



TRANSFERT DE TECHNOLOGIE EN AGRICULTURE

MADREF/DERD

● N° 80 ● Mai 2001 ●

PNNTA

Mieux fertiliser le tournesol en irrigué

Nouvelles normes pour la région du Gharb

Introduction

Si les pouvoirs publics ont déployé beaucoup d'efforts pour la mobilisation de l'eau et son utilisation pour l'irrigation, l'efficacité d'utilisation de cette eau, en termes de quantité de produits agricoles par m², demeure relativement faible par rapport au potentiel de production. La valorisation des équipements hydro-agricoles, réalisés dans les périmètres irrigués du Maroc, passe nécessairement par l'amélioration des rendements des principales cultures pratiquées. En plus de l'utilisation rationnelle de l'eau au niveau de la parcelle, l'efficacité d'utilisation de cette eau exige l'adoption d'une mise en valeur intensive basée sur des itinéraires techniques adaptés aux conditions pédo-climatiques et socio-économiques locales et respectueuses de l'environnement. La fertilisation raisonnée est l'une des techniques permettant de mieux valoriser l'eau d'irrigation et de réduire le risque de pollution des eaux.

Dans le sens de la durabilité, la fertilisation minérale des cultures est une technique qui permet de maintenir et/ou améliorer la fertilité des sols pour une productivité optimale. Cependant, l'utilisation rationnelle des engrais est basée sur la connaissance de la richesse initiale du sol en éléments fertilisants, du type de sol qui influence la disponibilité de ces éléments aux plantes et du niveau de rendement souhaité et compatible avec les conditions du milieu.

La zone d'action de l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Gharb (ORMVAG) est l'une des principales régions irriguées du Maroc ayant un haut potentiel de production. Conscients de l'importance des analyses de sols, les agriculteurs consultent de plus en plus le laboratoire d'analyses de l'ORMVAG. Les demandes d'analyses de sol, en vue de la fertilisation raisonnée, n'ont cessé d'augmenter. D'après les

statistiques du laboratoire susmentionné, les déterminations analytiques ont passé de 538 en 1992 à 4.000 en 1997. Si la réalisation des analyses ne pose généralement pas de problème majeur, leur interprétation se trouve handicapée par le manque de normes régionales adaptées aux sols et aux cultures pratiquées. Le recours aux normes internationales ou à l'expérience des ingénieurs de l'ORMVAG est de mise. Ainsi, la nécessité d'élaborer des normes d'interprétation des analyses de sol dans la région et pour les principales cultures, tels que le blé et le tournesol, s'impose avec acuité.

L'objectif principal de ce projet de recherche adaptative est de mieux raisonner la fertilisation du tournesol dans la région du Gharb à travers les sous objectifs spécifiques suivants:

- Elaborer des normes d'interprétation des analyses de sol adaptées à la région;
- Evaluer la fourniture du sol en azote, phosphore et potassium;
- Evaluer les besoins (efficacité d'utilisation) du tournesol en N, P₂O₅ et K₂O pour des rendements potentiels réalisables dans la région;
- Calculer des plans de fumure à la carte pour les agriculteurs ayant la possibilité de faire les analyses de sol de leurs parcelles;
- Proposer des formules régionales moyennes pour les agriculteurs n'ayant pas la possibilité de faire des analyses de sol.

Méthodologie

Ce travail de recherche a consisté à tester la réponse du tournesol à l'apport des engrais azotés, phosphatés et potassiques sur différentes situations de richesse du sol en ces éléments. 14 essais de tournesol ont pu être réalisés (Tableau 1 et 2).

Tableau 1: Caractéristiques des essais de réponse du tournesol à l'apport d'engrais dans la région du Gharb

| n° Essai | Localisation | Parcelle | Type de sol | Type d'essai | semis | | | Précédent culturel |
|----------|-----------------|-------------|-------------|--------------|----------|----------|---------|--------------------|
| | | | | | Variété | Date | Dose | |
| 1 | Sidi Allal Tazi | INRA (P1) | Dehs lourd | NxP | Dahbia | 24/03/00 | 8 Kg/ha | Céréales |
| 2 | Sidi Allal Tazi | INRA (P2) | Dehs lourd | NxK | Dahbia | 24/03/00 | 8 Kg/ha | Céréales |
| 3 | Sidi Allal Tazi | FAG (R2) | Dehs lourd | NxP | Dahbia | 08/03/00 | 8 Kg/ha | Tournesol |
| 4 | Sidi Allal Tazi | FAG (R4) | Dehs lourd | NxP | Dahbia | 08/03/00 | 8 Kg/ha | Tournesol |
| 5 | Sidi Allal Tazi | FAG (R5) | Dehs lourd | NxP | Arbung | 29/02/00 | 8 Kg/ha | Tournesol |
| 6 | Sidi Allal Tazi | FAG (S10) | Dehs léger | PxK | Dahbia | 21/03/00 | 8 Kg/ha | céréales |
| 7 | Sidi Allal Tazi | DA (P6) | Dehs léger | NxP | Arbung | 25/02/00 | 8 Kg/ha | Mais |
| 8 | Sidi Allal Tazi | DA (P10) | Dehs léger | NxP | Arbung | 25/02/00 | 8 Kg/ha | Mais |
| 9 | Sidi Allal Tazi | DA (P11) | Dehs léger | NxP | Vyp | 25/02/00 | 8 Kg/ha | Mais |
| 10 | Sidi Allal Tazi | DA (P14) | Dehs léger | NxP | Vyp | 25/02/00 | 8 Kg/ha | Mais |
| 11 | SouK Tlet | CTCS (22A) | Dehs léger | NxP | Vyp | 06/03/00 | 8 kg/ha | Canne à sucre |
| 12 | SouK Tlet | CTCS (22B) | Dehs léger | NxP | Vyp | 14/03/00 | 8 kg/ha | Canne à sucre |
| 13 | SouK Tlet | CTCS (16B) | Dehs léger | NxP | Vyp | 14/03/00 | 8 kg/ha | Canne à sucre |
| 14 | Moghane | Agriculteur | Dehs lourd | NxP | Florasol | 12/03/99 | 8 kg/ha | Canne à sucre |

SOMMAIRE

n° 80

Fertilisation du tournesol

- Réponse du tournesol à la fertilisation azotée..... p.2
- Réponse du tournesol à la fertilisation phosphatée...P.3
- Réponse du tournesol à la fertilisation potassique... p.3
- Normes de fertilisation du tournesol..... p.3
- Proposition de formules régionales..... p.4

تسميد أحسن لعباد الشمس في المناطق السقوية: معايير جديدة لمنطقة الغرب

تم إنجاز هذا البحث في نطاق مشروع دعم التنمية الفلاحية في المناطق السقوية بالمغرب. وكان الهدف منه هو الحصول على معايير جديدة للتسميد العقلاني لزراعة عباد الشمس في منطقة الغرب. وأهم النتائج التي توصل إليها هذا البحث ملخصة في الجدول التالي

| معايير استعمال العنصر | حاجيات المزرع كج/ق | معايير تأويل تحليل التربة | العنصر |
|-----------------------|--------------------|---------------------------|------------|
| 0,53 | 3,47 | غير موجود | الأزوت |
| 0,44 | 7,23 | 149 مغ/كغ | البوتاسيوم |
| 0,21 | 0,67 | 21,6 مغ/كغ | الفوسفور |

ويمكن للفلاحين الذين في استطاعتهم تحليل التربة قبل الزرع. تحديد الكمية المناسبة من الأسمدة لكل بقعة على حدة. أما الذين ليس بإمكانهم القيام بتحليل التربة. فيمكنهم استعمال إحدى التركيبتين المقترحتين في الصفحة الرابعة من هذه النشرة. حسب خصوبة التربة من الفوسفور.



Synthèse des résultats des essais

Réponse du tournesol à la fertilisation azotée

La réponse du tournesol à l'apport d'azote a été testée sur 13 des 14 essais réalisés. La culture a répondu positivement à l'ajout d'azote dans 7 essais (site 1 en 1999, sites 1, 5, 9, 11, 12 et 13 en 2000) (Tableau 3). Pour les essais qui ont répondu, l'ampleur de la réponse est variable d'un essai à un autre. En effet, le coefficient de réponse (CR) varie de 12 % (site 1) à 57 % (site 11) et le rendement relatif (RR) se situe entre 63,6 % (site 11) et 89,2 % (site 1).

$$RR = (Rdt \text{ Témoin} / Rdt \text{ max}) \times 100$$

$$CR = [(Rdt \text{ max} - Rdt \text{ Témoin}) / Rdt \text{ Témoin}] \times 100$$

La recherche de relation entre les indicateurs de la fertilité azotée des sols (MO et N_{min}) et la réponse de la culture est négative. En effet, il n'y a aucune corrélation significative entre la teneur en matière organique (MO) ou la teneur en azote minéral initial (N_{min}) et le CR ou le RR. De même, le rendement du témoin (sans apport d'azote) n'est corrélé ni à la teneur en matière organique, ni à l'azote minéral initial. Ces résultats montrent que pour les essais réalisés il n'est pas possible de prédire la réponse du tournesol à l'apport de l'azote en se référant aux analyses de la MO ou de l' N_{min} initial du sol en irrigué dans le Gharb.

Doses optimales d'azote

La détermination des doses optimales d'azote peut être faite pour les essais dans lesquels le tournesol a répondu positivement à l'apport d'azote. Le calcul se base sur l'ajustement des courbes de réponse et le calcul des marges brutes dégagées par la production. La dose optimale correspond à la quantité d'azote qui procurera à l'agriculteur le profit maximal et non pas le rendement maximal. Elle correspond à la dérivée première de la courbe de réponse.

Des exemples de courbes de réponse du tournesol à l'apport d'azote en termes de profit (marge brute) sont présentées dans les figures 1 et 2. Les doses permettant le maximum de rendement et celles optimales permettant le maximum de gain sont présentées dans le tableau 4.

La dose optimale d'azote est variable d'un site à l'autre. Elle est située entre 115 et 240 kg N/ha. Le rendement permis par la dose optimale est également variable d'un site à l'autre. Il est important de remarquer qu'il n'y a pas de relation directe entre la dose optimale et le rendement optimal. Par exemple, dans le site de la parcelle P1 de l'INRA, la culture a besoin de seulement 115 kg N/ha pour réaliser un rendement optimal de 59,2 qx/ha. Par contre, dans le site 9 de la parcelle 11 des Domaines, la culture du tournesol a besoin de 240 kg N/ha pour réaliser un rendement de seulement 48 qx/ha. La dose optimale permettant le gain maximal est toujours inférieure ou égale à la dose maximale.

Fourniture du sol en azote

Elle correspond à la quantité d'azote absorbée par la culture non fertilisée en azote. En fait, la fourniture du sol en azote (par minéralisation), durant tout le cycle de la culture, peut être beaucoup plus importante que ce qui est absorbé par la culture en raison de l'asynchronisme entre la fourniture du sol et les besoins de la culture. La fourniture moyenne du sol

en azote effectivement absorbé par la culture varie de 44 à 202 kg N/ha. Cette quantité fournie est indépendante des teneurs en matière organique et en azote minéral initial. Par contre, la fourniture du sol en azote est proportionnelle au rendement réalisé:

$$\text{Fourniture (kg N/ha)} = 3,534 \text{ Rdt Témoin (qx/ha)} + 2,14$$

Sans apport d'azote, le rendement réalisé a varié entre 12,6 et 49,7 qx/ha. Cela veut dire que si la culture est bien conduite (peuplement, irrigation, traitements phytosanitaires et herbicides adéquats), il est possible de réaliser un rendement assez élevé pouvant atteindre 50 qx/ha. Cependant, en considérant tous les sites, le rendement moyen des témoins sans apport d'azote est de $30 \pm 14,5$ qx/ha. Avec ce rendement, la fourniture moyenne, calculée en utilisant la relation précédente, est de 108 kg N/ha. On peut donc conclure que les sols du Gharb sur lesquels les essais ont été installés sont capables de libérer des quantités importantes d'azote par minéralisation pour répondre aux besoins de la culture du tournesol.

D'un autre côté, il est à noter que le rendement moyen des témoins obtenu dans cette étude est largement supérieur à la moyenne des rendements réalisés par les agriculteurs dans la région du Gharb (8 qx/ha). La différence est à rechercher au niveau de la réussite du peuplement et les possibilités d'irrigation, si on considère que le problème de l'attaque des grains par les moineaux est réglé.

Efficience d'utilisation de l'azote

L'efficience d'utilisation moyenne de l'azote par la culture du tournesol varie de 3,11 à 4,00 kg N/quintal de grains produit, avec une moyenne générale de 3,47 kg N/quintal. Il n'y a pas de corrélation entre l'EUN et le rendement réalisé.

Coefficient d'utilisation apparente de l'azote

Le CUA de l'azote varie dans une gamme très large, allant de pratiquement 0 à 53 %. Il est plus élevé

Figure 1: Réponse du tournesol à l'apport d'azote dans le site 1 en 2000 (INRA, P1)

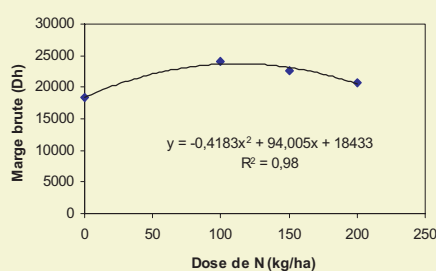


Figure 2: Réponse du tournesol à l'apport d'azote dans le site 5 en 2000 (FAG, R5)

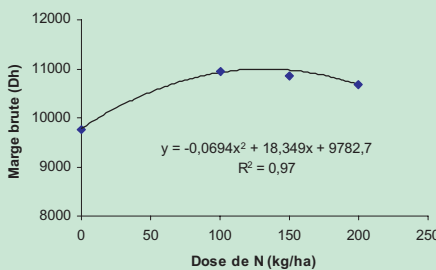


Tableau 2: Résultats des analyses des sols des parcelles des essais de tournesol (région du Gharb)

| sites | Numéros des parcelles | P ₂ O ₅ Assim | K ₂ O | N Min. | GRANULOMETRIE (%) | | | | | pH | CE 1/5 | MO | CaCO ₃ |
|-------|-----------------------|-------------------------------------|------------------|--------|-------------------|------|-------|-------|--------|------|--------|------|-------------------|
| | | | | | SF | SG | LF | LG | Argile | | | | |
| 1 | INRA | 21,6 | 742,8 | 37,1 | 10,61 | 1,84 | 2,24 | 56,82 | 28,50 | 8,11 | 0,20 | 1,31 | 0,40 |
| 2 | INRA (P2) | 25,4 | 745,8 | 55,3 | 0,62 | 3,42 | 2,48 | 54,86 | 38,62 | 7,98 | 0,08 | 3,11 | 0,20 |
| 3 | FAG (R2) | 49,9 | 391,4 | 30,1 | 1,47 | 0,26 | 32,08 | 4,14 | 62,06 | 8,28 | 0,28 | 2,23 | 14,9 |
| 4 | FAG (R4) | 42,6 | 451,5 | 16,8 | 10,99 | 0,31 | 11,60 | 17,22 | 59,88 | 8,09 | 0,45 | 2,33 | 14,0 |
| 5 | FAG (R5) | 45,5 | 403,4 | 37,8 | 1,57 | 0,55 | 35,50 | 3,10 | 59,16 | 8,18 | 0,29 | 2,42 | 14,6 |
| 6 | FAG (S10) | 32,8 | 149,27 | 40,6 | 2,33 | 0,33 | 40,20 | 23,77 | 33,36 | 8,33 | 0,13 | 1,99 | 22,3 |
| 7 | DD (P6) | 101,1 | 664,9 | 19,94 | 6,74 | 1,80 | 33,02 | 52,78 | 5,66 | 8,41 | 0,06 | 2,12 | 0 |
| 8 | DD (P10) | 35,9 | 676,7 | 23,8 | 5,97 | 2,55 | 11,42 | 57,5 | 22,56 | 8,60 | 0,09 | 2,08 | 0 |
| 9 | DD (P11) | 41,6 | 721,8 | 139,3 | 4,95 | 1,75 | 27,76 | 38,42 | 27,12 | 8,23 | 0,06 | 2,32 | 0 |
| 10 | DD (P14) | 40,9 | 763,9 | 205,8 | 2,29 | 3,25 | 19,54 | 54,2 | 20,72 | 8,12 | 0,07 | 2,21 | 0 |
| 11 | CTCS (22A) | 36,9 | 476,1 | 174,3 | 5,83 | 0,89 | 45,6 | 23,2 | 24,48 | 7,85 | 0,20 | 2,29 | 0 |
| 12 | CTCS (22B) | 29,3 | 326,5 | 27,3 | 4,71 | 2,04 | 33,06 | 36,05 | 24,14 | 8,16 | 0,09 | 1,89 | 0 |
| 13 | CTCS (16B) | 34,2 | 353,2 | 55,3 | 4,17 | 1,75 | 44,48 | 24,90 | 24,70 | 8,37 | 0,10 | 1,97 | 0 |
| 14 | Moghrane | 19,0 | 250,0 | 63,0 | 1,00 | 1,00 | 50,00 | 4,00 | 44,00 | 7,90 | 0,45 | 1,23 | 17,8 |

Tableau 3: Réponse du tournesol à l'apport d'azote en irrigué dans la plaine du Gharb

| N° Site | M.O. (%) | Nmin. (mg/kg) | Doses d'azote (kg/ha) | Rendement (qx/ha) | Rendement relatif (%) | Coefficient de réponse (%) |
|----------------------|----------|---------------|--|--|-----------------------|----------------------------|
| 1 (2000) INRA (P1) | 1,31 | 37,1 | N ₀ N ₁₀₀ N ₁₅₀ N ₂₀₀ | 44,8 b ^(*) 59,5 a 56,6 a 52,4 ab | 75,2 | 32,8 |
| 2 (2000) INRA (P2) | 3,11 | 55,3 | N ₀ N ₁₀₀ N ₁₅₀ N ₂₀₀ | 49,7 46,2 44,7 45,5 | - ^(**) | - ^(**) |
| 3 (2000) FAG (R2) | 2,23 | 30,1 | N ₀ N ₁₀₀ N ₁₅₀ N ₂₀₀ | 10,1 12,1 12,0 15,2 | - | - |
| 4 (2000) FAG (R4) | 2,33 | 16,8 | N ₀ N ₁₀₀ N ₁₅₀ N ₂₀₀ | 10,4 10,9 10,3 10,3 | - | - |
| 5 (2000) FAG (R5) | 2,42 | 37,8 | N ₀ N ₁₀₀ N ₁₅₀ N ₂₀₀ | 23,8 b 27,8 a 27,7 a 28,1 a | 84,9 | 17,8 |
| 7 (2000) DD (P6) | 2,12 | 19,94 | N ₀ N ₁₀₀ N ₁₅₀ N ₂₀₀ | 38,0 36,2 37,7 42,0 | - | - |
| 8 (2000) DD (P10) | 2,08 | 23,8 | N ₀ N ₁₀₀ N ₁₅₀ N ₂₀₀ | 49,7 51,3 53,7 54,6 | - | - |
| 9 (2000) DD (P11) | 2,32 | 139,3 | N ₀ N ₁₀₀ N ₁₅₀ N ₂₀₀ | 38,7 b 41,0 b 48,1 a 44,6 ab | 80,4 | 24,3 |
| 10 (2000) DD (P14) | 2,21 | 205,8 | N ₀ N ₁₀₀ N ₁₅₀ N ₂₀₀ | 46,7 51,6 48,6 51,1 | - | - |
| 11 (2000) CTCS (22A) | 2,29 | 174,3 | N ₀ N ₁₀₀ N ₁₅₀ N ₂₀₀ | 19,2 b 30,1 a 27,6 a 29,9 a | 63,6 | 57,2 |
| 12 (2000) CTCS (22B) | 1,89 | 27,3 | N ₀ N ₁₀₀ N ₁₅₀ N ₂₀₀ | 22,0 b 23,9 b 24,6 b 29,2 a | 75,2 | 33,0 |
| 13 (2000) CTCS (16B) | 1,97 | 55,3 | N ₀ N ₁₀₀ N ₁₅₀ N ₂₀₀ | 12,6 b 13,4 b 11,9 b 17,0 a | 74,2 | 34,7 |
| 1 (1999) Moghrane | 1,23 | 63,0 | N ₀ N ₁₀₀ N ₁₅₀ N ₂₀₀ | 25,3 b 27,1 ab 27,2 ab 28,4 a | 89,2 | 12,0 |

(*) Les rendements suivis de la même lettre ne sont pas significativement différents
(**) La réponse du rendement à la fertilisation n'est pas statistiquement significative

Tableau 4: Doses maximales et optimales d'azote la fertilisation du tournesol dans le Gharb

| SITE | Dose maximale (kg N/ha) | Dose optimale (kg N/ha) | Rendement optimal (qx/ha) | Observations |
|---------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|---|
| 1 Moghrane | > 200 | > 200 | - | Courbe de réponse linéaire dans la gamme des doses testées |
| 1 INRA (P1) | 120 | 115 | 59,2 | - |
| 5 FAG (R5) | 135 | 130 | 27,5 | - |
| 9 DD (P11) | 325 | 240 | 48,0 | - |
| 11 CTCS (22A) | 165 | 145 | 30,2 | - |
| 12 CTCS (22B) | > 200 | > 200 | - | Le rendement et le profit continuent à augmenter au delà de 200 kg N/ha |
| 13 CTCS (16B) | > 200 | > 200 | - | |



Définitions

Efficacité d'utilisation d'un élément: Quantité d'élément nécessaire pour produire un quintal de grain

Coefficient d'utilisation apparente d'un élément: $100 \times \frac{[(\text{quantité absorbée par la culture fertilisée}) - (\text{quantité absorbée par le témoin})]}{\text{quantité apportée}}$

pour la dose la plus faible d'azote apporté (N_{100}). La moyenne étant de 26 %. Ce faible CUA de N peut être attribué à la grande capacité des sols du Gharb à minéraliser l'azote du sol en conditions d'irrigation durant le cycle de croissance et de développement du tournesol (Mars à Juillet). En effet, il est un fait connu que l'humidité apportée par l'eau d'irrigation et les températures élevées durant le printemps et l'été permettent une forte minéralisation de l'azote du sol.

Etant donnée que les sols ont une grande capacité de fourniture d'azote, et pour ne pas inutilement apporter des quantités importantes d'azote, nous pouvons retenir comme CUA de N la valeur maximale obtenue qui est de 53 % (site 1, INRA P1).

Réponse du tournesol à la fertilisation phosphatée

Rendement grains

La synthèse des résultats de réponse du tournesol à l'apport du phosphore est présentée dans le tableau 5. La réponse au phosphore a été testée sur 13 essais. Le phosphore a eu un effet positif sur le rendement du tournesol dans seulement 2 sites: l'essai de 1999 à Moghrane et l'essai n° 1 réalisé en 2000 sur la parcelle P1 de l'INRA. Ces deux sites présentent les teneurs en P_2O_5 les plus faibles; respectivement 19 et 21,6 mg/kg. Le CR se situe entre 12,4 et 20,9 %.

Doses optimales de phosphore

Un exemple de courbe de réponse est présenté dans la figure 3. L'essai réalisé dans la station de l'INRA a besoin seulement de 70 kg P_2O_5 pour réaliser un rendement optimal de 58 qx/ha. Par contre, celui réalisé en 1999 à Moghrane nécessite 105 kg P_2O_5 /ha pour réaliser un rendement optimal de seulement 27,8 qx/ha (Tableau 6).

Fourniture du sol en phosphore

Le tournesol est une culture qui n'est pas très exigeante en phosphore. Dans les essais réalisés, la fourniture du sol, exprimée par la quantité de P_2O_5 absorbé par le témoin (sans apport de phosphore), est comprise entre 8 et 50 kg P_2O_5 /ha pour des rendements compris entre 13 et 50 qx/ha.

Comme dans le cas de l'azote, la quantité de P_2O_5 absorbée par le témoin sans apport de phosphore n'est pas liée à la richesse du sol en phosphore assimilable. Elle est corrélée au rendement réalisé. Ainsi, pour un rendement moyen de 38 qx/ha, sans apport de phosphore, le sol peut fournir 22,5 kg P_2O_5 /ha.

Efficacité d'utilisation du phosphore

Les EUP moyennes par site ont varié dans une gamme assez restreinte allant de 0,55 à 0,79 kg P_2O_5 /quintal, la moyenne générale étant de 0,67 kg/ql. Il n'y a pas de relation statistiquement significative entre l'EUP et le niveau de rendement réalisé.

Coefficient d'utilisation apparente du phosphore

Le CUA du phosphore est extrêmement faible. Il est au maximum de 21 % dans le site 6 de la parcelle S10 à la FAG pour la dose P_{45} . Pour les autres sites et doses, le CUA de P est compris entre 0 et 14 %. La richesse initiale des sols en P_2O_5 et leur grande capacité de libération du phosphore, préalablement adsorbé suite aux apports répétés d'engrais phosphatés, expliquent ce résultat.



Réponse du tournesol à la fertilisation potassique

Rendement grains

La réponse du tournesol à l'apport du potassium a été testée sur deux sites de richesses initiales en K_2O échangeable très contrastées (Tableau 7). L'essai installé dans la parcelle N° 2 de l'INRA a montré une réponse, mais non significative, à l'apport du potassium de 10 qx/ha entre K_0 et K_{180} . Cependant, la réponse du tournesol à l'apport du potassium a été hautement significative dans le site N° 6 de la FAG, qui présente justement un teneur relativement plus faible en K_2O . Le CR est de 26,3 %.

Nous pouvons donc avancer que lorsque la teneur du sol Dehs en potassium échangeable est < 149 mg K_2O /kg, il y a une forte probabilité d'amélioration du rendement grain du tournesol suite à l'ajout d'engrais potassique. Il est, cependant, peu probable de trouver dans la région du Gharb un nombre élevé de parcelles ayant des teneurs en $K_2O < 150$ mg/kg.

Dose optimale de potassium

Le rendement et le gain continuent d'augmenter au delà de la dose maximale testée (K_{180}). De ce fait, il n'est pas possible de déterminer une dose optimale en potassium dans ce site.

Fourniture du sol en potassium

Les quantités de potassium pouvant être libérées par les sols Dehs du Gharb pour subvenir aux besoins du tournesol sont très élevées. En effet, la fourniture du sol en K_2O a varié entre 143 et 623 kg/ha. Ces quantités de potassium libéré sont sollicitées par les niveaux de rendement réalisés.

Pour un rendement moyen de 37 qx/ha, le sol peut fournir 238 kg K_2O /ha à la culture durant son cycle de croissance et de développement.

Efficacité d'utilisation du potassium

La culture du tournesol est l'une des plus exigeantes en potassium. Selon les résultats des essais que nous avons réalisés, l'EUK a varié de 5,51 à 11,68 kg K_2O /quintal de grains. La moyenne générale sur tous les essais est de 7,23 kg K_2O /ql.

Coefficient d'utilisation apparente du potassium

Le CUA du potassium dans l'essai installé sur la parcelle 2 de l'INRA est très élevé. Il est de 70 % pour la dose K_{60} et présente des valeurs > 100 % pour les doses K_{120} et K_{180} . Ce résultat suggère que l'apport du potassium dans ce site, qui est déjà très bien pourvu en K_2O échangeable (745 mg/kg), incite la culture à absorber encore plus de potassium. Il est également possible d'expliquer cette absorption très importante du potassium par l'interaction avec les apports d'azote qui induisent un développement végétatif excessif.

Normes de fertilisation du tournesol en irrigué dans le Gharb

A la lumière des résultats présentés, deux types de normes sont proposées (Tableau 8):

- Celles nécessaires pour l'interprétation des analyses de sol.
- Celles nécessaires pour le calcul des quantités d'engrais à apporter.

Normes d'interprétation des analyses de sol

L'un des principaux objectifs de ce projet est l'établissement de normes permettant d'interpréter les résultats des analyses de sol réalisées par l'ORMVAG. De

Tableau 7: Réponse du tournesol à l'apport du potassium en irrigué dans la plaine du Gharb

| N° Site | K_2O échangeable (mg/kg) | Doses de potassium (kg/ha) | Rendement (qx/ha) | Rendement relatif (%) | Coefficient de réponse (%) |
|--------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------|-----------------------|----------------------------|
| 2 (2000) INRA (P2) | 745,85 | K_0 | 41,6 | - | - |
| | | K_{60} | 45,3 | - | - |
| | | K_{120} | 48,7 | - | - |
| | | K_{180} | 50,5 | - | - |
| | | | | | |
| 6 (2000) FAG (S10) | 149,17 | K_0 | 41,2 b | 79,2 | 26,3 |
| | | K_{60} | 46,3 ab | | |
| | | K_{120} | 44,3 b | | |
| | | K_{180} | 52,0 a | | |
| | | | | | |

Tableau 5: Réponse du tournesol à l'apport du phosphore en irrigué dans la plaine du Gharb

| N° Site | P_2O_5 Assi. (mg/kg) | Doses de phosphore (kg/ha) | Rendement (qx/ha) | Rendement relatif (%) | Coefficient de réponse (%) |
|----------------------|------------------------|----------------------------|-------------------|-----------------------|----------------------------|
| 14 (1999) Moghrane | 19,00 | P_0 | 25,2 b | 88,9 | 12,4 |
| | | P_{45} | 27,1 ab | | |
| | | P_{90} | 27,2 ab | | |
| | | P_{135} | 28,4 a | | |
| | | | | | |
| 1 (2000) INRA (P1) | 21,60 | P_0 | 47,8 b | 82,7 | 20,9 |
| | | P_{45} | 57,8 a | | |
| | | P_{90} | 56,8 a | | |
| | | P_{135} | 50,9 b | | |
| | | | | | |
| 3 (2000) FAG (R2) | 49,60 | P_0 | 14,9 | - | - |
| | | P_{45} | 12,6 | | |
| | | P_{90} | 13,3 | | |
| | | P_{135} | 08,7 | | |
| | | | | | |
| 4 (2000) FAG (R4) | 42,65 | P_0 | 10,0 | - | - |
| | | P_{45} | 11,4 | | |
| | | P_{90} | 10,7 | | |
| | | P_{135} | 10,0 | | |
| | | | | | |
| 5 (2000) FAG (R5) | 45,54 | P_0 | 26,7 | - | - |
| | | P_{45} | 28,3 | | |
| | | P_{90} | 26,4 | | |
| | | P_{135} | 26,2 | | |
| | | | | | |
| 6 (2000) FAG (S10) | 32,87 | P_0 | 45,8 | - | - |
| | | P_{45} | 42,6 | | |
| | | P_{90} | 47,5 | | |
| | | P_{135} | 47,7 | | |
| | | | | | |
| 7 (2000) DD (P6) | 101,07 | P_0 | 37,6 | - | - |
| | | P_{45} | 39,4 | | |
| | | P_{90} | 38,5 | | |
| | | P_{135} | 38,3 | | |
| | | | | | |
| 8 (2000) DD (P10) | 35,93 | P_0 | 50,8 | - | - |
| | | P_{45} | 51,8 | | |
| | | P_{90} | 50,8 | | |
| | | P_{135} | 55,9 | | |
| | | | | | |
| 9 (2000) DD (P11) | 41,69 | P_0 | 46,0 | - | - |
| | | P_{45} | 43,6 | | |
| | | P_{90} | 39,6 | | |
| | | P_{135} | 43,2 | | |
| | | | | | |
| 10 (2000) DD (P14) | 40,93 | P_0 | 44,7 | - | - |
| | | P_{45} | 49,5 | | |
| | | P_{90} | 54,2 | | |
| | | P_{135} | 49,6 | | |
| | | | | | |
| 11 (2000) CTCS (22A) | 36,98 | P_0 | 27,3 | - | - |
| | | P_{45} | 27,5 | | |
| | | P_{90} | 27,0 | | |
| | | P_{135} | 25,0 | | |
| | | | | | |
| 12(2000) CTCS (22B) | 29,35 | P_0 | 27,0 | - | - |
| | | P_{45} | 23,4 | | |
| | | P_{90} | 25,4 | | |
| | | P_{135} | 23,8 | | |
| | | | | | |
| 13(2000) CTCS (16B) | 34,20 | P_0 | 13,0 | - | - |
| | | P_{45} | 13,5 | | |
| | | P_{90} | 16,2 | | |
| | | P_{135} | 12,2 | | |
| | | | | | |

Figure 3: Réponse du tournesol à l'apport du phosphore dans le site 1 en 2000 (INRA, P1)

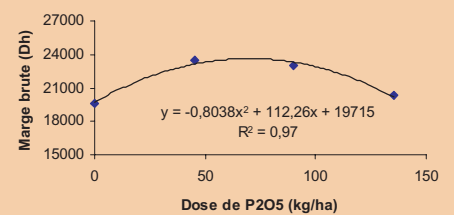


Tableau 6: Doses maximales et optimales de phosphore pour la fertilisation du tournesol dans le Gharb

| Site | Dose maximale (kg P_2O_5 /ha) | Doses optimale (kg P_2O_5 /ha) | Rendement optimal (qx/ha) |
|---------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------|
| Moghrane 1999 | 195 | 105 | |
| P1 2000 | 70 | 70 | |



nouvelles normes régionales ont ainsi pu être établies vis à vis du tournesol en irrigué dans le Gharb sur les sols Dehs. Cependant, ces normes peuvent être appliquées aux Tirs du fait de la similitude entre ces derniers et les Dehs lourds, en termes de texture et de compositions minéralogique et chimique.

Pour l'azote

Les résultats des essais n'ont pas permis de dégager des relations entre les indicateurs simples et faciles à mesurer de la richesse des sols en azote, tels que la teneur en matière organique et l'azote minéral initial, et la réponse du tournesol à l'apport d'azote. De ce fait, ces deux analyses ne peuvent pas être interprétées pour juger de la réponse du tournesol à l'apport d'azote. L'N minéral initial est très variable dans le temps et dans l'espace. Ce fait limite son utilisation comme indicateur de la richesse du sol en azote. Par contre, il peut être utilisé comme indicateur de l'évolution du stock d'azote dans le sol, suite aux apports d'engrais azotés ou suite à la minéralisation.

Dans l'état actuel des choses, il n'y a pas de normes d'interprétation des résultats d'analyses de la matière organique et de N minéral en relation avec la fertilisation du tournesol en irrigué dans le Gharb.

Pour le phosphore

Deux des 13 essais où la réponse du tournesol à l'apport du phosphore a été testée ont répondu. La nouvelle norme d'interprétation des résultats d'analyse du phosphore assimilable Olsen pour le tournesol en irrigué dans le Gharb est 21,6 mg P₂O₅/kg (9,4 mg P/kg).

Pour le potassium

La réponse du tournesol à l'apport du potassium a été positive dans un seul site, qui présente une teneur en potassium échangeable de 149 mg K₂O/kg. Cette valeur pourrait donc être prise comme norme d'interprétation des analyses du potassium échangeable extrait à l'acétate d'ammonium, neutre et normal.

Normes de calcul des quantités d'engrais à apporter

Après que les analyses du sol ont pu être interprétées, en utilisant les normes sus-mentionnées, la décision d'apporter ou de ne pas apporter les engrais est automatique. Si le sol est considéré bien pourvu en un élément donné (résultat d'analyse > valeur critique), l'apport de cet élément est inutile. Si la teneur du sol est < norme, l'apport de cet élément est nécessaire.

Le calcul des quantités d'engrais à apporter est fonction des paramètres suivants:

- Rendement souhaité;
- Besoins de la culture en éléments fertilisants;
- Capacité de fourniture du sol en éléments fertilisants à partir de ses réserves et
- Coefficient d'utilisation apparente de chaque élément fertilisant.

Pour l'azote

La dose d'azote à apporter peut être calculée comme suit:

$$\text{Dose (kg N/ha)} = (\text{Besoins} - \text{Fourniture du sol}) / \text{CUA}$$

► Besoins = Rendement souhaité x EUN

► EUN moyenne = 3,47 kg N/ql.

► Fourniture du sol en azote dépendra du rendement pouvant être réalisé sans apport d'azote. Ce dernier pourrait être en moyenne de 30 qx/ha si on arrive à réussir un peuplement adéquat (> 50 000 pieds/ha), éviter le déficit hydrique par une ou deux irrigations et assurer un désherbage et une protection sanitaire



de la culture. La relation liant ce rendement est la fourniture du sol en azote est:

$$\text{Fourniture (kg N/ha)} = 3,534 \text{ Rdt Témoin (qx/ha)} + 2,14$$

Ainsi, si le rendement visé est inférieur ou égal à 30 qx/ha, il ne serait pas nécessaire d'apporter de l'azote. Le sol peut fournir à la culture les 108 kg N nécessaires pour réaliser ce rendement.

Si l'ingénieur ou l'agriculteur juge que sa parcelle ne peut pas lui produire 30 qx/ha sans apport d'azote, il peut choisir le rendement qui convient et utiliser la formule ci-dessus pour estimer la fourniture du sol.

Ainsi, pour un agriculteur visant un rendement de 50 qx/ha et un rendement du témoin de 30 qx/ha, la dose d'azote à apporter est de 123 kg N/ha. Cette dose est du même ordre de grandeur que les doses optimales trouvées dans cette étude pour les essais qui ont répondu à l'apport d'azote (115 à 240).

Si un autre agriculteur juge que sa parcelle ne peut lui garantir que 10 qx/ha sans azote, et qu'il se contente de vouloir réaliser seulement 30 qx/ha, la dose à apporter est de 126 kg N/ha. Ces deux exemples montrent que c'est la différence entre le rendement visé est celui pouvant être obtenu sans apport d'azote qui détermine la dose à apporter.

Pour la fertilisation azotée du tournesol en irrigué dans le Gharb, il n'est pas nécessaire d'apporter l'azote au semis. Les sols ont une grande capacité de fournir à la culture ses faibles besoins jusqu'au stade 4 à 6 feuilles. Il n'est également pas utile de faire l'analyse de N minéral du sol avant la mise en place de la culture. Pour un rendement moyen de 40 qx/ha en irrigué, une dose de 120 kg d'azote serait suffisante.

Pour le phosphore

Lorsque la teneur du sol en phosphore assimilable est inférieur à 21,6 mg P₂O₅/kg, l'apport du phosphore est nécessaire. La dose de phosphore dépendra du rendement souhaité. Si la teneur du sol est > 21,6 mg/kg, il n'est pas nécessaire d'apporter du phosphore.

Le mode de calcul pourrait se faire de la même manière que pour l'azote en tenant compte de la fourniture du sol et du CUA de P. Le CUA de P maximal est de 21 %. Cela veut dire que les doses calculées en utilisant cette valeur sont minimales.

Par exemple, si un agriculteur souhaite obtenir 50 qx/ha et que sa parcelle sans apport de phosphore peut lui garantir un rendement de 30 qx/ha, la quantité de P₂O₅ à apporter sera obtenue par:

$$\text{Dose (kg P}_2\text{O}_5\text{/ha)} = (50 \times 0,67 - \text{fourniture}) / 0,21$$

Or la fourniture du sol en P₂O₅ est reliée au rendement du témoin par la relation:

$$\text{Fourniture} = 5,5375 e^{0,0369 \text{ Rdt}} = 16,75 \text{ kg P}_2\text{O}_5\text{/ha}$$

Dose = 80 kg P₂O₅/ha.

Cette valeur est dans la gamme des doses optimales trouvées dans ce projet (70 à 105 kg P₂O₅/ha).

Si un autre agriculteur pense que sa parcelle ne peut lui procurer que 20 qx/ha sans apport de phosphore et qu'il souhaite réaliser 50 qx/ha, la dose sera de 104 kg P₂O₅/ha. C'est toujours dans la gamme des doses optimales trouvées.

Pour le potassium

Le tournesol a répondu à l'apport du potassium dans les sols Dehs du Gharb. Son apport est inutile lorsque la teneur en potassium échangeable est > 149 mg K₂O/kg. A travers les analyses disponibles, il est très rare de trouver des sols Dehs ou Tirs ayant des teneurs en K₂O échangeable < 150mg/kg.

Toutefois, le mode de calcul de la dose de potassium à apporter si la teneur est < 150 mg/kg est le même que pour l'azote et le phosphore. Les données de base à utiliser sont:

$$\text{EUN} = 7,23 \text{ kg K}_2\text{O/ql}, \text{CUAK} = 44\%, \text{Fourniture} = 54,02 e^{0,04 \text{ Rdt}}$$

Proposition de formules régionales

Pour les agriculteurs ayant la possibilité de faire des analyses de sol, il est possible de calculer le plan de fumure à la carte en utilisant les normes présentées. Pour ceux qui ne peuvent pas encore faire les analyses de sol (la majorité), il est important de leur proposer des formules moyennes qui tiennent compte de la richesse moyenne des sols en éléments fertilisants.

Du fait que les résultats de ce projet ne montrent pas de relation entre la réponse du tournesol à l'azote et un indice de fertilité azotée (N minéral initial et matière organique) et que la majorité des sols sont très bien pourvus en potassium, c'est la richesse en phosphore qui sera le facteur discriminatoire.

Si l'ORMVAG dispose d'une base de données géo-référencée sur la fertilité phosphatée des sols, il est possible d'établir une carte montrant les zones où les sols présentent une teneur > 21,6 mg P₂O₅/kg et celles qui ont des valeurs plus faibles.

Pour les zones où la majorité des parcelles ont une teneur supérieur à 21,6 mg P₂O₅/kg, l'apport du phosphore n'est pas nécessaire. Etant donnée que la richesse en potassium est assurée, seul l'azote doit être apporté (**ZONE P+**).

Pour les zones où la majorité des parcelles ont une teneur inférieur à 21,6 mg P₂O₅/kg, en plus de l'azote, le phosphore doit être apporté (**ZONE P-**).

Formule 1: pour la zone P+

Pour un rendement moyen souhaitable de 40 qx/ha, la formule se réduit à l'apport de 120 kg N/ha. Il s'agit d'un équilibre [1N-0P-0K]. Cette quantité d'azote peut être apportée en couverture seulement au stade 4 à 6 feuilles. Ainsi, 2,5 quintaux d'urée ou 3,5 quintaux d'ammonitrate en couverture apporteront la totalité d'azote.

Formule 2: pour la zone P-

Pour un rendement moyen souhaitable de 40 qx/ha, les quantités d'engrais à apporter sont de 120 kg N/ha et 70 kg P₂O₅/ha (équilibre [1N-0,58P-0K]). Ainsi, l'apport de 1,5 quintaux de Di-Ammonium Phosphate (DAP: 18-46-0)/ha au semis apportera la totalité du phosphore et 1/4 (27 kg) de l'azote. Le reste de l'azote sera apporté en couverture au stade 4 à 6 feuilles sous formes 2 quintaux d'urée ou de 2,5 quintaux d'ammonitrate

Travail réalisé dans le cadre de la composante recherche adaptative du projet PSDA-ORMVAG, par collaboration entre l'IAV Hassan II et l'ENA Meknès.

Prof. Mohamed Badraoui (Coordinateur)

Prof. Mostafa Agbani

Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II

Prof. Rachid Bouabid

Ecole Nationale d'Agriculture de Meknès

Mr. Mustapha Zeraouli

Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Gharb

Tableau 8: Normes et données de base du calcul des doses d'engrais pour la fertilisation du tournesol en irrigué dans le Gharb

| Élément | Normes d'interprétation de l'analyse du sol | Efficacité d'utilisation (kg/ql) | Coefficient d'utilisation apparente (%) | Remarques |
|-----------|---|----------------------------------|---|--|
| Azote | Pas de norme | 3,47 | 53 | Fourniture du sol basée sur le rendement du témoin |
| Phosphore | 21,6 mg P ₂ O ₅ /kg | 0,67 | 21 | Valable seulement pour les sols Dehs et probablement les Tirs, Fourniture du sol basée sur le rendement du témoin |
| Potassium | 149 mg K ₂ O/kg | 7,23 | 44 | Les sols ont une grande capacité de libération du potassium, Grande majorité des sols ne nécessitent pas d'apport de potassium |