

Fertilisation phospho-potassique du blé dur en culture intensive en Tunisie

Ali Daly Aissa, Ali Mhiri

Le blé dur est la principale céréale cultivée en Tunisie. Son rendement moyen dans les régions du Nord oscille entre 10 et 18 q/ha selon la pluviométrie de l'année. Les emblavures annuelles sont de 800 000 à 900 000 hectares, soit 50 à 70 % des superficies semées annuellement [1]. Pour la campagne 1997/1998, la production était de 10,9 millions de quintaux de blé dur, soit 65 % de la production céréalière totale estimée à 16,65 millions de quintaux. Une grande partie de cette production provient des zones naturellement favorables du Nord et des périmètres irrigués dans les régions du centre. Cependant, les rendements de cette culture restent souvent limités et en deçà des potentialités génétiques des variétés utilisées et des objectifs de rendement. Les superficies réservées aux céréales irriguées, et notamment au blé dur, ne cessent d'augmenter et ont atteint environ 80 000 hectares pour la campagne 1998/1999. Avec les encouragements et les incitations sur les prix de l'eau d'irrigation et le matériel d'irrigation, on prévoit une augmentation rapi-

de de ces superficies qui pourraient atteindre les 100 000 hectares au cours des prochaines années [2]. L'intensification et l'accroissement de la productivité des cultures céréalières dans ces zones favorables nécessitent, entre autres, une utilisation rationnelle et raisonnée des engrais chimiques [3]. Si, au cours des dernières années, le « paquet technologique » de l'utilisation des engrais azotés pour les céréales est en grande partie maîtrisé, de nombreux travaux ayant été réalisés dans ce domaine [4-7], au contraire, la fertilisation phospho-potassique des céréales demeure insuffisamment explorée et peu d'études ont été conduites dans des conditions d'intensification. Les résultats des travaux menés à l'Institut national agronomique de Tunisie [8] et par l'École supérieure d'agriculture du Kef [9] ont prouvé l'efficacité de l'apport phospho-potassique sur l'accroissement des rendements de grain et de biomasse et de la qualité des grains du blé dur conduit en intensif ainsi qu'une meilleure résistance de cette culture au stress thermique. En effet, une culture de blé dur conduite dans des conditions non limitantes en eau et en azote a réagi à un apport potassique au sol [9]. Les analyses foliaires de la culture à différents stades végétatifs et le suivi de la croissance de la culture ont montré que, aux stades de pleine croissance, montaison et épiaison, les besoins instantanés en potassium, nécessaire à l'activation des métabolismes de synthèse et de translocation des glucides [10], ne sont pas immédiatement satisfaits par les réserves du sol en cet élément et qu'un

apport foliaire peut être très bénéfique. Cet apport appliqué à faibles doses et à des périodes échelonnées pourrait garantir une meilleure valorisation de l'eau d'irrigation et des autres engrais chimiques et, par conséquent, une amélioration des rendements du blé dur.

Le présent travail s'inscrit dans le cadre d'un programme de recherche sur la fertilisation raisonnée du blé dur cultivé en intensif et se propose, à l'aide d'expérimentations aux champs, de comparer les effets de différents modes d'apport de potassium en interaction avec la fertilisation phosphatée sur le comportement nutritionnel et le rendement de cette culture.

Matériel et méthode

Des essais de fertilisation phospho-potassique aux champs avec la variété de blé dur var. Karim ont été conduits durant la campagne 1998/1999 dans quatre sites du nord de la Tunisie situés à Lafareg (Béja), Ramlia (Siliana), Boulifa (El Kef) et Sidi Ahmed Salah (Kalâa Khasba). Ces sites offrent des conditions naturelles plus ou moins favorables à l'intensification de la céréaliculture selon leur pluviométrie annuelle moyenne. Dans certains sites, le besoin s'est fait sentir d'apporter des irrigations de complément pour combler les déficits hydriques. Les sols des sites sont d'origine alluviale ; et les caractéristiques de leurs couches superficielles figurent au *tableau 1*.

Ces sols sont tous de texture fine et argileuse, calcaires, potentiellement fertiles

A.D. Aissa : École supérieure d'agriculture du Kef, 7119, Le Kef, Tunisie.
<aliaissa@voila.fr>

A. Mhiri : Institut national agronomique de Tunisie.

Tirés à part : A.D. Aissa

Thèmes : Agronomie ; Science des sols.

Tableau 1**Caractéristiques de l'horizon de surface des sols des quatre sites**

| Sites | Boulifa | Lafareg | S. Ah Salah | Ramlia |
|--------------------------------|---------|---------|-------------|--------|
| Caractéristiques du sol | | | | |
| Texture | | | | |
| A (%) | 26 | 55 | 52 | 50 |
| L (%) | 18 | 20 | 30 | 22 |
| S (%) | 56 | 25 | 18 | 28 |
| pH | 7,7 | 7,6 | 8,1 | 8,2 |
| CaCO ₃ (%) | 16 | 24 | 16 | 14 |
| MO (%) | 2,21 | 3,20 | 1,85 | 2,42 |
| CE (ms/cm) | 1,85 | 1,9 | 1,7 | 1,2 |
| CEC (cmol/kg) | 18 | 35 | 26 | 28 |
| P Olsen (mg/kg) | 12 | 25 | 42 | 16 |
| K (cmol/kg) | 0,74 | 1,08 | 1,00 | 0,82 |
| K/CEC (%) | 4,1 | 3,9 | 2,9 | 3,2 |

Soil surface horizon properties of four locations

(pourcentages de matière organique et capacités d'échange cationique moyens à élevés) en potassium échangeable et moyennement pourvus en phosphore assimilable.

Les cultures aux sites de Lafareg et Ramlia ont été conduites en pluvial (tableau 2). Celles des sites de Boulifa et de Sidi Ahmed Salah ont reçu respectivement deux irrigations de 40 mm et trois irrigations de 30 mm chacune aux stades de fin de tallage et montaison. Les quantités de pluie et les températures minimales et maximales enregistrées durant cette campagne sont présentées aux tableaux 2 et 3. Les soins culturaux (désherbage chimique et traitements cryptogamiques) ont été identiques pour tous les sites. Le cycle cultural était caractérisé par un hiver humide, notamment le mois de janvier, et un certain déficit hydrique aux mois d'avril et de mai. Ce déficit a été aggravé par une vague de chaleur excessive qui a coïncidé

Tableau 2**Pluviométrie mensuelle (en mm) enregistrée durant le cycle cultural 1998/1999**

| Mois | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. | Janv. | Fév. | Mars | Avril | Mai | Juin | Total |
|--------------|-------|------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|
| Sites | | | | | | | | | | | |
| Boulifa | 46,5 | 53,1 | 69,4 | 18,1 | 117,3 | 13,9 | 36,6 | 07,8 | 49,3 | 16,5 | 426,7 |
| Lafareg | – | – | – | – | 411* | 61,8 | 78,8 | 25,0 | 15,3 | 21,7 | 613,6 |
| Ramlia | 75,1 | 45,0 | 38,3 | 20,1 | 100,2 | 23,7 | 61,5 | 15,0 | 23,0 | 51,0 | 452,3 |
| S. Ah. S | 37,0 | 39,5 | 64,8 | 14,8 | 96,5 | 08,1 | 34,4 | 21,0 | 13,5 | 13,5 | 343,1 |

* Total de 5 mois (de septembre à janvier).

Monthly rainfall (mm) recorded during the growing season 98/99**Tableau 3****Températures minimales et maximales enregistrées au cours de la campagne 1998/1999**

| Mois | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. | Janv. | Fév. | Mars | Avril | Mai | Juin | |
|--------------|-------|------|------|--------|--------|--------|--------|-------|------|------|------|
| Sites | | | | | | | | | | | |
| Boulifa | Min | 16,4 | 10,1 | 05,4 | 02,8 | 03,8 | 02,2 | 04,3 | 06,2 | 13,6 | 15,1 |
| | Max | 31,1 | 23,1 | 17,0 | 13,5 | 13,4 | 12,3 | 17,8 | 22,6 | 31,2 | 38,2 |
| Lafareg | Min | 11,4 | 06,8 | 0,5 | – 0,9 | 04,0 | 02,0 | 03,1 | 04,5 | 11,5 | 15,0 |
| | Max | 43,5 | 31,6 | 29,4 | 19,9 | 18,8 | 19,0 | 27,3 | 32,1 | 34,4 | 35,8 |
| Ramlia | Min | 09,3 | 06,0 | – 01,1 | – 01,8 | – 02,7 | – 03,9 | 0,8 | 06,8 | 13,4 | 15,3 |
| | Max | 39,7 | 32,0 | 30,8 | 17,9 | 20,4 | 21,1 | 22,8 | 22,7 | 31,5 | 36,4 |
| S. Ah. S | T moy | 18,6 | 16,8 | 10,6 | 06,9 | 07,4 | 05,9 | 10,8 | 13,9 | 20,8 | 29,5 |

Minimum and maximum air temperature during the growing season 98/99

avec la période de remplissage des grains. La production céréalière dans les régions du Nord en a été globalement affectée, notamment à travers le poids spécifique des grains.

Le même protocole expérimental a été conduit dans les quatre sites ; il consistait en un essai factoriel en quatre répétitions avec une combinaison de trois doses de P : 0, 45 et 90 kg/ha de P₂O₅/ha sous forme de triple super phosphate (0-45-0), et trois doses et deux modes d'apport de K : K0 témoin : 0 kg/ha, K-sol : 50 kg/ha de K₂O appliqué au semis sous forme de sulfate de potassium (0-0-50), et K-foliaire : en 2 pulvérisations d'une solution à 2 % de sulfate de potassium avec un total de 8 kg/ha de K₂O pour les deux pulvérisations. L'azote est considéré comme un facteur non limitant avec des apports échelonnés sur les différents stades végétatifs ; le calcul des quantités d'azote apportées est fondé sur la méthode du bilan [3] appliquée pour un objectif de rendement de 60 q/ha et elles étaient respectivement de 66, 50, 80 et 73 kg de N/ha sous forme d'ammonitrate (33,5-0-0) pour Lafareg, Ramlia, Boulifa et Sidi Ahmed Salah. La pulvérisation foliaire de sulfate de K est réalisée en deux fois espacées de 15 jours aux stades de fin montaison début épiaison. Des échantillons sur la totalité de la partie aérienne des plantes ont été prélevés à différents stades de croissance pour les analyses de N, P et K.

Résultats et discussion

Effets de la fertilisation phosphatée

L'apport de P a produit un effet significatif dans le site de Boulifa uniquement. En effet, l'application de 45 kg/ha de P₂O₅ combinée avec l'application foliaire de K, P1Kf, a généré des gains de 15,5 % et 9,0 % respectivement pour le poids de 1 000 grains et le rendement en grain comparé à P0Kf (figures 1a et b). Il est à signaler que la teneur en P Olsen dans ce site est la plus faible des quatre sites (12 mg/kg), mais considérée par certains auteurs comme nettement supérieure au seuil critique pour les céréales en pluvial sous climat semi-aride. Notons cependant que Aissa [11] a déjà montré que les engrais phosphatés peuvent avoir un effet positif sur le rendement quand ils sont apportés au semis et localisés avec la semence. Ce résultat confirme le fait que le seuil critique de P pour le blé n'est pas une valeur absolue et peut varier en fonction des conditions du niveau d'intensification. Dans les autres sites où P assimilable est supérieur à 16 mg/kg de sol, l'engrais phosphaté n'a pas engendré d'amélioration des rendements ; il a cependant amélioré la

teneur de la plante en phosphore et permis de maintenir les teneurs des sols considérés en phosphore assimilable à leurs niveaux initiaux en fin de culture. Ces observations confortent les recommandations de fertilisation phosphatée des céréales élaborée par Mhiri [12]. Ces données, obtenues dans ce site qui titre 12 ppm P Olsen, prouvent que, en conditions d'intensification de la culture, on pourrait s'attendre à des réponses à l'apport phosphaté pour des teneurs en P assimilable jugées moyennes à élevées par les recommandations de l'Icarda pour la région Wana [13].

De même, le prélèvement de P par la culture de blé exprimé en pourcentage de la matière sèche a montré la même tendance pour les différents sites avec une concentration plus élevée au stade précoce (tallage) et une diminution progressive jusqu'au stade maturité (tableau 4). Des effets significatifs de l'apport phosphaté sur la teneur de la plante en P ont été enregistrés aux stades de montaison, épiaison et maturité (grain + paille) dans le site de Boulifa. En effet, dans ce site qui titrait 12 ppm P assimilable, des teneurs plus élevées en P dans la plante ont été mesurées avec les apports P1 et P2 au stade de montaison et avec la dose P2 aux stades d'épiaison et maturité, comparées à P1 et P0. Ces valeurs indiquent que l'apport de 45 kg/ha P₂O₅ a produit des teneurs plus élevées en P jusqu'au stade d'épiaison et que, par la suite, il a fallu

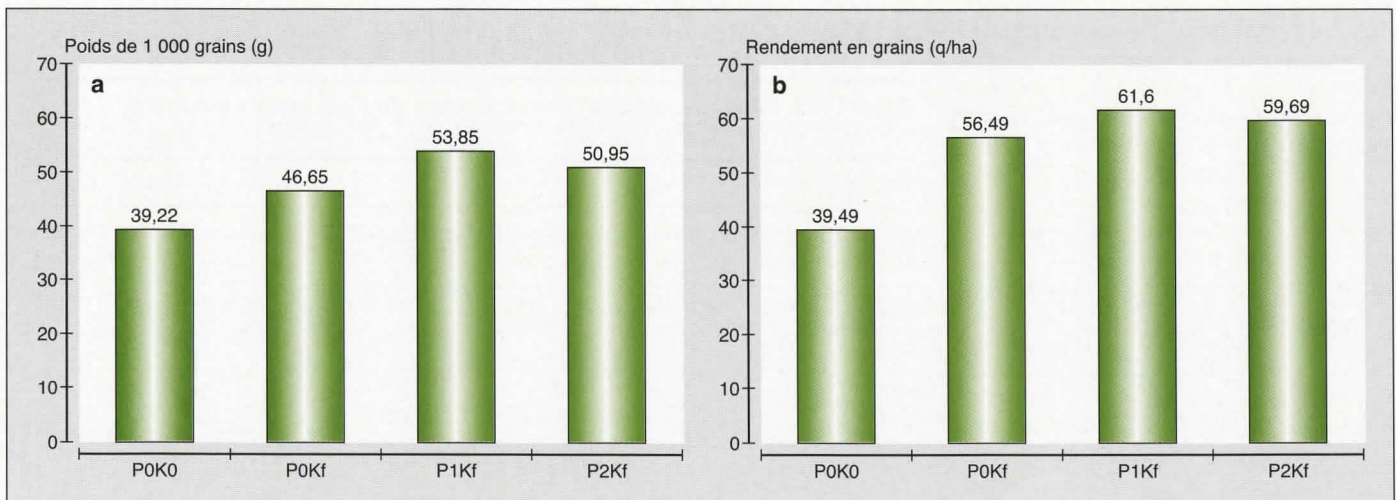


Figure 1. Effet combiné de K foliaire et de l'apport de P sur : (a) le poids de 1 000 grains ; (b) le rendement en grain, dans le site de Boulifa.

Figure 1. Combined effect of foliar application of K and P rates on (a) weight of 1,000 seeds; (b) grain yield, in the Boulifa location.

une dose de P plus élevée, P2 de 90 kg/ha de P₂O₅, pour maintenir une concentration significativement plus élevée que celle du témoin. Cette augmentation de la concentration de P dans la plante a été accompagnée par un effet positif sur le rendement et le poids spécifique des grains (figures 1a et b).

Effets de la fertilisation potassique

L'apport de l'engrais potassique (sulfate de potassium) dans le sol au semis a produit une augmentation significative (au seuil 5 %) du rendement en grains dans le site de Lafareg (tableau 5) malgré sa richesse évidente en K échangeable (tableau 1). En effet, l'apport de 50 kg/ha de K₂O a produit une augmentation du rendement en grains de 13 % comparé au témoin K0. Dans les autres sites, ce traitement n'a pas engendré d'augmentation significative du rendement en grains. L'examen des facteurs explicatifs de l'efficacité de ce mode de fertilisation de K dans le site de Lafareg à l'exception des autres sites nous amène à conclure que la forte pluviométrie du site serait à l'origine de cette efficacité. D'un autre côté, l'apport foliaire de sulfate de potassium a nettement amélioré le rendement en grains pour les sites de Lafareg (pluvial avec plus de 600 mm), Boulifa et Sidi Ahmed Salah (irrigués) avec des gains respectifs de 18,45, 9,98 et 11,57 % comparés à leurs témoins respectifs. Dans les trois sites, la somme des quantités d'eau reçues par la culture atteint respectivement durant le cycle végétatif 613,6, 506,7 et 433,1 mm. Sur un autre plan, les trois sols de ces sites ont des teneurs différentes en K échangeable, mais pouvant être considérées comme assez importantes pour couvrir les besoins de la culture de blé. Seul le site de Ramlia (le plus riche en potassium), conduit en pluvial et ayant reçu 452,3 mm de pluie durant le cycle de la culture, n'a pas répondu à un apport de K. Il semble donc ressortir de ces résultats que le déficit hydrique pour la culture constituerait le facteur limitant de l'efficacité de la fertilisation potassique du blé sous les deux modes d'apport considérés. Par ailleurs, on peut s'interroger sur l'élément chimique de l'engrais apporté, à savoir le soufre ou le potassium, qui serait responsable des effets constatés. Compte tenu du fait que les sols calcaires en Tunisie sont relativement bien pourvus en sulfate, de telle sorte que

les carences en soufre n'ont jamais été constatées, même en culture intensive, nous attribuons plutôt les effets enregistrés au potassium. D'ailleurs, pour trancher cette question, nous avons confirmé par une autre expérimentation cette hypothèse en comparant deux formes d'engrais potassique, nitrate et sulfate de potassium (résultats en cours de publication). Il ressort de l'analyse de l'indice de productivité (tableau 6), dans nos conditions expérimentales, une nette supériorité de

productivité de la fertilisation potassique foliaire par rapport à la fertilisation potassique au sol. Il reste cependant à en apprécier l'efficacité économique. Par ailleurs, dans les régions du nord en général, cette année agricole a été marquée par une vague de chaleur excessive, survenue au début du mois de mai et qui a coïncidé avec la période de remplissage des grains ; cette chaleur a sévèrement affecté la qualité des grains et leur poids spécifique dans plusieurs régions céréalières du Nord de la

Tableau 4

Effets simples de P et K sur la teneur en P de la plante entière à différents stades de croissance au site de Boulifa

| | P0 | P1 | P2 | K0 | K-sol | K-fol | P*K |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|
| Tallage | 0,72 | 0,77 | 0,78 | 0,75 | 0,70 | 0,71 | Ns |
| Montaison | 0,57 a | 0,62 b | 0,64 b | 0,55 | 0,53 | 0,52 | Ns |
| Épiaison | 0,44 a | 0,43 a | 0,49 b | 0,40 a | 0,42 a | 0,50 b | ** |
| Maturité (g + paille) | 0,29 a | 0,27 a | 0,34 b | 0,27 | 0,29 | 0,30 | Ns |

Simple effects of P and K on the P content of the whole plant at different growing stages in the Boulifa location

Tableau 5

Rendement en grains (q/ha) en fonction des modes d'apport de K

| | Boulifa | Lafareg | S. Ah. Salah | Ramlia |
|------------|---------|---------|--------------|--------|
| K0 | 48,25 a | 40,1 a | 43,2 a | 30,0 |
| Ks | 50,8 a | 49,2 c | 42,1 a | 31,9 |
| Kf | 57,15 b | 44,1 b | 48,2 b | 32,8 |
| Ppds (5 %) | 3,56 | 2,51 | 3,24 | NS |
| CV | 7,6 | 8,4 | 10,2 | 9,2 |

Grain yield (quintal/ha) as a function of the application method of K

Tableau 6

Indice de productivité (IP) de l'unité fertilisante de K selon les deux modes d'apport (quintaux de grain/kg de K₂O)

| Sites | IP* du kg de K ₂ O sol | IP du kg de K ₂ O foliaire |
|--------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Boulifa | 0,02 | 1,11 |
| Lafareg | 0,18 | 0,5 |
| S. Ah. Salah | - 0,02 | 0,62 |
| Ramlia | - 0,04 | 0,37 |

* IP = Indice de productivité = (rendement traitement - rendement témoin)/dose de K₂O.

Productivity index (IP) of unit fertilizer as related to the two application methods

Tunisie. Pour nos essais, on a noté que les traitements qui ont reçu l'apport potassique ont été nettement moins affectés par ce stress thermique. Cet effet positif est particulièrement enregistré à Boulifa et Sidi Ahmed Salah avec l'apport de K au sol, avec des gains respectifs de 5,97 et 10,60 %, comparés aux témoins et avec l'apport foliaire de K aux sites de Boulifa et Lafareg où des gains respectifs du poids de 1 000 grains de 18,93 et 11,41 % ont été obtenus (tableau 7).

Pour le site de Boulifa, l'analyse foliaire de la plante en potassium avec les trois traitements K-foliaire, K-sol et K-témoin a montré des teneurs maximales respectives de 3,3, 3,2 et 2,9 % K au stade de montaison. Ces teneurs ont chuté au stade d'épiaison pour K-sol et K-témoin pour atteindre des valeurs respectives de 1,38 et 1,12 % tandis que, avec K-foliaire, cette teneur est significativement plus élevée (seuil 5 %) et s'est maintenue au niveau de 1,8 %. La même tendance est observée au stade de maturité (figure 2). Ce résultat explique l'intérêt de l'application foliaire de K aux stades de montaison et d'épiaison pour maintenir un approvisionnement adéquat en potassium, nécessaire à l'activation enzymatique du métabolisme de synthèse et de translocation des glucides, et, par conséquent, garantir des rendements en grains plus élevés. Des résultats similaires sont obtenus dans le site de Lafareg où le rendement en grain est aussi amélioré.

Interaction entre P et K

Sur le site de Boulifa caractérisé par des teneurs du sol les plus faibles de P (12 mg/kg) et de K échangeable (288 mg/kg), une interaction positive a été notée entre l'apport de P et l'application foliaire de K (figures 1a et b). Un rendement maximal de 61,6 q/ha est obtenu avec l'apport de 45 kg P₂O₅ et la pulvérisation foliaire de 16 kg/ha de sulfate de K. C'est le rendement le plus élevé obtenu dans nos conditions expérimentales.

On signale également pour ce site l'effet positif de l'apport foliaire de K sur le prélèvement de P par la plante au stade d'épiaison (tableau 4), ce qui démontre encore une fois l'effet stimulant de l'application foliaire de K sur l'assimilation des éléments minéraux par la culture de blé.

Prélèvement d'azote

Les teneurs de l'azote dans la partie aérienne à différents stades de développement

Summary

Phosphorus and potassium fertilization of durum wheat in high yielding cultivation in Tunisia

A.D. Aissa, A. Mhiri

Triticum durum is the most important cereal crop grown in Tunisia. Agriculture programs are aimed to develop this strategic crop and improve its productivity. The phosphorus and potassium fertilization is an important tool to achieve this goal. Field trials on durum wheat variety karim were conducted in 1998/1999 at four locations in cereal crop area of northern Tunisia, in Lafareg (Beja), Ramlia (Siliana), Boulifa (Le Kef) and Sidi Ahmed Salah (Kalaat Khasba). These locations are considered favorable for wheat and some supplement irrigations were realized in Boulifa and Sidi Ahmed Salah. Lafareg and Ramlia were rainfed conducted. Selected soil properties of the four locations are presented in Table 1. Tables 2 and 3 show the rainfall and minimum and maximum air temperature recorded during the growing season. Three phosphorus (P) rates: P₀ = 0 kg P₂O₅/ha, P₁ = 45 and P₂ = 90 kg P₂O₅/ha as super triple phosphate (0-45-0), were used in a combination with 3 application methods of potassium: K₀ = 0 kg K₂O/ha, K_s = 50 kg K₂O/ha as potassium sulfate (0-0-50) applied to the soil prior planting, K_f = 8 kg K₂O/ha as leaf spray of a 2% potassium sulfate solution applied in two times: elongation and early heading stages.

Results have shown that the application of P₁ = 45 kg P₂O₅/ha has produced a significant increase in grain yield and the weight of 1,000 seeds in Boulifa location (Figure 1a, b). With P₁K_f an increase of 15.4 and 9.04% was obtained respectively for grain yield and 1,000 seeds weight as compared with P₀K_f. The P fertilization has also produced, in the Boulifa location, a significant elevation of P content of the plant tissue in the elongation, heading and maturity stages (Table 4). This increase in P content is accompanied with higher grain yield and weight of 1,000 seeds.

Potassium application in the soil prior to planting (K_s) has yielded an increase in the grain production in Lafareg (Table 5). In this location the application of K_s = 100 kg K₂O/ha resulted in an 13% increase of the grain yield compared to the K₀ check. The positive effect of soil potassium application is probably due to the high amount of rainfall in this location. The leaf application K_f resulted in an increase in the grain yield of 18.4, 9.98 and 11.5% respectively for Lafareg, Boulifa and Sidi Ahmed Salah. The productivity index (PI) which is a measure of the efficient use of the fertilizer, indicated a higher index for the leaf application of K compared to the soil application (Table 6). On the other hand, the potassium application has reduced the impact of the high temperature stress, which occurred during the filling period in all locations; an improvement in the specific weight of grains of 5.97 and 10.60% was obtained with K_s respectively in Boulifa and Sidi Ahmed Salah compared to the check and 18.93 and 11.41% with the leaf application of K in Boulifa and Lafareg. Leaf application of K has improved the K content of the plant tissue (Figure 2).

The leaf spray of K has also improved the N content and total N uptake of the grain and the straw resulting in better quality production (Tables 8 and 9).

Cahiers Agricultures 2002 ; 11 : 391-7.

Tableau 7

Effet du mode d'apport de K sur le poids de 1 000 grains

| | Boulifa | Lafareg | Sidi Ah. Salah | Ramlia |
|----------------|---------|---------|----------------|--------|
| K ₀ | 42,31 a | 43,00 a | 40,83 a | 39,76 |
| K _s | 44,84 b | 42,01 a | 45,16 b | 41,00 |
| K _f | 50,32 b | 47,91 b | 43,91 b | 42,00 |
| Ppds (5 %) | 1,04 | 1,34 | 2,22 | Ns |
| CV (%) | 6,72 | 5,53 | 6,10 | 4,52 |

Effect of the method of application of K on the weight of 1,000 seeds

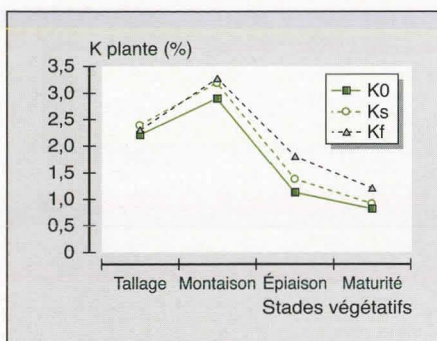


Figure 2. Évolution de K plante en fonction du mode d'application de K dans le site de Boulifa.

Figure 2. K plant content during the growing period as function of K application method in the Boulifa location.

sont rapportées au *tableau 8*. Dans les deux sites de Boulifa et Lafareg, on note un effet positif et significatif (au seuil 5 %) de l'apport foliaire de K sur l'alimentation en azote de la plante au stade de maturité. Cet effet est exprimé par un taux plus élevé en azote total dans les grains et la paille. Au stade de maturité, les teneurs sont respectivement pour Boulifa et Lafareg de 2,4 et 2,2 % N pour les grains et de 0,72 et 0,69 % N pour la paille, avec le traitement Kf, alors qu'elles sont de 1,9 et 1,7 % N pour les grains et de 0,50 et 0,44 % N pour la paille, pour le témoin K0, et de 2,0 et 1,8 % N pour les grains et de 0,52 et 0,50 % N pour la paille, avec le traitement Ksol. Ces résultats montrent que l'apport foliaire de K a produit des grains et des pailles plus riches en matières azotées totales et, par conséquent, une amélioration de la qualité de la production. Cette amélioration de la nutrition azotée du blé s'accompagne d'un accroissement des prélèvements (*tableau 9*). En effet, les prélèvements les plus élevés sont obtenus avec le traitement Kf et sont de 166,2 et 122,17 kg N /ha respectivement pour Boulifa et Lafareg.

Conclusion

Ce travail nous a permis d'évaluer aux champs les effets des engrais phosphatés et potassiques sur le rendement et la qualité des grains du blé dur conduit en conditions hydriques relativement favorables. En effet, on a pu montrer que la fertilisation phosphatée pouvait être envisagée en culture intensive du blé

Tableau 8

Teneur en N (%) de la culture du blé à différents stades de croissance en fonction du mode d'apport de K

| Sites | | Tallage | Montaison | Épiaison | Grains | Paille |
|---------|-------|---------|-----------|----------|--------|--------|
| Boulifa | K tém | 2,3 | 3,3 | 2,8 | 1,9 a | 0,50 a |
| | K sol | 2,4 | 3,4 | 2,7 | 2,0 a | 0,52 a |
| | K fol | 2,2 | 3,3 | 2,9 | 2,4 b | 0,72 b |
| Lafareg | K tém | 2,7 | 2,6 | 2,1 | 1,7 a | 0,44 a |
| | K sol | 2,4 | 2,9 | 2,2 | 1,8 a | 0,50 a |
| | K fol | 2,5 | 2,8 | 2,2 | 2,2 b | 0,69 b |

N content (%) of wheat at different growth stages as related to the K application method

Tableau 9

N total prélevé par les grains et les pailles (kg N/ha) en fonction des modes d'apport de K

| Sites | | N exporté grains (kg N/ha) | N exporté paille (kg N/ha) | N total prélevé (kg N/ha) |
|---------|----|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Boulifa | K0 | 77,9 | 29,25 | 107,15 |
| | Ks | 86,36 | 32,03 | 118,39 |
| | Kf | 116,6 | 49,6 | 166,2 |
| Lafareg | K0 | 57,9 | 23,05 | 80,95 |
| | Ks | 74,9 | 32,0 | 106,9 |
| | Kf | 82,7 | 39,7 | 122,17 |

Total N uptake (kg N/ha) of grain and straw as related to the K application method

même dans les sols considérés à ce jour comme bien pourvus en phosphore extractible (méthode Olsen).

De même, l'apport d'engrais potassiques s'est révélé utile en culture intensive du blé et l'apport foliaire de K aux stades de montaison et début épiaison s'est montré plus avantageux que l'apport de K au sol avec, de surcroît, des quantités plus faibles à apporter. Cet effet n'est vérifié que dans des conditions de culture où l'eau n'est pas un facteur limitant. En culture intensive du blé dur, il semble que, en absence de fertilisation potassique, le potassium devienne au cours des stades de montaison et d'épiaison un facteur limitant du développement de la plante. De ce fait, la mise à disposition de la plante du potassium aisément métabolisable par un apport foliaire entraîne une meilleure assimilation de l'azote et du phosphore disponibles dans le sol et, par voie de conséquence, assure un rendement plus élevé et une nette amélioration

de la composition minérale des grains et de la paille.

Au terme de ce travail, il nous paraît maintenant opportun d'élaborer, à la lumière de ces résultats, des recommandations raisonnées de fumure phospho-potassique appropriée aux principales situations agro-pédologiques d'une culture intensive de blé dur en tenant compte du rendement escompté et de la fertilité du sol ■

Références

1. DGPA. *Résultats de l'enquête céréalière (campagne agricole 1996/1997)*. S/D des statistiques agricoles, 1997 : 9-15.
2. Revue de l'Agriculture. Édition Ministère de l'Agriculture, 1998 ; 18 : 22-5.
3. Mhiri A. *Production and use of chemical fertilizers in Tunisia*. Proceeding of the Seminar « Production and use of chemical fertilizers and environment ». NRC, Cairo, 17-21 Dec., 1995. Edit. El Fouly Abdalla, Egypt.

4. Gharbi A, Haddad A, Ettounsi K. *Nitrogen and phosphorus in rainfed region of Tunisia* Proceeding of the 4th regional workshop, 1991, Agadir, Morocco.

5. Garsi A. *Interaction azote-eau dans un sol cultivé en céréales sous un régime d'irrigation complémentaire*. Résultats du programme de recherche du projet RAB, 1992, programme de Tunisie.

6. Souki K, Aubry C, Dore TN, Sebilliotte M. *Élaboration du rendement du blé dur en conditions semi-arides en Tunisie : relations entre composantes de rendement sous différents régimes de nutriments azotés et hydriques*. *Agro-nomie* 1992 ; 12 : 31-43.

7. Sboui T, Mhiri A, Sanaa M, Van Cleemput O. *Efficacité des engrais azotés sur le blé après deux années sèches*. *Revue de l'INAT* 1997 ; 12 : 1.

8. Rguez B. *Contribution à l'étude de la fertilisation phospho-potassique du blé dur en irrigué*. Mémoire de fin d'étude de spécialisation, Inat, 1998.

9. Aissa AD, Mhiri A. *Fertilisation phospho-potassique des céréales en Tunisie*. *Revue de l'INAT* 2000 ; 15 : 7-17.

10. Syers JK. *Influence of potassium nutrition on seed quality of cereals and oil crops*. *Potash Rev* 1990 ; 1.

11. Aissa AD. *Effet de la forme de l'engrais phosphaté et de sa méthode d'application sur le rendement en grain du blé dur*. *Revue de l'INAT* 1992 ; 2 : 145-52.

12. Mhiri A. *Notes sur la fertilisation des céréales en Afrique du Nord 1995*. Valorisation agronomique et industrielle des céréales méditerranéenne. *Med Campus INAT*.

13. Ryan J, Matar A. *Fertilizer use efficiency under rainfed agriculture in West Asia and North Africa*. Proceeding of the 4th regional workshop, 5-10 May 1991, Agadir, Morocco.

Résumé

Des essais de fertilisation phospho-potassique de la variété de blé dur Karim ont été conduits durant la campagne 1998/1999 dans quatre sites du Nord de la Tunisie situés à Lafareg (Béja), Ramlia (Siliana), Boulifa (Le Kef) et Sidi Ahmed Salah (Kalâa Khasba). Ces sites ont des potentialités différentes d'intensification en régime pluvial ; des irrigations de complément ont été apportées dans les sites de Boulifa et Sidi Ahmed Salah pour corriger le bilan hydrique. En revanche, les essais des sites de Lafareg et Ramlia ont été conduits en pluvial. Trois doses de P : 0, 45 et 90 kg de P_2O_5 sous forme de super 45 et trois modes et doses d'apport de K : K0(témoin), Ks (sol) et Kf (foliaire) ont été testés dans un essai factoriel.

Ces essais ont permis d'atteindre des rendements de 45, 30, 62, et 48 q/ha respectivement pour Lafareg, Ramlia, Boulifa et Sidi Ahmed Salah. L'apport de K dans le sol au moment des semis a produit dans le site de Lafareg une augmentation du rendement en grain de 13 % par rapport au témoin, tandis que l'apport foliaire a amélioré ce rendement en grain dans les sites de Boulifa, Lafareg et Sidi Ahmed Salah avec des gains respectifs de 15,6, 9,1 et 10,5 % par rapport au témoin. On a noté que les traitements qui ont reçu l'engrais potassique ont été nettement moins affectés par la vague de chaleur survenue au moment du remplissage des grains. Cet effet est particulièrement enregistré avec l'apport foliaire de K aux sites de Boulifa et Lafareg où des gains respectifs du poids de 1 000 grains de 16,97 et 10,41 % ont été obtenus.

L'apport de P a produit un effet significatif dans le site de Boulifa, où l'application de 45 kg/ha de P_2O_5 a engendré une augmentation significative du rendement en grains et une accroissement du poids de 1 000 grains, malgré la richesse initiale du sol en P assimilable.

L'apport foliaire de K à la montaison et au début de l'épiaison a engendré une augmentation de la teneur de la plante en N, P et K et, par conséquent, une meilleure assimilation et mobilisation de ces éléments.
