

Détermination des exigences climatiques du blé dur (*Triticum durum* Desf. var. Mohamed Ben Bachir) en zone semi-aride

Abdelhamid Zouaoui
Rabah Bensaid

Faculté des sciences,
Département d'agronomie,
Université de Batna,
BP 372, EL Houria 40004,
Khenchela,
Algérie
<zolakh@hotmail.com>

Résumé

Dès son indépendance, l'Algérie a adopté une conduite restrictive vis-à-vis des espèces végétales locales donnant la primauté aux espèces à haut potentiel génétique, avec pour conséquences directes une emblavure extensive allant à l'encontre d'un développement durable. Le retour aux variétés de terroir avec la maîtrise de leurs exigences culturales doit s'insérer dans une nouvelle stratégie pour un meilleur développement agro-économique. Les travaux de recherche menés sur la variété locale homogène à haut potentiel de blé dur (*Triticum durum* Desf. var. Mohamed Ben Bachir) au sud des hautes plaines constantinoises ont permis de constater que, malgré les nouvelles conditions climatiques plus contraignantes caractérisées surtout par une régression pluviale, la baisse du niveau optimal des rendements est relative sans pour cela diminuer le niveau potentiel génétique de cette variété. Les résultats portant sur le comportement de cultures durant deux années agricoles dans huit stations expérimentales, ainsi que sur cinq années agricoles dans deux plaines céréalières types de la région, ont permis de souligner les niveaux de contraintes, pluviales et thermiques locales, imposées à la culture. La corrélation entre les rendements et la disponibilité en eau et en chaleur durant les phases de croissance, met en évidence l'effet stressant dominant décroissant de ces deux facteurs, particulièrement durant l'épiaison-floraison (fin du stade développement), le stade maturité (stade saison) et la levée-tallage (stade initial). Les exigences climatiques établies pour cette culture, malgré leur spécificité régionale, peuvent être considérées à grande échelle des espaces céréaliers du pays (Hautes Plaines et Hauts Plateaux).

Mots clés : Algérie ; blé dur ; exigence climatique ; rendement ; valeur énergétique

Thèmes : productions végétales ; climat ; physiologie

Abstract

Determination of the climatic requirements of hard wheat (*Triticum durum* Desf. var. Mohamed Ben Bachir) in semiarid zone

Since its independence, Algeria has adopted a restrictive approach towards local varietal ranges, giving priority to those said to be of high genetic potential. This reduction of local populations has led to extensive occupation hindering lasting development. Reintegrating the local varieties as well as mastering their production requirements must fit into a novel strategy for better agro-economic development. Indeed, relatively optimal output can only be the result of interaction between genotype and environment. The results of our research work on the high potential homogenous hard wheat local variety, (*T. durum* Desf., var. Mohamed Ben Bachir), South of Constantinoises High Plains, show that despite the new, more restrictive climatic conditions characterized by less rainfall, the decrease of optimal output is relative without any decline in the potential genetic level of this variety. Statistical interpretation of results concerning the 'behaviour' of the culture in eight experimental stations over two years and in two cereal plains over five years show the level of thermic and pluvial constraints. Correlating output with the availability of heat and rainwater during growth stages shows the decrease of dominant stressful effects of these two factors, particularly during the 'header-flowering' maturity (at the end of the developmental stage), the maturity stage and the 'levying-tallage' stages. The climatic requirements set for this type of culture, in spite of regional specificity, can be regarded as fitting the requirements of the large-scale cereal spaces of the country (High Plains and High lands).

Key words: Algeria; breeding value; climatic requirements; hard wheat; yields

Subjects: vegetal productions; climate; physiology

Durant ces dernières décennies, le régime des pluies en Algérie a accusé une régression importante suivie de fortes chaleurs générant une évapotranspiration élevée avec un stress hydrique nuisible au rendement des cultures, rendant difficile toute amélioration de la production céréalière (Baldy, 1974 ; Sombrero, 1988 ; Benabbes, 1993).

L'amélioration de la tolérance des cultures au stress hydrique constitue un objectif prioritaire impliquant l'introduction de cultivars à adaptation spécifique locale (Bouzerzour *et al.*, 1998). Nous posons comme préalable au développement durable local ou régional, la nécessité de la maîtrise de la stabilité des facteurs de station.

Pour répondre à cette préoccupation, la zone d'étude retenue est le sud des hautes plaines constantinoises qui présente un climat fortement contrasté.

Nous partons du principe que ce terroir est naturellement favorable au développement des céréales et constitue le terrain de « prédilection ancestrale » du blé dur (*Triticum durum* Desf var. Mohamed Ben Bachir), variété choisie pour ces essais.

Cette variété locale, autrefois très appréciée et donc la plus cultivée, est apparue comme la plus appropriée pour répondre aux objectifs définis, en particulier l'amélioration de la productivité et l'équilibre de l'écosystème. Les résultats attendus peuvent aider à définir les dispositions futures à prendre en matière d'amélioration ou d'introduction de nouvelles espèces.

Matériel et méthode

Choix des stations

Notre objectif est de déterminer pour le blé dur, les conditions climatiques (pluviométrie, température) optimales spécifiques de développement dans la zone sud dans des hautes plaines constantinoises. Ce comportement doit être expliqué et validé par une étude comparative entre les rendements d'une part, et les valeurs pluviométriques et thermiques, d'autre part. Pour cela, nous avons opté pour des essais sur

une période déterminée afin de relever les données de pluies et de température durant les stades végétatifs, ainsi que les rendements correspondants. Ces résultats sont complétés par une étude comparative entre les données climatiques annuelles (pluie et température) et les rendements de la culture dans des sols de plaines céréalières principales de la région.

Tous objectifs confondus, nous comptabilisons donc 53 stations (chacune d'entre elles se définit par des caractéristiques physiographiques propres) qui se présentent comme suit :

– huit parcelles d'essais (avec les symboles), qui se répartissent ainsi :

– 2 parcelles (ASa et ASb) dans la région de à Ain Skhouna ;

– 1 parcelle (H) dans la région de Hamla ;

– 1 parcelle (T) dans la région de Timgad ;

– 2 parcelles (Ka et Kb) dans la région de Kais ;

– 2 parcelles (Ba et Bb) dans la région de Berriche ;

– deux plaines céréalières qui sont :

– Rémila avec 33 unités de sols ;

– Berriche avec 12 unités de sols.

Les unités de sol sont des unités morpho-pédologiques plus importantes et plus grandes du point topographique, exploitées par des particuliers et cela contrairement aux parcelles d'essais, petites surfaces de moins de 600 m² semées par les expérimentateurs.

Les unités de sols ou les parcelles d'essais étant des stations distinctes entre elles par des caractéristiques physiographiques propres, ce schéma d'étude fait que nous disposons de 14 stations dans la région de Berriche.

Par commodité cartographique, nous avons reporté de façon distincte, dans la carte de « situation de la zone d'étude » (*figure 1*), l'emplacement des parcelles d'essais et les plaines céréalières.

Matériel végétal

Outre les conditions physiques, biologiques et écologiques qui ont présidé au choix de la variété locale de blé dur Mohamed Ben Bachir, celle-ci doit pouvoir répondre à des préoccupations

socio-économiques multiples et diversifiées, caractérisées particulièrement par des besoins alimentaires importants en matière de céréales et de dérivés céréalières estimés à 180 kg/hb/an (Catton, 2000).

Méthodologie expérimentale

Les essais ont été conduits selon la méthode des blocs aléatoires complets (blocs de Fisher) à 4 répétitions sur des parcelles élémentaires de 6,6 m² avec 7 lignes de semis de 5,5 m espacées de 0,2 m. Les semis ont été réalisés durant la première décennie de décembre. Le poids moyen est de 13,2 g/ligne.

Mesures et observations effectuées sur la culture

Dans les parcelles d'essais, les observations et l'enregistrement des valeurs durant deux années agricoles, portent sur :

– la durée du cycle de croissance ainsi que celle des stades de développement ;

– les pluies et les températures moyennes durant la période de croissance ainsi que durant les stades de développement ;

– les rendements.

Dans les plaines céréalières de Rémila et de Berriche, les relevés sur une période de 5 années agricoles (1991-1992 – 1995-1996) portent sur :

– les pluies et les températures moyennes annuelles dans chacune des plaines ;

– les rendements dans chacune des unités de sol.

Les stades de développement de la culture que nous avons retenus répondent à la subdivision adoptée par l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). Cette subdivision adoptée dans le cadre des études d'évaluation des terres pour des cultures spécifiques (Sys *et al.*, 1993), tient compte d'une série de paramètres climatiques qu'il y a lieu de suivre afin de déterminer les exigences climatiques de cette culture. Elle se présente comme suit :

– stade initial (I) ou stade semis trois feuilles (couverture végétale > 10 %) ;

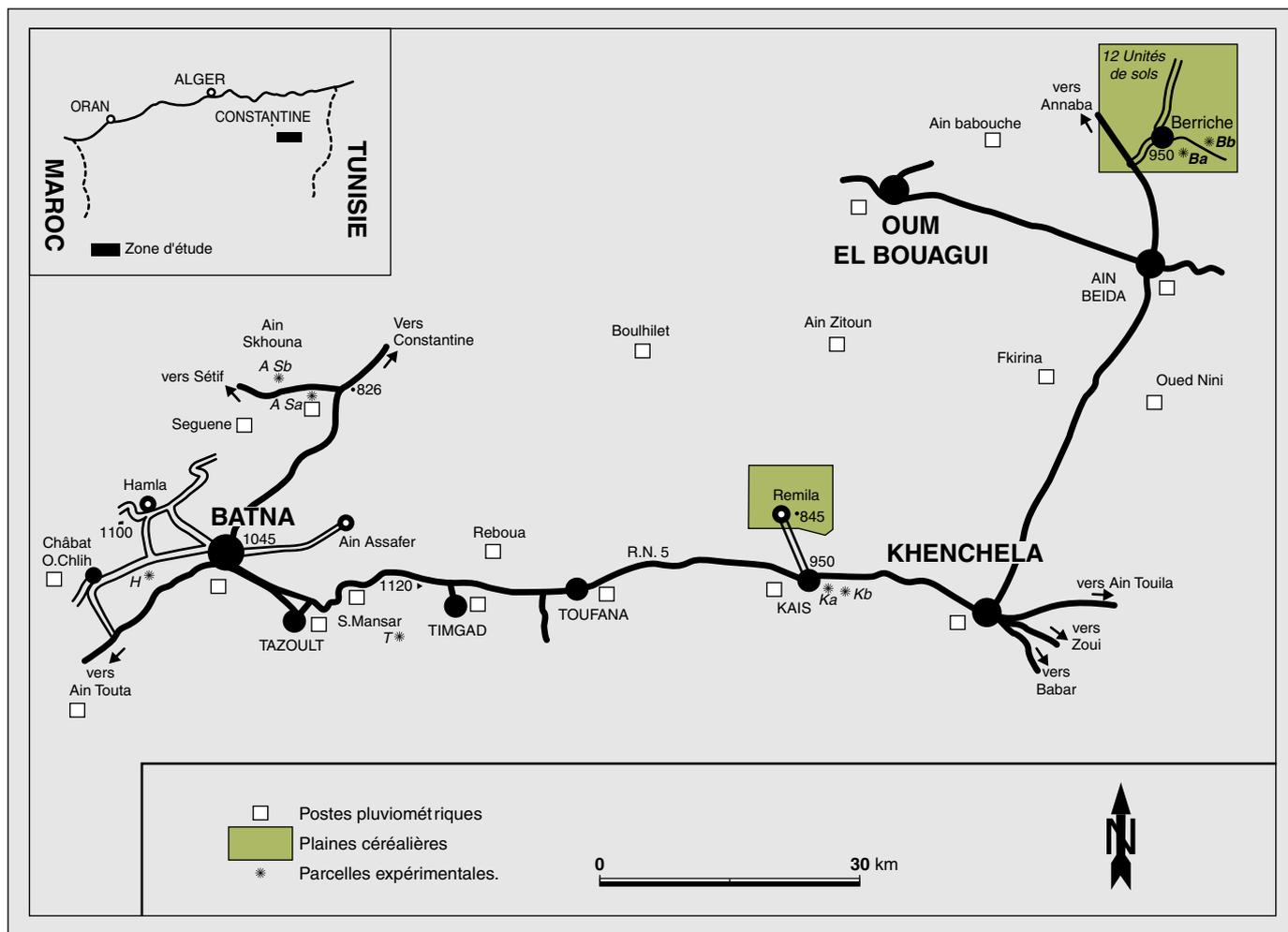


Figure 1. Situation des plaines et des parcelles d'essais dans la zone d'étude.

Figure 1. Situation of the plains and trial plots in the study zone.

- stade développement (D) ou stade tallage-montaison. Il correspond à une couverture végétale de 70 à 80 % ;
- stade mi-saison (MS) ou stade floraison-épiaison ;
- stade saison (S) ou stade maturité.

Méthodes d'interprétation

Les corrélations entre les rendements et les précipitations, au niveau des unités de sols des plaines ont été analysées selon la méthode d'analyse de variance (Anova, *analysis of variance*, avec un seul facteur randomisé : la pluviométrie moyenne annuelle).

Les données enregistrées au niveau des parcelles d'essais ont été interprétées selon la méthode d'analyse en composantes principales (ACP), réalisées en uti-

lisant le logiciel Statistica (Danielie, 1998 ; Falissard, 1998).

Comme chaque binôme de parcelles « a » et « b » de chacune des régions (Ain Skhouna, Hamla, Timgad, Berriche ou Kais) est confronté aux mêmes conditions climatiques, nous avons pris la valeur moyenne du paramètre considéré.

Résultats et discussion

L'étude du bilan hydrique de la culture durant l'année agricole dans les différentes stations fait ressortir une insuffisance en eau (évapotranspiration potentielle > pluviométrie). Le stress hydrique pro-

longé du stade tallage au stade épiaison-floraison, est caractérisé par une réserve facilement utilisable (RFU) aléatoire enregistrant des valeurs critiques préjudiciables à la fécondation des fleurs. Sachant que le nombre des fleurs dépend de l'évapotranspiration, cette situation est susceptible d'incidence plus tard sur la productivité et les rendements. Dans les parcelles d'essais de Timgad, au courant de l'année agricole 1993/94, la sensibilité au stress hydrique s'est prolongée jusqu'à provoquer une quasi-inhibition du processus de remplissage du grain, induisant plus tard, lors de nos relevés, des rendements très faibles à nuls.

Les unités de sols de la plaine de Rémila enregistrent des rendements très variables allant d'un maximum de qt/ha à un

minimum de 5,3 qt/ha pour des pluies conséquentes et respectives de 633 mm et de 287 mm. À Berriche, les rendements varient entre 22,4 qt/ha et 4,25qt/ha pour des pluies conséquentes de 725 mm et 169 mm.

La corrélation (analyse de variance à un seul facteur) des valeurs pluviales et des rendements relevés dans les unités de sols de Rémila et de Berriche (*figure 2A* et *2B*) est bonne avec une évolution proportionnelle entre ces deux variables. Elle est meilleure à Rémila (> 93 %) qu'à Berriche (< 0,76 %). Les différences de rendements intra et extra station suggèrent une interdépendance de ces facteurs avec d'autres facteurs tels que les facteurs édaphiques non pris en considération dans cette corrélation.

Afin de comprendre et de situer les différents niveaux de contrainte pluviale durant la période de croissance de la culture, nous avons établi une similitude entre les groupes homogènes A, B, C et D dégagés par l'analyse de variance et les quatre classes d'aptitudes : bonne (S1), moyenne (S2), marginale (S3), et inapte (N) considérées dans l'évaluation des terres (Food and Agriculture Organisation (FAO), 1976 ; Sys, 1980) (*tableau 1*). Il ressort que les précipitations optimales pour des rendements optimaux (> 25 qt/ha) doivent être supérieures à 450 mm. Lorsque les pluies sont inférieures à 250 mm, les conditions de développement sont perturbées et les rendements sont faibles à très faibles.

Les valeurs optimales pluviales moyennes considérées pour les stades végétatifs de la culture ont été estimées sur la base des valeurs moyennes pluviales relevées dans des parcelles d'essais. Le stress hydrique dû aux insuffisances pluviales et à leur irrégularité, que ce soit durant l'année agricole ou durant les stades de développement et la période de croissance de la

culture, tel qu'il est présenté dans la *figure 2C*, est très remarqué durant l'épiaison-floraison et la maturation. Le cas le plus frappant est celui de la parcelle de Timgad où la culture qui a eu un régime de croissance perturbé, voire même annihilé dès la phase de remplissage du grain, a entraîné de ce fait des rendements nuls.

Durant la phase de croissance, les écarts pluviaux intra- et interstades sont importants et varient au cours de la phase végétative. Les disponibilités pluviales durant la levée (correspondant au stade Initial) sont de 26,6 mm et 53,3 mm. Du tallage à la montaison (correspondant au stade développement), ces disponibilités en pluies varient entre 75 mm et 109 mm, alors que lors de l'épiaison-floraison (correspondant au stade mi-saison), elles varient entre 15,5 mm et 47 mm. Lors de la phase de maturation, cet écart devient plus important et les pluies relevées vont de 10 mm à 67,6 mm (*figure 3*). Ces disponibilités sont nettement inférieures aux besoins, qui, suite à un suivi expérimental, ont été estimés respectivement pour les stades sus-étudiés à 70 mm, 110 mm, et 150 mm (Oudina *et al.*, 1988).

Parallèlement à la place importante attribuable aux pluies dans le développement des cultures, les températures en zone semi-aride peuvent constituer elles aussi une contrainte climatique sérieuse pour la production céréalière. Les températures moyennes enregistrées (*figure 4*) sont variables selon les parcelles et les années, avec des écarts liés par les durées des stades. De plus, ces valeurs sont légèrement différentes entre les stations.

Il ressort ce qui suit de l'analyse statistique :
 – avec de faibles rendements moyens (< 7 qt/ha), les parcelles de Timgad et de Berriche sont corrélées entre elles et significativement différentes de celles de

Kais dont les rendements moyens sont de 10,7 qt/ha ;

– les données de températures et de précipitations justifient cette corrélation :

1. Les valeurs des températures durant le stade développement sont comprises entre 6,3 °C (Kais) et 10,2 °C (Kais et Berriche) et des cumuls compris entre 445 °C et 1 124 °C. Durant l'épiaison-floraison, elles sont aléatoires avec des pics très hauts de 22,2 °C (Berriche et Hamla) et des niveaux très bas de 7,8 °C (Kais). En conséquence, les cumuls sont compris entre 376 °C et 777 °C. En phase de croissance, la température varie de 11 °C à 15,5 °C et les valeurs cumulées de 1 816 °C et 2 396 °C ;

2. Les pluies moyennes au cours de la période de tallage-montaison, sont de 21 mm et 40 mm, respectivement pour les parcelles de Berriche. Elles sont de 136 mm durant la période de croissance ;

3. Au niveau des stations d'essais Hamla, Ain Skhouna, Timgad, les rendements sont très faibles et très aléatoires. Ils sont faibles à moyens à Berriche (7 qt/ha à 10 qt/ha) Les très faibles rendements enregistrés durant la première année dans la parcelle d'essais « A » de Ain Skhouna s'expliquent par les fortes chaleurs (25 °C) durant l'épiaison. À Hamla, le faible cumul thermique (140 °C) durant la levée-tallage est à l'origine des très faibles rendements enregistrés (3 qt/ha).

Il apparaît donc que les températures et les pluies avec des valeurs faibles et surtout aléatoires sont de sérieuses contraintes. Elles constituent des facteurs limitants du comportement des cultures et de leur production ainsi que de la durabilité des rendements ;

- les écarts enregistrés en raison d'un climat capricieux sont importants avec des fluctuations préjudiciables pour un développement régulier et une croissance linéaire moins perturbée de la cul-

Tableau 1. Synthèse des résultats statistiques par l'analyse de variance.

Table 1. Synthesis of statistical results by the analysis of variance.

Année agricole		1991-1992	1992-1993	1993-1994	1994-1995	1995-1996	Test F	CV	(-)
Berriche	Pluies moyennes	353	569	169	263	725	196,3	18,9	***
	Rendements moyens	12	6,25	4	5,17	22,4			
	Groupes homogènes	B	C	D	C.D	A			
Rémila	Pluies moyennes	497	322	287	476	633	394,04	18,3	***
	Rendements moyens	13,8	7,7	5,3	8,36	24,03			
	Groupes homogènes	B	C	D	C	A			

(-) signification : *** = très hautement significatif (seuil de 0,001) ; CV : coefficient de variance.

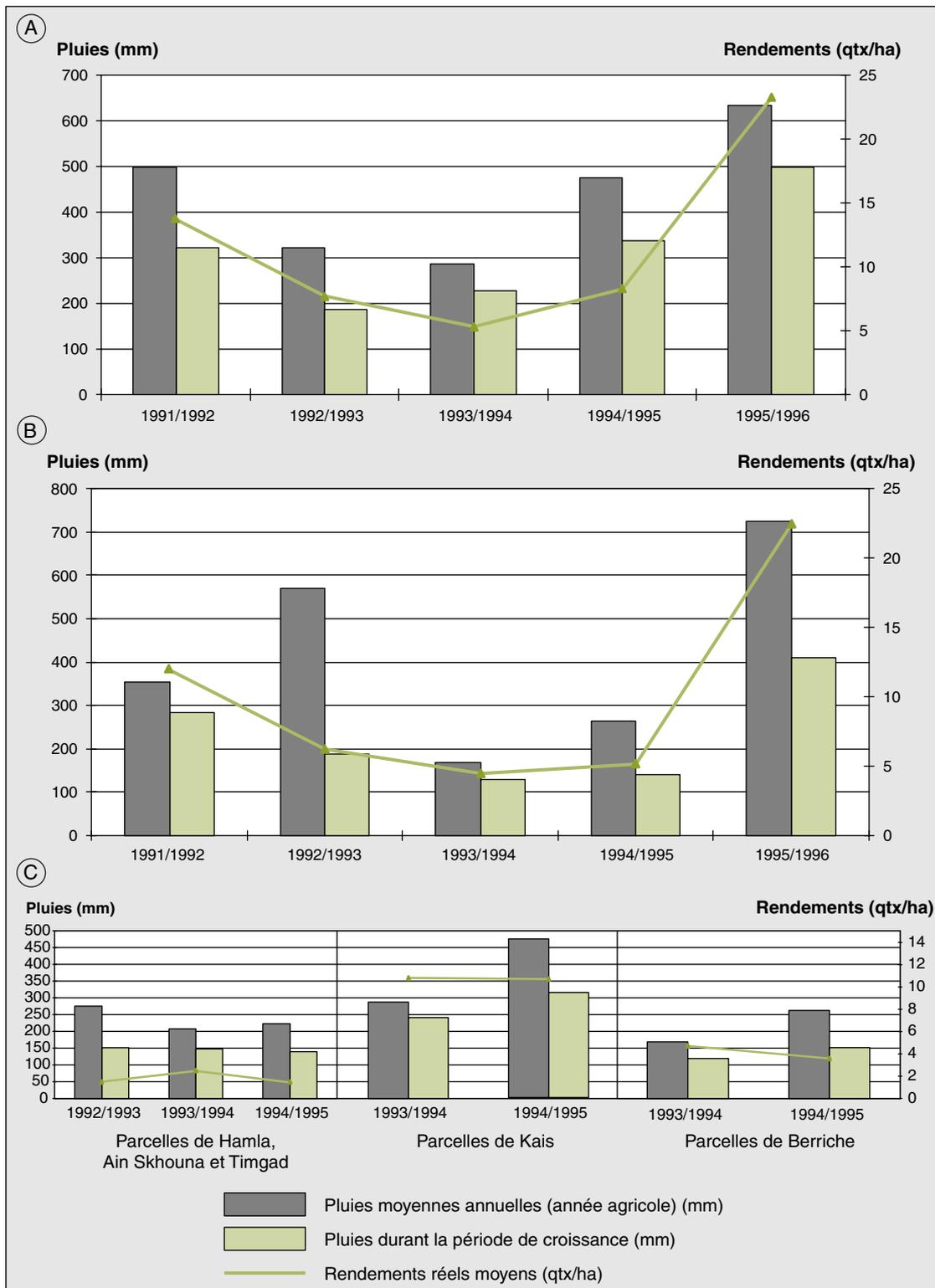


Figure 2. Pluies (annuelles, de croissance) dans les plaines de Remila, de Berriche (1992-1996) et dans les parcelles d'essais.

Figure 2. Rainfall (annual, growth) on the plains of Remila, Berriche (1992-1996), in the trial plots.

A) Remila ; B) Berriche ; C) parcelles d'essais. A) Remila ; B) Berriche ; C) trial plots.

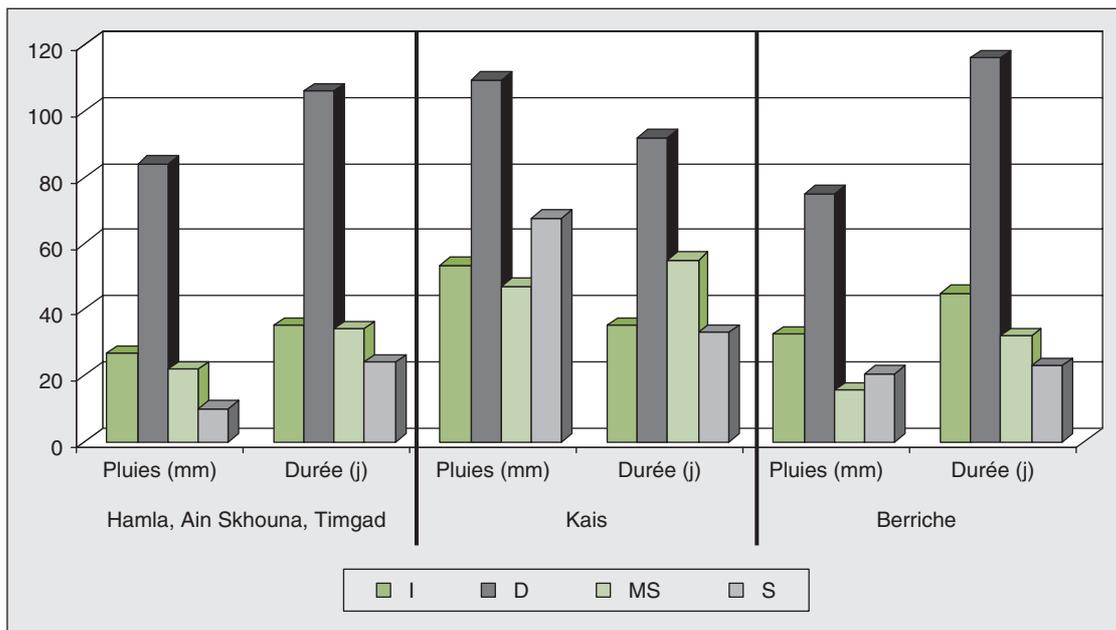


Figure 3. Disponibilités en eau des stades végétatifs du blé dur dans les parcelles.

Figure 3. Water availability at vegetative stages of hard wheat in the plots.

I : stade initial ; D : stade développement ; MS : stade mi-saison ; S : stade saison ; Cr : phase de croissance

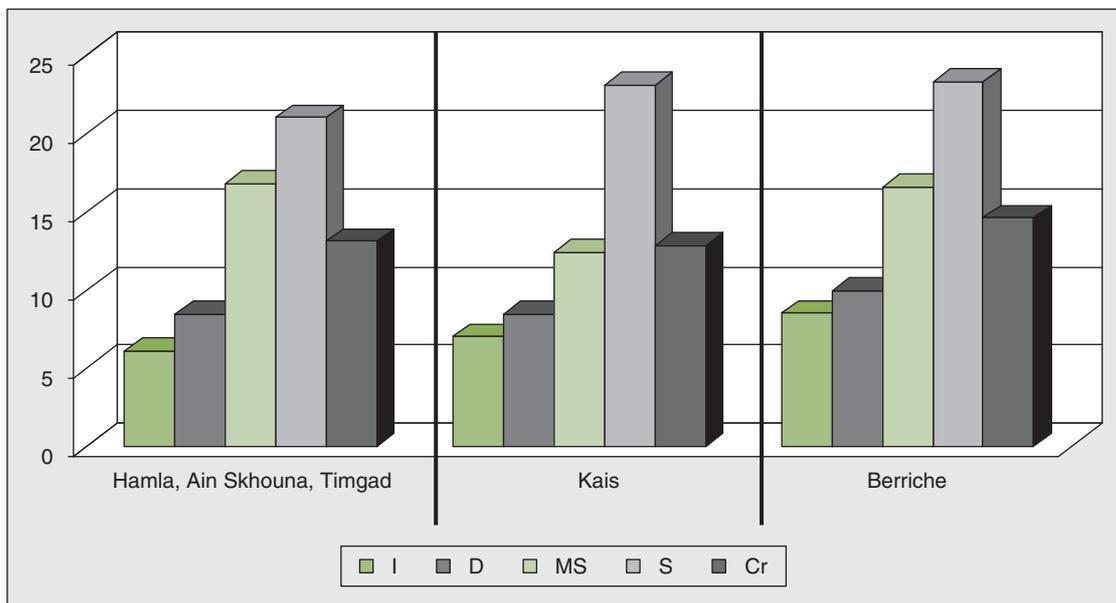


Figure 4. Disponibilités thermiques des stades végétatifs du blé dur dans les parcelles.

Figure 4. Heat availability at vegetative stages of hard wheat in the plots.

ture. Certaines valeurs, comme celles enregistrées dans la région de Batna, en présentant des pics très marqués, pourraient conduire à considérer ces valeurs avec plus de réserves dans l'interpréta-

tion. Elles ont été conservées en raison de leur caractère aléatoire et sont de ce fait représentatives et significatives des actions d'interdépendance relevées lors de l'analyse statistique.

Les différents niveaux de contraintes qui sont résumés et synthétisés sous forme de tableau (tableau 2), ont donc été déterminés sur la base de valeurs présentant entre elles des écarts jugés raisonnables.

Tableau 2. Exigences climatiques du blé dur en sec (*Triticum durum* Desf. Var. Mohamed Ben Bachir)- Sud des Hautes Plaines Constantinoises.

Table 2. Climatic requirement of hard wheat in dry zones (*Triticum durum* Desf. Var. Mohamed Ben Bachir) - South of the Constantinoises high plains.

CaA) Remila ; B) Berriche ; C) ractéristiques climatiques	Niveaux de contraintes			
	Pas (S1)	Faible (S2)	Moyenne (S3)	Sévère (N)
Pluie (mm) - période de croissance	650 - 450	450 - 350	350 - 250	< 250
Pluie (mm) - stade développement	110 - 90	90 - 70	70 - 60	< 60
Pluie (mm) - stade épiaison-floraison	70 - 50	50 - 30	30 - 20	< 20
Pluie (mm) stade maturation	60 - 50	50 - 35	35 - 15	< 15
Température (°C) stade développement	10 - 8	8 - 6 10 - 14	6 - 3 14 - 18	< 3 > 18
Température (°C) stade épiaison- floraison	17 - 13	13 - 18 13 - 10	18 -24 10 -8	> 24 < 8
Température (°C) stade maturation	24 - 22	22 - 18 24 - 30	18 - 14 30 - 34	< 14 > 34
Température moyenne (°C) en période de croissance	14 - 16	14 - 12 16 - 17	12 - 10 < 17	< 10
Température (°C) journalière minimale du mois le plus froid	(-10) - (8)	(-10)-(-12) 8-10	-12)-(-15) 10 - 13	(-15)-(-18) > 13
Cumul température (°C) en période de croissance	2 400-2 300	2 300-2 100	2 100-1 800	< 1 800

Conclusion

La variété locale de blé dur étudiée constitue un pas vers le retour aux essences de terroirs. Ce retour constitue aussi un pas vers une réponse possible au problème posé par des besoins en céréales et dérivés céréaliers d'une population fortement demandeuse, ce qui, d'après El Mourid (2000), est une alternative de participation au maintien de la durabilité dans l'équilibre de l'écosystème.

Les exigences climatiques manifestées répondent à une spécificité génétique adaptée aux conditions locales, voire régionales, si les facteurs du milieu sont similaires. Les facteurs climatiques, tout en se substituant aux facteurs édaphiques, constituent une sérieuse contrainte pour la culture. Cette dernière est affectée dans son développement en raison des fortes chaleurs, en raison surtout des pluies irrégulières et aléatoires notées durant l'année agricole comme durant la période de croissance avec une incidence négative sur la production.

Il existe une étroite corrélation entre les rendements et les pluies, ce qui permet de différencier des ensembles bioclimatiques : Kais et Remila, d'une part, et Berriche, Hamla, Ain Skhoua, Timgad, d'autre part. De ces ensembles, il ressort des valeurs pluviales optimales de plus de

450 mm et minimales limitantes de moins de 250 mm en période de croissance.

Une croissance normale ne peut être définie uniquement par les pluies. Les tempé-

ratures sont aussi importantes : conjuguées avec les pluies, elles conditionnent les besoins hydriques de la culture en agissant sur l'évapotranspiration poten-

Lexique des variables et des symboles utilisés

Variables

- (ASa, ASb) AS = région de Ain Skhoua : a = parcelle a ; b = parcelle b
- (H) parcelle H dans la région de Hamla
- (T) parcelle T dans la région de Timgad
- (Ka, Kb) K = région de Kais ; a = parcelle a ; b = parcelle b
- (Ba, Bb) B = région de Berriche ; a = parcelle a ; b = parcelle b

Stades végétatifs

- I stade initial
- D stade développement
- Mi-S stade mi-saison
- S stade saison

Classes d'aptitudes culturales

- S1 bonne aptitude
- S2 aptitude moyenne
- S3 aptitude marginale
- N inaptitude des sols
- Rdt rendements

Autres symboles statistiques

- (-) signification :
- *** très hautement significatif (seuil de 0,001)
- CV coefficient de variance
- A, B, C, D... définissent les types de groupements homogènes

tielle. Les irrégularités thermiques, lorsqu'elles sont en déphasage avec les besoins en chaleur du végétal en croissance et durant chacun de ses stades, perturbent le développement de la culture et provoquent l'échaudage par exemple, la température optimale de croissance du blé ne devant pas excéder les 15 °C (14 °C-16 °C) avec un cumul de croissance avoisinant les 2 400 °C. Les besoins thermiques par stade végétatif sont variables et évoluent selon un tracé en courbe (courbe de minimum) passant par les valeurs optimales suivantes : 8-10 °C (stade développement), 22-24 °C (stade épiaison-floraison) et 22-24 °C (stade maturation). La levée peut se faire à des températures basses (< 5 °C) à très basses (négatives avoisinantes de la valeur zéro). ■

Références

Baldy G. *Contribution à l'étude fréquentielle des conditions climatiques et de leurs influences sur la production des principales zones céréalières d'Algérie*. Versailles : Inra, Département de bioclimatologie ; ministère de l'Agriculture, 1974.

Benabbes C. *Étude d'une fertilisation azotée et potassique sur une variété d'orge (Hordeum Vulgare var. Tichedrett-9265) en zone semi-aride*. Thèse Magister, Institut d'Agronomie, Batna, Algérie, 1993.

Bouzerzour H, Benmahamed A, Makhlof A, Harzallah D. Évaluation de quelques techniques de sélection pour la tolérance au stress chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride d'altitude. *Céréaliculture* 1998 ; 33 : 27-33.

Catton MB. *Vingt années d'exportation de blé vers l'Algérie*. Actes du 1^{er} Symposium international sur la filière blé, 7-9 février 2000, Alger, Algérie.

Daniélie P. *Statistique théorique et appliquée. T2 : Inférence statistique à une et deux dimensions*. Bruxelles : université De Boeck et Larcier, 1998.

El Mourid M. *Caractérisation agroécologique : Outil de gestion et d'aide à la décision en agriculture aléatoire*. Actes du 1^{er} Symposium international sur la filière blé 7-9 février 2000, Alger, Algérie.

Food and Agriculture Organisation. Land evaluation in Europe. *Bull Péd* 1976(29).

Oudina, Briffaux, Bouzerzour H. L'irrigation d'appoint des céréales. *Céréaliculture* 1988 ; 18 : 1-6.

Sombrero A. *Contribution à l'étude des relations entre le métabolisme azoté, le rendement et la qualité technologique chez le blé dur (Triticum durum Desf)*. Thèse de doctorat, Montpellier, 1988.

Sys C. *Land evaluation. Part 1, 2 and 3. Course of the L.T.C for post-graduates Soil Scientists*. Ghent (Belgium) : State University of Ghent, 1980.

Sys C, Van Ranst E, Debaveye J. *Land evaluation. Part I. Principles in land evaluation and crop production calculations*. Agricultural publication n° 7. Brussels (Belgium) : ITC, 1991.

Sys C, Van Ranst E, Debaveye J, Bernaert F. *Land evaluation. Part III. Crop requirements. I.T.C For post-graduate Soil Scientists. University Ghent, Agricultural publication n° 7*. Brussels (Belgium) : ITC, 1993.