

La fertilisation azotée du blé en Tunisie: évolution et principaux déterminants

M. Annabi^{1*}, H. Bahri², O. Béhi³, D. Sfayhi¹ & H. Cheikh Mhamed¹

Keywords : Nitrogen fertilization- Wheat- Yield- Rainfall- Tunisia

Résumé

L'azote (N) est un élément essentiel pour la production des céréales. L'objectif de ce travail est d'étudier à partir des statistiques nationales l'évolution au cours du temps de l'utilisation des engrais azotés par la culture de blé en Tunisie et de relier cette utilisation aux rendements obtenus et à la pluviométrie. Les résultats ont montré que le blé est la culture la plus consommatrice en engrais minéraux azotés en Tunisie avec une moyenne de 51300 ± 19500 tonnes.N.an⁻¹ et une vitesse d'augmentation de cette consommation de 1600 tonnes.N.an⁻¹. Avant le semis, l'azote est apporté avec le phosphore sous forme de phosphate diammonique puis sous forme d'ammonitrate agricole au cours de la croissance de la culture. La quantité totale d'azote minéral apportée explique d'une façon significative les rendements en grains de blé ($p < 0,01$). L'apport de l'ammonitrate est variable en quantité, en fréquence et au niveau de la date d'application et ceci en relation avec les conditions climatiques, essentiellement la pluviométrie. Ainsi, une corrélation positive ($p < 0,01$) est notée entre le facteur partiel de productivité dû à l'engrais azoté et la pluviométrie totale durant le cycle de la culture du blé.

Summary

Wheat Nitrogen Fertilization in Tunisia: Trends and Main Determinants

Nitrogen (N) is essential for cereal production. The aim of this work is to study from the national statistics the evolution over time of nitrogen fertilizer use in wheat crop in Tunisia and to relate this consumption to wheat yields and to rainfall patterns. The results showed that wheat is the larger user of mineral nitrogen fertilizer in Tunisia with an average of 51300 ± 19500 tons.N.yr⁻¹ and an increase rate of 1600 tons.N.yr⁻¹. Nitrogen is provided as diammonium phosphate (DAP) before seeding and then as ammonium nitrate during the crop cycle. The total amount of mineral nitrogen spread contributes significantly to the wheat grain yield ($p < 0.01$). The spreading of ammonium nitrate is variable in quantity, frequency and date of application, and is highly influenced by annual climatic conditions, essentially the total amount of rainfall. A positive relationship ($p < 0.01$) was observed between partial factor productivity for N-fertilizer and the rainfall during wheat growing cycle.

Introduction

En Tunisie, l'augmentation de la production de blé passe impérativement par l'intensification des systèmes céréaliers puisque le potentiel d'extension des surfaces labourables est limité (3). L'utilisation des engrais minéraux se trouve en premier plan dans le processus d'intensification puisque ces derniers permettent une meilleure expression des génotypes végétaux à haut rendement contribuant ainsi pour presque la moitié de la production mondiale en grains (8).

Les plantes puisent l'azote dans le sol sous forme de nitrates ou d'ammonium (20). La quantité d'azote minéral fourni par les matières organiques

du sol est variable essentiellement en fonction du climat, du type de sol et des systèmes de cultures (17) et le recours aux apports d'engrais minéraux azotés est souvent nécessaire pour satisfaire les besoins des cultures (12, 20).

Durant les cinquante dernières années, l'utilisation des engrais azotés de synthèse en agriculture a progressé régulièrement ce qui a induit un accroissement significatif de la production végétale (12, 19). Ainsi, les quantités des engrais azotés utilisés dans le monde et en Afrique du Nord ont augmenté respectivement de 900% et de 650% entre 1960 et 2009 (7). L'urée étant l'engrais azoté le plus utilisé dans le monde (7).

1 INRAT, rue Hédi Karray Ariana, Tunisie.

2 INRGREF, rue Hédi Karray Ariana, Tunisie.

3 INAT, rue Charles Nicolle -Tunis- Mahrajène Tunisie.

* Auteur correspondant : .Email: mannabi@gmail.com..

Reçu le 14.02.12 et accepté pour publication le 03.05.13.

L'azote est disponible pour la plante rapidement après son application au sol. Cependant, l'efficacité de l'utilisation de l'azote par les cultures dépend d'autres facteurs de production, essentiellement la disponibilité de l'eau et des nutriments dans le sol et la présence des mauvaises herbes (12). En Tunisie, l'efficacité de l'utilisation de l'azote des engrais par les céréales est notoirement basse, moins de 30% (11, 13, 18), et toute amélioration de ce coefficient est importante vu les quantités importantes des engrais minéraux azotés utilisés en agriculture tunisienne.

L'objectif de ce travail est d'étudier l'évolution au cours du temps de l'utilisation des engrais minéraux azotés pour la culture de blé (blé dur et blé tendre) au niveau des différentes régions céréalières de la Tunisie et de mettre en relation cette utilisation aux rendements obtenus, à la pluviométrie ainsi qu'aux pratiques des agriculteurs

Origine et traitement des données

Les quantités d'engrais minéraux azotés utilisés pour la fertilisation de la culture du blé (blé dur et blé tendre), les superficies fertilisées par ces engrais, la répartition de ces quantités au cours du

cycle du blé ainsi que les rendements en grains récoltés ont été fournis par le ministère chargé de l'agriculture en Tunisie et ce depuis la campagne agricole 1979/1980. Les quantités d'engrais azotés fabriqués en Tunisie ou importés d'autres pays ont été fournies par le ministère tunisien chargé du commerce et de l'industrie.

Les données de la pluviométrie mensuelle de chaque gouvernorat ont été collectées des annales de l'Institut National de la Météorologie depuis 1979.

L'ensemble des données collectées ont été classées par grande région: la région Nord (gouvernorats de Tunis, Ariana, La Manouba, Ben Arous, Nabeul, Zagouhan, Bizerte, Béja, Jendouba, El Kef et Silana) est située au nord de la dorsale et est caractérisée par un climat subhumide à semi-aride (Figure 1), la région Centre (gouvernorats de Sousse, Mehdiya, Monastir, Kairouan, Sidi Bouzid, Sfax, Kasserine et Gafsa) est une région de steppes avec un climat semi-aride et la région Sud (gouvernorats de Gabès, Médenine, Tataouine, Kébili et Tozeur) est caractérisée par un climat aride.



Figure 1: Carte de la Tunisie avec les trois grandes régions (nord, centre et sud) et les principales isohyètes.

Résultats

Production du blé en Tunisie

En Tunisie, le blé dur occupe 85% des superficies totales destinées à la culture de blé qui sont de l'ordre de 925000 ± 125000 ha. Le blé tendre est l'autre espèce cultivée sur 134000 ± 30000 ha. La conduite culturale, notamment pour la fertilisation, est similaire pour ces deux espèces de blé.

Au Nord de la dorsale tunisienne, les superficies semées annuellement en blé sont quasi constantes (616000 ± 36000 ha) alors qu'une variation importante des superficies semées est observée au Sud de la dorsale (322000 ± 147000 ha) en raison de l'installation fréquente d'un déficit hydrique précoce dans cette région (15).

Le rendement national moyen du blé dur est de 14 ± 4 qx.ha⁻¹ alors que celui du blé tendre est de 16 ± 5 qx.ha⁻¹. Toutefois, ce rendement est plus élevé au Nord du pays ($18,4 \pm 3,8$ qx.ha⁻¹) qu'au Centre et au Sud ($11,3 \pm 4,7$ qx.ha⁻¹). Cette variation est due aux conditions bioclimatiques et culturales plus favorables au Nord qu'au Centre et au Sud du pays. Une progression significative ($r=0,730$; $p < 0,01$; $n=30$) du rendement en blé est observée depuis 1980, avec une vitesse de progression de $+0,34$ qx.an⁻¹.

Fabrication des engrais azotés en Tunisie

En 1983, le Groupe Chimique Tunisien (GCT) a installé une unité de fabrication d'ammonitrate (AN) à Gabès (Sud-Est de la Tunisie) dans le but de satisfaire le besoin national en engrais azotés et d'exporter environ 15000 tonnes.an⁻¹ d'ammonitrate poreux à usage non-agricole. L'ammoniac, qui est la matière première pour la fabrication de cet engrais, est totalement importé. Les quantités d'AN agricole produites sont de l'ordre de 150000 tonnes.an⁻¹. Une grande partie (60 à 100% selon les années) de ces quantités est utilisée sur les sols tunisiens qui reçoivent exclusivement ce type d'engrais azoté depuis la création de l'unité de production de Gabès jusqu'en 2006 lorsque cette unité a arrêté son activité pour des raisons de sécurité. A partir de cette date, le GCT a été obligé d'importer de l'urée et de l'ammonitrate-sulfate pour satisfaire les besoins nationaux. En 2009, l'usine de Gabès a repris sa production suite à l'amélioration des conditions de stockage et de distribution de l'AN.

En plus de la production d'AN, le GCT produit le diammonium phosphate (DAP) qui est un engrais binaire à base de P₂O₅ (46%) et de NH₄ (18%). Environ 80% de la production de cet engrais est

destinée à l'exportation. L'évolution des quantités d'AN agricole et du DAP commercialisées en Tunisie est illustrée dans la figure 2.

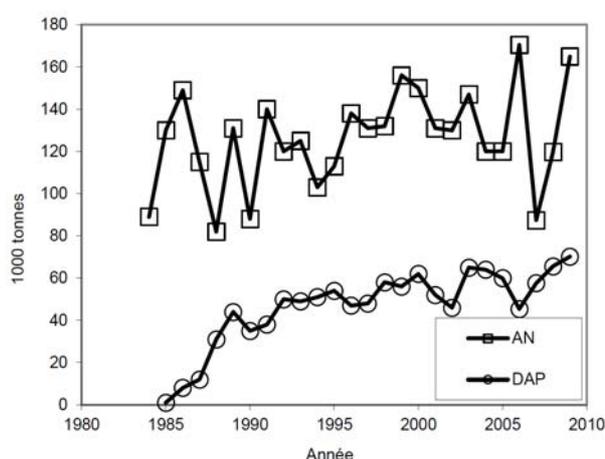


Figure 2: Evolution de la commercialisation en Tunisie de l'ammonitrate agricole (AN) et du diammonium phosphate (DAP) fabriqués par le GCT.s.

Utilisation des engrais azotés pour la culture du blé

Les champs de blé cultivés au Nord et au Centre de la Tunisie reçoivent deux formes d'engrais contenant de l'azote. Avant le semis (mi-novembre à mi-décembre), les agriculteurs apportent le DAP comme engrais de fond avec une dose moyenne de 150 kg ha⁻¹ (1). Cet apport de DAP est important pour un bon démarrage de la culture (effet starter). A l'échelle nationale, 55% des champs de blé reçoivent cet apport initial. La quantité d'azote provenant du DAP n'a pas varié depuis 1990 et elle est de l'ordre de 10000 ± 1000 tonnes N.an⁻¹ (Figure 3).

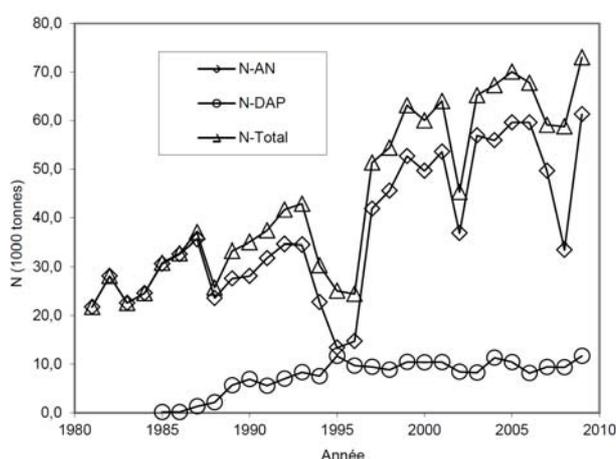


Figure 3: Evolution de la quantité d'azote minéral utilisé pour la culture du blé en Tunisie.

Au cours du cycle de la croissance du blé, l'azote est apporté sous forme d'engrais azoté simple, exclusivement sous forme d'AN (sauf en 2007 et 2008 où l'urée et l'ammonium sulfate ont substitué l'AN). Les quantités d'azote provenant de l'AN fluctuent d'une année à une autre. Elles varient entre 20000 tonnes N au début des années 1980 à plus que 60000 tonnes N dans les années 2000 (Figure 3).

En moyenne 51500 ± 19500 tonnes N sont utilisées durant chaque campagne agricole pour la fertilisation azotée du blé. Néanmoins, une augmentation significative de l'utilisation de l'azote pour la culture du blé est observée au cours du temps ($r=0,855$; $p<0,01$; $n=29$) avec une vitesse moyenne de $+1600$ tonnes $N.an^{-1}$ (Figure 3). Cette augmentation est due à l'utilisation de plus en plus importante des engrais azotés sur une superficie cultivée quasi-invariable.

Apports en fertilisants azotés sur les blés en Tunisie

Mis à part l'apport d'azote avant le semis sous forme de DAP, entre 75 et 100% des champs de blé au Nord et au Centre du pays reçoivent un premier apport d'engrais azoté sous forme d'AN (en moyenne de 30 kg N.ha^{-1} en pluvial) (Figure 4). Ce premier apport est appliqué au stade 3-6 feuilles, ce qui coïncide généralement avec le mois de janvier pour les années pluvieuses. Cet apport peut être retardé jusqu'à la fin du mois de février pour les années à faible pluviométrie automnale et hivernale. Dans la région du Centre, ce premier apport peut être totalement supprimé durant les années à pluviométrie automnale déficitaire.

La date du deuxième apport dépend des conditions climatiques, il est effectué au stade tallage qui

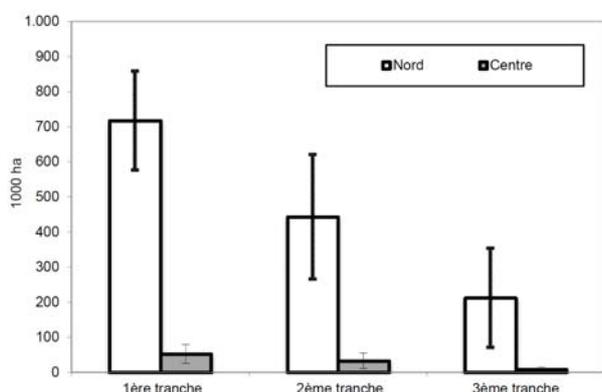


Figure 4: Superficie de terres cultivées en blé (au nord et au centre du pays) qui ont reçu les différentes fractions de fertilisation azotée.

coïncide généralement avec le début du mois de mars lorsque l'hiver est pluvieux et la fin-mars-début-avril lorsqu'un déficit hydrique s'installe durant l'hiver. Ce deuxième apport est appliqué à une dose recommandée de 40 kg N.ha^{-1} en pluvial et concerne en moyenne 70% et 20% des superficies en blé du Nord et du Centre de la Tunisie respectivement (Figure 4). Un troisième apport, à une dose moyenne de 30 kg N.ha^{-1} , est appliqué au stade montaison qui coïncide généralement avec fin-mars-début-avril et il concerne 40% et 10% des champs de blé respectivement au Nord et au Centre du pays. Ce troisième apport est annulé durant les années où le printemps est sec.

Discussion

Utilisation des engrais

En Tunisie, le secteur céréalier est le secteur agricole le plus consommateur en engrais minéraux azotés. En effet, 80% des engrais azotés sont destinés à la production des céréales, ce taux est de l'ordre de 60% à l'échelle mondiale (4).

En céréaliculture tunisienne, l'évolution de la consommation des engrais azotés a été plus rapide que celle des engrais phosphatés. En effet, si on ramène la consommation à l'unité d'azote consommée, le ratio N:P a évolué de 1:1,07 en 1981 à 1:0,52 en 2009. Cette même tendance est aussi observée à l'échelle mondiale (12). L'augmentation de l'utilisation de l'azote par rapport au phosphore est due (i) au faible coût par unité d'élément fertilisant de l'azote par rapport au phosphore (ii) à la réponse rapide des nouvelles variétés à l'azote minéral, et (iii) à la réduction des superficies des légumineuses et l'affranchissement des rotations.

L'apport d'azote minéral est variable selon les régions. L'azote est plus utilisé au Nord de la Tunisie par rapport au reste du pays en raison des conditions pluviométriques plus favorables à la culture du blé (Figure 1) et du niveau d'intensification plus important (3, 14).

Effet de la fertilisation azotée sur le rendement et relation avec la pluviométrie

L'importance de l'azote dans l'élaboration du rendement en terme de quantité et de qualité est largement établie (12, 13).

Ainsi, le rendement moyen national en grains de blé est positivement corrélé à la quantité totale d'azote apporté ($r=0,783$; $p<0,01$; $n=30$).

Le rapport entre le rendement par unité d'azote

minéral apporté, appelé facteur partiel de productivité dû à l'engrais azoté (FPPN) (4) est variable d'une année à une autre avec une tendance à la diminution au cours du temps (vitesse annuelle de $-0,46 \text{ kg blé.kg}^{-1} \text{ N}$). Sachant que la production de la matière sèche et du rendement en grain est corrélé avec l'absorption de l'azote (9), la diminution du FPPN suggère alors une baisse de l'efficacité de l'utilisation agronomique de l'azote apporté en supposant que les autres sources d'azotes sont constantes (minéralisation des matières organiques, dépôts atmosphériques).

En régime pluvial la pratique de la fertilisation azotée (date, dose) est généralement conditionnée par les événements pluvieux. Ainsi, l'apport de l'AN par les agriculteurs suit généralement une pluie efficace afin de favoriser la dissolution des granules d'AN et la répartition de l'azote dans la solution du sol (14, 20). Lorsque l'année est sèche, l'apport d'AN est retardé ou même supprimé pour des raisons essentiellement économiques et par crainte que cet élément aura des effets négatifs sur la culture si la pluviométrie est faible. Ainsi, une relation positive est observée entre le FPPN et la quantité de la pluie durant le cycle de la culture ($r=0,667$; $p<0,01$; $n=29$).

Raisonnement de la fertilisation azotée

Depuis les années 80, la fertilisation azotée du blé en Tunisie est basée sur les recommandations faites par les services de vulgarisation du ministère de l'agriculture (1). Cette dose est variable selon l'étage bioclimatique, elle est de 160 à 300 kg.ha^{-1} d'AN pour une pluviométrie variant de 300 à 600 mm (1). Le fractionnement de cette quantité recommandée est généralement conseillé soit sur deux apports (50% au stade 3-6 feuilles et 50% au stade tallage), soit sur trois apports (30% au stade 3-6 feuilles, 40% au tallage et 30% à la montaison).

Avec la création des laboratoires de recherche agricole au début des années 2000, et la création de l'institut national des grandes cultures (INGC), les recherches se sont dirigées vers l'amélioration du raisonnement de la fertilisation azotée et ceci en adoptant des techniques innovantes. Des brochures et des journées de vulgarisation se sont organisées pour présenter et expliquer les bases

de la méthode du bilan prévisionnel (10) comme moyen de calcul de la dose d'apport selon un objectif de rendement. De même, des outils de gestion de la fertilisation azotée en temps réel qui mesurent directement le statut azoté de la culture sont aussi vulgarisés afin de bien déterminer le moment adéquat des apports azotés. La méthode Bande Double Densité (BDD) (16) et le recours au chlorophyllomètre (5) sont maintenant recommandés pour le raisonnement de la fertilisation azotée du blé en Tunisie. Il est donc conseillé de piloter la fertilisation azotée à l'aide de la BDD jusqu'à son jaunissement ce qui indique une carence azotée et donc la nécessité d'apporter la première dose d'engrais azoté (30% de la dose globale) ensuite continuer le pilotage à l'aide du chlorophyllomètre avec des mesures hebdomadaires (2).

Conclusions

Les engrais azotés utilisés sur le blé sont totalement fabriqués en Tunisie par le GCT. Le DAP est apporté comme fumure de fond avec une dose moyenne de $18-27 \text{ kg N.ha}^{-1}$. L'AN est l'engrais azoté qui est apporté au cours du cycle de la culture. L'azote minéral apporté contribue d'une façon significative à la production nationale en grain de blé. Les doses, les dates et le nombre d'apports sont variables selon les conditions climatiques (plus favorables au Nord qu'au Sud). Le raisonnement de l'apport de l'AN se fait selon les recommandations zonales des services de vulgarisation agricoles puis modulé d'une façon arbitraire par les agriculteurs selon les conditions pluviométriques de l'année, d'où la relation significative observée entre FPPN et la pluviométrie durant le cycle du blé. Cependant, l'adoption par les agriculteurs de nouveaux outils de pilotage de la fertilisation azotée, est un challenge à réaliser en Tunisie afin d'améliorer l'efficacité d'utilisation de l'azote pour augmenter la productivité et limiter les pollutions dues à l'apport non raisonné des engrais azotés.

Remerciements

Nos remerciements vont aux différentes directions du ministère de l'agriculture tunisien pour leur aide durant la collecte des données.

Références bibliographiques

1. Anonyme, AVFA: Agence de Vulgarisation et de Formation Agricole, 2011, *La fertilisation des céréales. Brochure de vulgarisation*. <http://www.avfa.agrinet.tn>, (01/12/11).
2. Ben Haj Salah H., Ben Ali O., Behi O. & Latiri K., 2005, *Use of chlorophyll-meter to detect early nitrogen deficiencies of durum wheat in Tunisia*. 14th Nitrogen Workshop, October 2005, Maastricht.
3. BM: Banque mondiale, 2006, *Tunisie: Examen de la*

- politique agricole: Eau, Environnement, Développement social et rural*. Rapport N° 35239-TN, 108 p.
4. Cassman K.G., Dobermann A. & Walters D., 2002, Agroecosystems, nitrogen use efficiency, and nitrogen management. *Ambio*, **31**, 132-140.
 5. Denuit J.P., Olivier M., Goffaux M.J., Herman J.C., Goffart J.P., Destain J.P. & Frankinet M., 2002, Management of nitrogen fertilization of winter wheat and potato crops using the chlorophyll meter for crop nitrogen status assessment. *Agronomy*, **22**, 847-853.
 6. Dreccer M.F., van Oijen M., Schapendonk A.H., Pot C.S. & Rabbinge R., 2000, Dynamics of vertical nitrogen distribution in a vegetative wheat canopy. Impact on canopy photosynthesis. *Ann. Bot.*, **86**, 821-831.
 7. FAO, 2011, *Base de données statistiques*. <http://faostat.fao.org>, (01/12/11).
 8. IAASTD, 2009, *in*: McIntyre, B.D., Herren, H.R., Wakhungu, J., Watson, R.T. (Eds.), International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development: *Global Report*. Island Press, 590 p.
 9. Juste E., Mary B., Meynard J.M., Machet J.M. & Thelier-Huche L., 1994, Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter wheat crop. *Ann. Bot.*, **74**, 397-407.
 10. Hebert J., 1969, La fumure azotée du blé d'hiver. *Bull. Tech. Inf.*, **244**, 755-766.
 11. Kopp E., 1976, Potentiel de production dans la région semi-aride de la haute vallée de la Medjerda tunisienne. *Ann. INRAT*, **49**, 356 p.
 12. Ladha J.K., Pathak H., Krupnik T.J., Six J. & van Kessel C., 2005, Efficiency of fertilizer nitrogen in cereal production: retrospects and prospects. *Adv. Agron.*, **87**, 85-156.
 13. Latiri K., Nortcliff S. & Lawlor D.W., 1998, Nitrogen fertilizer can increase dry matter, grain production and radiation and water use efficiencies for durum wheat under semi-arid conditions. *Eur. J. Agron.*, **9**, 21-34.
 14. Latiri K., 2000, Conditions climatiques, production et fertilisation azotée. *In*: Durum wheat improvement in the Mediterranean region: new challenges. *Options Mediterr.*, **40**, 591-593.
 15. Latiri K., Lhomme J.P., Annabi M. & Setter T., 2010, Wheat production in Tunisia: progress, inter-annual variability and relation to rainfall. *Eur. J. Agron.*, **33**, 33-42.
 16. Limaux F., Meynard J.M. & Recous S., 2001, Déclencher la fertilisation azotée du blé: le témoin «double densité». *Perspectives Agricoles*, **273**, 62-70.
 17. Ryan J., Ibrikci H., Sommer R. & McNeill A., 2009, Nitrogen in rainfed and irrigated cropping systems in the Mediterranean region. *Adv. Agron.*, **104**, 53-136.
 18. Sboui T., M'hiri A., Sanaâ M. & Van Cleemput O., 1997, Efficacité des engrais azotés sur le blé après deux années sèches. *Revue de l'INAT*, **12**, 21-35.
 19. Tilman D., Cassman K.G., Matson P., Naylor R. & Polasky S., 2002, Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, **418**, 671-677.
 20. Tisdale S.L., Nelson W.L., Beaton J.D. & Havlin J.L., 2003, *Soil Fertility and Fertilizers*. 5th Ed. Prentice Hall of India, 634 p.

M. Annabi, Tunisien, Docteur en sciences agronomiques de Agro-Paris-Tech, France. Chargé de Recherche à l'Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie.

H. Bahri, Tunisien, Docteur en Sciences Environnementales de l'Université Paris 6, France. Chargé de Recherche à l'Institut National de la Recherche en Génie Rural, Eaux et Forêts, Tunisie.

O. Béhi, Tunisien, Docteur en Génie des procédés, Université Montpellier 2, France. Enseignant à l'Institut National Agronomique de Tunisie, Tunisie.

D. Sfayhi, Tunisienne, Docteur en technologie et procédés alimentaires, Institut National Polytechnique de Lorraine, France. Chargé de Recherche à l'Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie.

H.Cheikh Mhamed, Tunisie, Doctorant en sciences agronomiques. Attaché de Recherche à l'Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie.