#### *Climat*

Les trois campagnes agricoles se sont caractérisées par une pluviométrie annuelle de 355 mm, 353 mm et de 261 mm. La première campagne a enregistré 50 jours de températures négatives avec un minimum de -5°C enregistré au mois de mars. La seconde campagne a totalisé 30 jours avec un minimum de -4°C au mois de février. Pour la dernière campagne le total a été de 46 jours avec une température extrême de -7°C enregistrée en janvier.

#### *Le rendement grain*

Les niveaux des rendements ont varié la première campagne de 12 q/ha (2777) à 19,8 q/ha (Ambral). La seconde campagne, les rendements sont moins importants à cause des coups de "chergui" (vents chauds) survenus au moment de l'épiaison, et de la sécheresse, qui a sévi durant le mois d'avril, et qui a coïncidé avec la période de remplissage du grain. Ainsi ils variaient de 4,1 q/ha (2909) à 13,0 q/ha (Ambral). L'impact de la période sèche (avril, mai et juin) s'est répercuté sur la quantité et sur la qualité des grains produits ce qui a affecté énormément le rendement final. La troisième campagne a enregistré des rendements qui oscillaient entre 5,3 q/ha (Cosmodur) et 13,0 q/ha (Ambral).

Le nombre de jours au tallage le plus faible a été observé la première campagne et a été atteint après seulement 65 jours (323°jour) ; avec 36 jours de températures négatives. La seconde campagne, qui a montré la plus longue période de levée-tallage de 79 jours (568°jour), a enregistré 19 jours de températures négatives. La dernière campagne, qui a montré une durée moyenne de 76 jours (519°jour), a enregistré durant la phase levée-tallage 31 jours de températures négatives. Il semble donc que les températures négatives limitent la croissance de la partie aérienne et favorisent le développement des talles.

L'analyse des relations entre caractéristiques phénologiques et le rendement et ses composantes, montre de fortes liaisons. En effet, le nombre de jours au tallage et le rendement grain ont montré une relation négative et très hautement significative ( $r = -0,62$ ). Le même résultat a été rapporté par Benzerzour et Monneveux (1993) et Tahir et Pashayani (1988). Ceci peut être expliqué par le niveau de tolérance au froid qui devient maximum au tallage (Gate, 1995). Le rendement grain est étroitement lié au nombre de jours à l'épiaison ( $r = 0,86$ ). L'étude des corrélations montre une relation positive et hautement significative entre le nombre de jours à la maturité et le rendement grain ( $r = 0,65$ ). Les génotypes possédant un nombre de jours au tallage élevé mûrissent plus vite que les autres ( $r = -0,50$ ). Ceci rejoint les résultats que nous avons obtenus sur d'autres génotypes dans le même site (Dekkaki *et al.*, 1996).

Une analyse statistique complémentaire de régression par la méthode de sélection "Stepwise" a été effectuée et montre que le rendement suit une courbe de régression dont l'équation explique 72% de la variabilité :

$$\text{Rendement blé dur} = -27,1 + 0,15 H + 0,23 HI + 0,14 JM$$

où H = hauteur ; HI = indice de récolte ; JM = jours à la maturité

Table 1. Caractères phénologiques, morphologiques et le rendement avec ses principales composantes de 16 variétés de blé dur conduites au champ à la station expérimentale d'Annoceur durant 3 campagnes<sup>†</sup>

| Variété  | JT | JE  | JM  | PM <sup>2</sup> | TM <sup>2</sup> | H     | EM <sup>2</sup> | NGPE | PMG  | RG   | RP   | RB   | HI   |
|----------|----|-----|-----|-----------------|-----------------|-------|-----------------|------|------|------|------|------|------|
| Damoison | 67 | 120 | 164 | 238,6           | 361,8           | 96,9  | 251,3           | 64,9 | 35,6 | 13,9 | 34,5 | 48,5 | 27,9 |
| Ambral   | 66 | 125 | 170 | 286,8           | 358,0           | 103,9 | 281,3           | 76,4 | 37,7 | 18,1 | 29,0 | 46,7 | 38,6 |
| Aramon   | 66 | 120 | 165 | 219,5           | 276,0           | 92,3  | 213,1           | 52,4 | 38,8 | 15,0 | 33,8 | 47,2 | 26,4 |
| Brindur  | 66 | 125 | 170 | 265,4           | 402,3           | 97,2  | 271,6           | 59,4 | 34,4 | 12,7 | 30,3 | 43,3 | 27,0 |
| Agridur  | 66 | 122 | 164 | 231,9           | 371,2           | 98,3  | 239,0           | 57,0 | 39,4 | 14,2 | 28,6 | 41,7 | 29,5 |
| Cosmodur | 66 | 120 | 164 | 253,8           | 337,5           | 103,4 | 222,6           | 56,7 | 38,0 | 13,2 | 35,8 | 47,9 | 24,2 |
| Durelle  | 66 | 121 | 164 | 255,0           | 402,2           | 99,2  | 233,4           | 62,1 | 38,7 | 14,3 | 36,0 | 48,7 | 23,6 |
| Sebou    | 66 | 125 | 169 | 208,9           | 290,0           | 101,3 | 206,7           | 62,8 | 35,6 | 16,0 | 39,3 | 54,2 | 24,5 |
| Oumrabi  | 68 | 123 | 167 | 222,4           | 363,0           | 106,9 | 241,4           | 73,9 | 40,3 | 16,5 | 36,2 | 52,5 | 31,9 |
| Tassaout | 66 | 119 | 164 | 226,6           | 315,3           | 105,4 | 231,3           | 67,6 | 39,9 | 13,6 | 34,7 | 47,7 | 24,0 |
| 2777     | 66 | 119 | 164 | 256,0           | 363,5           | 113,6 | 264,2           | 74,1 | 35,2 | 13,4 | 45,8 | 60,6 | 23,6 |
| Karim    | 66 | 120 | 164 | 231,1           | 302,7           | 95,2  | 244,2           | 57,8 | 36,2 | 12,3 | 35,7 | 47,2 | 22,4 |
| ACSAD 65 | 66 | 120 | 164 | 181,4           | 297,8           | 102,1 | 188,3           | 54,2 | 35,1 | 13,2 | 40,8 | 52,9 | 20,4 |
| 2909     | 66 | 125 | 168 | 257,4           | 335,5           | 109,4 | 273,6           | 57,4 | 38,8 | 15,5 | 48,0 | 62,5 | 20,3 |
| Sarif    | 66 | 122 | 166 | 253,4           | 286,3           | 94,2  | 266,3           | 53,8 | 37,3 | 15,1 | 37,7 | 50,8 | 25,1 |
| Isly     | 68 | 122 | 166 | 253,0           | 272,7           | 88,9  | 245,1           | 42,9 | 38,7 | 13,2 | 40,2 | 51,4 | 20,3 |

<sup>†</sup>JT : jours au tallage ; JE : jours à l'épiaison ; JM : jours à la maturité ; PM<sup>2</sup> : pied par m<sup>2</sup> ; TM<sup>2</sup> : talles par m<sup>2</sup> ; H : la hauteur (cm) ; EM<sup>2</sup> : épis par m<sup>2</sup> ; NGE : nombre grains par épi ; PMG : poids de mille grains (g) ; RG : rendement grain (q/ha) ; RP : rendement paille ; RB : rendement biologique ; HI : indice de récolte.

Ces résultats suggèrent qu'une croissance plus ou moins tardive (qui se traduit par une hauteur et un nombre de jours à la maturité élevés) améliore le rendement du blé dur à Annoceur. Une vigueur précoce semble être nécessaire pour l'adaptation du blé au climat de montagne en permettant aux plantes d'atteindre rapidement le stade de forte tolérance aux températures froides (stade tallage). Ces traits semblent conférer également un certain degré de tolérance à la sécheresse de fin de cycle.

## Caractérisation physiologique en milieu contrôlé de l'adaptation du blé dur aux basses températures et au stress hydrique : La fluorescence chlorophyllienne

### *Effet des basses températures sur les paramètres de la fluorescence chlorophyllienne continue (Table 2)*

Un des sites les plus affectés par le froid et la sécheresse est le photosystème II et par conséquent tout le processus primaire de transfert d'électrons et de conversion photochimique. Nous avons donc choisi pour ce deuxième volet de notre recherche, l'étude de l'impact des températures froides et du stress hydrique sur le fonctionnement de la photosynthèse via l'analyse de l'induction de la fluorescence chlorophyllienne. Nous avons aussi défini comme objectif complémentaire l'identification des paramètres caractérisant l'évolution des courbes d'induction de cette fluorescence susceptibles d'être utilisés comme critères de sélection.

Les différentes valeurs des courbes de la fluorescence de la chlorophylle ont été relevées sur l'ensemble des variétés à 50 jours et à 60 jours au cours de la conduite sous les températures froides.

Le paramètre Fo qui définit la faculté de captage d'électrons (Fo) augmente continuellement chez toutes les variétés. La variété Aramon montre les variations les moins importantes avec respectivement une augmentation de 13,8%. Les variétés Tassaout, 2909 et Isly sont les plus sensibles pour cette phase.

La transition Fo-Fm exprimant la fluorescence variable Fv, a montré des variations plus importantes chez les variétés Damoisson pour le blé dur (-17%). De telles réductions sont souvent chez le maïs

(Havaux et Lannoye, 1985). D'autres paramètres caractérisant la sensibilité de cette phase aux températures froides sont proposés. Le rapport  $(Fm-Fo)/Fo$  ou  $Fv/Fo$  est considéré comme un bon indicateur de l'activité du PSII et de l'efficacité photochimique (Govindjee *et al.*, 1981). Durelle n'a pas enregistré de diminutions significatives pour ce paramètre.

Le rapport  $Fv/(Fo+Fv)$  ou  $Fv/Fm$  représentant le rendement de la fluorescence variable est généralement utilisé pour apprécier l'efficacité photochimique du PSII et son aptitude à réduire l'accepteur primaire QA (Govindjee *et al.*, 1981). Contrairement à ce que nous avons observé pour les autres paramètres qui produisent des perturbations du phénomène ; le rapport  $Fv/Fm$  n'est pas significativement affecté par la conduite sous les températures froides et ne permet pas de distinguer les variétés entre elles.

Table 2. Taux de variation des paramètres de la fluorescence chlorophyllienne sous l'effet des basses températures de 16 variétés de blé dur

| Variété   | Fo<br>(% accr.) | Fm<br>(% accr.) | Fv<br>(% dim.) | Tm<br>(% accr.) | Fv/Fo<br>(% dim.) | Fv/Fm<br>(% dim.) |
|-----------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| Damoison  | 34,05           | -6,45           | -17,42         | 4,74            | -38,39            | -11,72            |
| Ambral    | 28,37           | 18,82           | 15,64          | 88,18           | -9,91             | -2,67             |
| Aramon    | 17,62           | 5,24            | 2,37           | -3,59           | -12,97            | -2,73             |
| Brindur   | 27,28           | 10,54           | 6,39           | 41,74           | -16,42            | -3,76             |
| Agridur   | 19,40           | 10,34           | 8,20           | 66,11           | -9,38             | -1,94             |
| Cosmodur  | 13,95           | 22,85           | 25,43          | 38,76           | 10,08             | 2,10              |
| Durelle   | 14,51           | 15,89           | 13,06          | 151,04          | -1,26             | -2,44             |
| Sebou     | 19,91           | 1,93            | -2,51          | 174,59          | -18,70            | -4,36             |
| Oumrabria | 42,76           | 18,62           | 13,35          | 25,69           | -20,60            | 4,44              |
| Tassaout  | 60,76           | -1,32           | -14,61         | 191,57          | 46,88             | -13,46            |
| 2777      | 24,71           | 24,08           | 8,81           | 137,87          | -12,75            | -12,30            |
| Karim     | 20,30           | 7,15            | 4,21           | 120,37          | -13,38            | -2,75             |
| ACSAD 65  | 28,24           | -14,21          | -12,73         | 140,54          | -31,95            | 1,73              |
| 2909      | 49,12           | 5,40            | -2,80          | -8,49           | -34,82            | -7,78             |
| Sarif     | 37,10           | 9,37            | 3,67           | 47,47           | -24,38            | -5,21             |
| Isly      | 44,21           | 4,30            | -3,08          | 79,43           | -32,79            | -7,07             |

Au cours de la conduite sous les températures froides, le temps moyen ( $t_m$  ou  $t_{1/2}$ ) caractérisant la cinétique d'émission de la fluorescence chlorophyllienne et la vitesse de transition de  $Fo$  à  $Fm$  augmente remarquablement chez toutes les variétés avec une moindre importance chez Aramon et 2909. Une augmentation de ce paramètre traduit une moins bonne transition des électrons via le photosystème II (Dekkaki *et al.*, 1996a,b)

#### *Effet du stress hydrique sur les paramètres de la fluorescence chlorophyllienne modulée* (Table 3)

La variété Karim a montré que les processus primaires de transfert des électrons semblent être très affectés par le stress hydrique. La variété Oumrabria ne montre pas de variations significatives pour les paramètres de fluorescence initiale ( $Fo$ ) et maximale ( $Fm$ ). Le rapport  $Fv/Fm$  n'est pas significativement affecté et ne permet pas de distinguer entre les différentes variétés. L'efficacité photochimique du PSII ( $\phi$ PSII) subit une réelle diminution en réponse au stress hydrique chez la variété Karim.

La composante  $Q_p$  est réduite sous l'effet du déficit hydrique alors que  $Q_n$  reste relativement inchangé. Les niveaux les plus bas sont observés chez la variété Karim avec une diminution de l'ordre de 61,7. L'impact de la contrainte hydrique sur  $Q_p$  semble être lié au degré de résistance à la sécheresse chez les variétés de blé étudiées.

Table 3. Effet d'un stress hydrique de -2MPa sur les paramètres de la fluorescence chlorophyllienne<sup>†</sup>

| Variétés  |   | Fo   | Fm    | Fv/Fm | F'v/F'm | Qp   | Qn   | β    | φPSII |
|-----------|---|------|-------|-------|---------|------|------|------|-------|
| Oumrabria | T | 6,67 | 23,33 | 0,72  | 0,35    | 0,38 | 0,62 | 0,72 | 0,17  |
|           | S | 5,33 | 29,00 | 0,80  | 0,44    | 0,32 | 0,85 | 0,76 | 0,16  |
| Karim     | T | 6,00 | 32,83 | 0,81  | 0,42    | 0,59 | 0,84 | 0,63 | 0,23  |
|           | S | 3,33 | 17,00 | 0,77  | 0,41    | 0,21 | 0,81 | 0,83 | 0,11  |

<sup>†</sup>T : témoin ; S : stressé ; Fo : Fluorescence minimale ; Fm : fluorescence maximale ; Fv/Fm : rendement photochimique ; F'v/F'm : efficacité des centres réactionnels ouverts du PSII ; Qp : Quenching photochimique ; Qn : Quenching non photochimique ; β : fraction d'énergie lumineuse distribuée au PSII = 1/(1 + Qp) ; φ : efficacité photochimique du PSII.

## Conclusions et perspectives

D'après les résultats des trois années d'essais au champs, il apparaît qu'une longue période de croissance et une épiaison précoce améliorent le rendement du blé dur à Annoceur. Ceci suggère qu'une vigueur précoce est déterminante pour le rendement afin d'échapper aux températures froides qui sévissent pendant le tallage et peuvent survenir à l'anthesis. Cette vigueur semble être favorable pour le remplissage des grains lorsque le blé est soumis à des sécheresses de fin de cycle.

La fluorescence chlorophyllienne constitue un outil potentiellement intéressant pour l'évaluation de la tolérance du blé dur aux basses températures et au stress hydrique. Le choix des critères d'évaluation dépend du site d'action du stress en question au sein de l'appareil photosynthétique.

En perspective et comme suite à ces recherches, nous menons actuellement des essais dont le but est d'étudier d'un côté les interactions entre certaines fonctions physiologiques importantes en matière de tolérance au froid et au stress hydrique, comme l'ajustement osmotique et la photosynthèse en conditions contrôlés et au champ. D'un autre côté, nous étudions en conditions contrôlées, l'interaction entre stress hydrique et basse température sur ces fonctions physiologiques ; ces résultats seront validés par leur comparaison avec ceux obtenus à Annoceur où ces contraintes sévissent simultanément. La validation de nos résultats reposera également sur l'étude de ces mécanismes et critères sur des lignées isogéniques différentes par des caractères simples et qui sont actuellement développées à l'INRA-Meknès. La validation reposera enfin sur l'utilisation des critères élaborés pour l'évaluation des F<sub>2</sub> choisis parmi les croisements réalisés à l'INRA-Meknès en vue de procéder à une sélection divergente.

## Références

- Benzerzour, H. et Monneveux, P. (1993). Analyse des facteurs de stabilité du rendement de l'orge dans les conditions des hauts plateaux de l'Algérie, Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne, Diversité génétique et amélioration variétale, Montpellier (France), 15-17 décembre 1992. *Les Colloques de l'INRA*, 64.
- Dekkaki, M., Amssa, M. et Jlibene, M. (1996a). Adaptation des blés aux conditions de l'Atlas marocain. *Dans : IIIème Réunion du Réseau GRAM Sécheresse* (Groupement de Recherche Agronomique Méditerranéen sur la Sécheresse), 19-21 novembre 1996, Meknès, Maroc.
- Dekkaki, M., Sabour, I., El Jaafari, S. et Amssa, M. (1996). Effets des basses températures et du stress hydrique sur la cinétique de l'induction de la fluorescence chlorophyllienne chez le blé. *Dans : IIIème Réunion du Réseau SEWANA (South Europe, West Asia, North Africa) sur l'Amélioration Intégrée du Blé Dur*, 6-7 décembre 1996, Rabat, Maroc.
- Gate, P. (1995). *Ecophysiologie du Blé, de la Plante à la Culture*. Editions TEC & DOC, Lavoisier, Cachan.
- Govindjee, Downton, W.J.S., Fork, D.C. et Armand, P.A. (1981). Chlorophyll fluorescence transient as an indicator of water potential of leaves. *Plant Sci. Lett.*, 20 : 191-194.
- Havaux, M. et Lannoye, R. (1985). Effet des basses températures positives sur les réactions photochimiques primaires de la photosynthèse du maïs (*Zea mays* L. Cv "LG9"). *Agronomie*, 5(4) : 331-337.
- Tahir, M. et Pashayani, H. (1988). Characteristics of cultivated landraces and improved varieties of wheat (*T. aestivum*) in high altitude areas. *Dans : Seventh Wheat International Genetic Symposium*, Vol. 2, Miller, T.E. et Koebner, R.M.D. (éds), Cambridge, 13-19 juin 1988. Institute of Plant Science Research, Cambridge, pp. 895-900.