

# Magnésium: Composante Oubliée de la Production Agricole

Par Ismail Cakmak et Atilla M. Yazici

La nutrition des plantes en magnésium est un facteur souvent négligé, pourtant, les carences en magnésium ont de graves conséquences sur la croissance de la plante. Plusieurs fonctions essentielles de la plante ont besoin d'un apport suffisant en magnésium; son rôle est particulièrement visible dans la photosynthèse et dans la formation des racines et de la chlorophylle. Plusieurs autres réactions moins visibles sont également dépendantes d'un apport suffisant en magnésium. Cet article résume quelques uns des rôles essentiels que joue le magnésium dans le développement de la plante.

Le magnésium participe à un certain nombre de fonctions clés de la plante. Parmi les réactions et les processus métaboliques spécifiques influencés par le magnésium figurent notamment: 1) la photophosphorylation (formation d'ATP dans les chloroplastes, par exemple), 2) la fixation photosynthétique du dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ), 3) la synthèse des protéines, 4) la formation de la chlorophylle, 5) le chargement du phloème, 6) la répartition et l'utilisation des photoassimilats, 7) la génération d'espèces réactives de l'oxygène, et 8) la photooxydation dans les tissus de la feuille. Par conséquent, de nombreux processus physiologiques et biochimiques essentiels de la plante sont affectés de manière négative en cas de carence en magnésium, d'où une baisse de la croissance et du rendement. Dans la plupart des cas, le magnésium participe aux processus métaboliques en activant un grand nombre d'enzymes. Une des principales enzymes activées par le magnésium est la ribulose-1,5-bisphosphate (RuBP) carboxylase, qui est une des enzymes clés du processus de la photosynthèse et aussi l'enzyme la plus abondante sur terre.

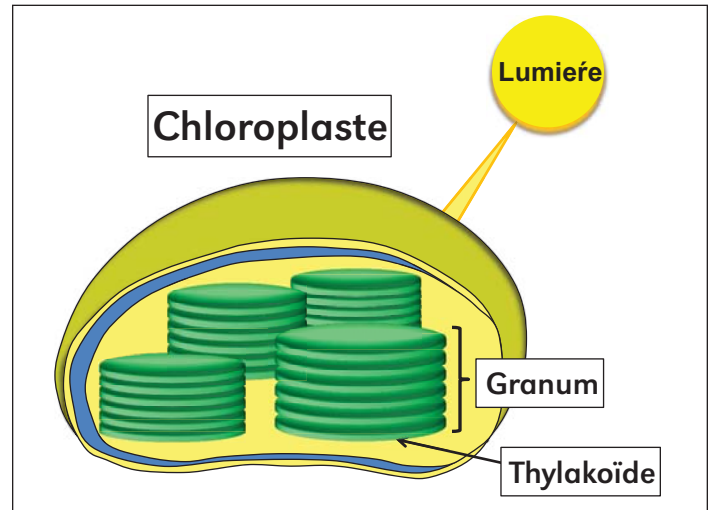
Un des symptômes les plus typiques du stress dû à la carence en magnésium (**Figure 1**) est un jaunissement des



**Figure 1.** Symptômes d'une carence en magnésium sur des feuilles de haricot commun, à gauche.

feuilles sous forme de chlorose internervaire sur les feuilles les plus anciennes. Les études montrent que jusqu'à 35 % de la quantité totale du magnésium présent dans la plante est fixé dans les chloroplastes (**Figure 2**). Toutefois, l'apparition des symptômes de la carence en magnésium dépend fortement de l'intensité lumineuse. Une forte intensité lumineuse favorise

Abréviations: Mg = magnésium; N = azote; P = phosphore; K = potassium; Al = aluminium; Ca = calcium; ATP = adénosine triphosphate.



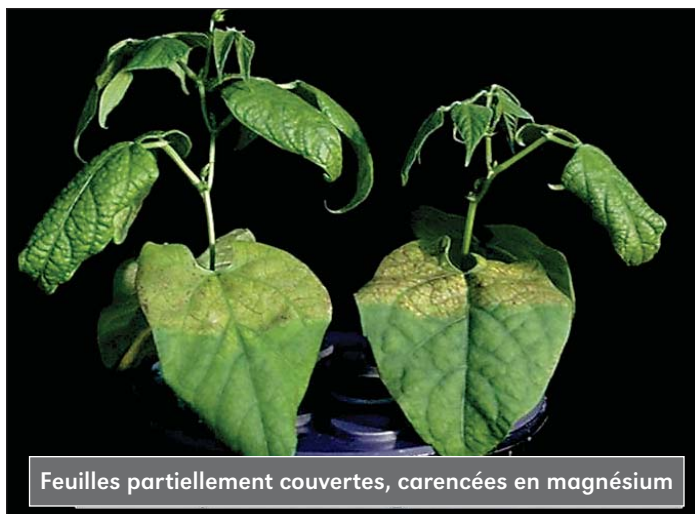
**Figure 2.** Les chloroplastes sont les organites qui abritent les thylakoïdes, ces compartiments remplis de magnésium, dans lesquels l'énergie de la lumière est convertie en énergie chimique par photosynthèse.

le développement de la chlorose internervaire accompagné de l'apparition de quelques points rougeâtres sur le limbe de la feuille (**Figure 3**). Il est donc possible que les différences constatées entre les espèces de plantes, au niveau de l'expression des symptômes visuels de la carence en magnésium et au niveau des concentrations importantes de cette carence dans les tissus de la feuille, soient liées à l'intensité lumineuse dans un environnement de croissance particulier.

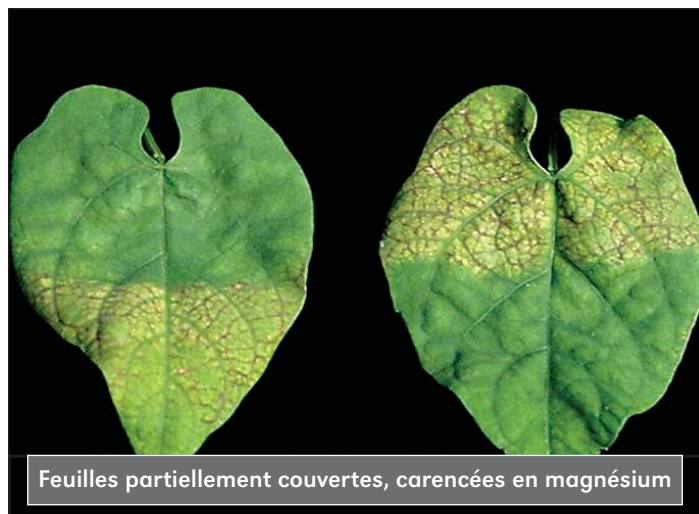
Il a été établi que les dommages subis par les feuilles des plantes carencées en magnésium et exposées à une forte intensité lumineuse favorisent la production d'espèces hautement réactives à l'oxygène dans les chloroplastes, au détriment de la fixation photosynthétique du  $\text{CO}_2$ . Les plantes cultivées dans des conditions de forte intensité lumineuse semblent avoir des besoins en magnésium plus importants que les plantes cultivées sous une intensité lumineuse plus faible.

## La carence en magnésium: un problème croissant

Malgré le rôle bien connu que joue le magnésium dans plusieurs fonctions essentielles, étonnamment peu d'études sont menées sur l'impact de l'apport en magnésium sur la qualité et la production des cultures. C'est à ce titre que le magnésium est souvent considéré comme une "composante oubliée". Pourtant, le caractère limitant de la carence en magnésium prend de plus en plus d'importance dans les systèmes de culture intensifs, particulièrement sur les sols fertilisés uniquement en N, P et K. L'appauvrissement des sols en magnésium est de plus en plus préoccupant pour l'agriculture intensive.



Feuilles partiellement couvertes, carencées en magnésium



Feuilles partiellement couvertes, carencées en magnésium

**Figure 3.** Symptômes d'une chlorose des feuilles sur des plants de haricot carencés en magnésium, cultivés sous une forte intensité lumineuse. La partie verte des feuilles a été partiellement recouverte de papier filtre. Avec un apport suffisant en magnésium, la luminosité élevée n'a pas entraîné de chlorose des feuilles (Cakmak and Kirkby, 2008).

Étant donné la propension du magnésium au lessivage dans les sols fortement exposés aux intempéries et son interaction avec l'aluminium (Al), la carence en magnésium est un problème crucial dans les sols acides. Parmi les mécanismes d'adaptation des plantes aux sols acides bien décrits par les scientifiques, il y a notamment un mécanisme qui consiste à libérer des anions d'acides organiques par les racines. Les anions d'acides organiques libérés par les racines vont chélater les ions d'aluminium toxiques et former des complexes Al-acide organique qui ne sont plus phytotoxiques. On sait que la présence de magnésium est indispensable pour permettre une libération efficace d'anions d'acides organiques par les racines, pour modifier une rhizosphère Aluminotoxique (Yang et al., 2007). Comme le magnésium, le calcium joue un rôle important dans l'atténuation de la toxicité aluminique dans les sols acides. Mais, alors que le magnésium assure une protection contre l'aluminotoxicité à une dose micromolaire, le calcium atteint péniblement son rôle de protection à des concentrations millimolaires (Silva et al., 2001). Le magnésium présente donc des avantages certains pour protéger les plantes contre la toxicité de l'aluminium.

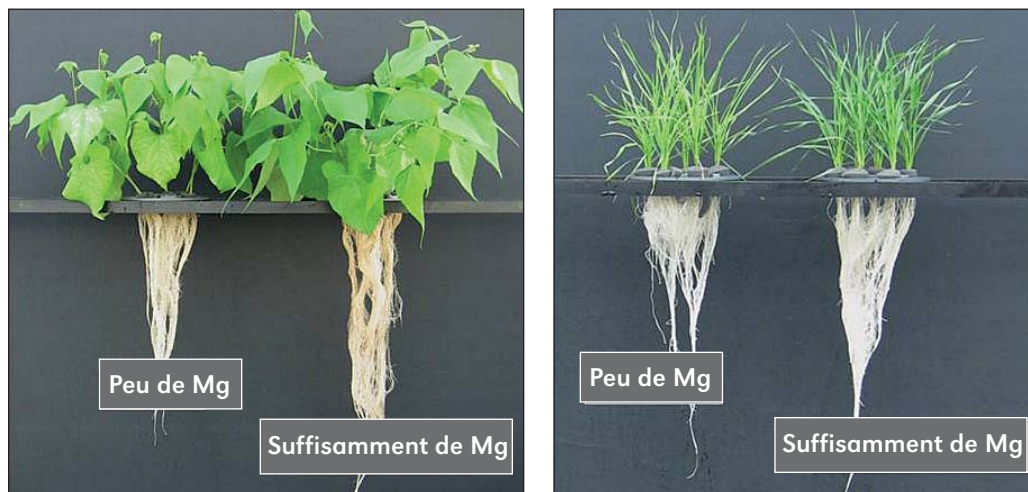
### Réaction précoce à une carence en magnésium

Au vu des différents rôles du magnésium dans les plantes, il est intéressant de savoir quelle est la première fonction ou structure affectée en cas de carence en magnésium. Autrefois, la réponse était en général, le niveau de chlorophylle, ou la photosynthèse, ou la synthèse des protéines. Comme nous le voyons dans la brève analyse ci-dessous, quelques études précédemment publiées, par Cakmak et al. (1994) sur le haricot commun, par Hermans et al. (2004) sur la betterave sucrière et par Hermans et Verbruggen (2005) sur

l'Arabidopsis, apportent une réponse claire et convaincante à cette question.

Hermans et al. (2004) ont cultivé des betteraves sucrières avec apport faible et avec apport normal en magnésium, puis ils ont analysé: 1) la croissance des plantes, 2) la fixation photosynthétique du CO<sub>2</sub>, 3) les concentrations en chlorophylle, 4) le transport photosynthétique d'électrons et 5) la concentration foliaire en saccharose. Les résultats obtenus sont clairs: alors qu'aucun changement visible ou significatif n'avait encore été enregistré pour les quatre premières mesures, les chercheurs ont constaté une forte accumulation de saccharose dans les feuilles totalement déployées des plantes présentant une carence en magnésium. Les feuilles carencées en magnésium avaient accumulé jusqu'à 4 fois plus de saccharose que les feuilles correctement alimentées en magnésium, ce qui indique une forte inhibition du transport du saccharose hors des feuilles carencées en magnésium.

Cakmak (1994 a, b) a étudié le rôle de la nutrition en magnésium dans: 1) la croissance des pousses et des racines, 2) la concentration et la distribution des glucides dans les racines et les pousses, et 3) le transfert du saccharose par le



**Figure 4.** Croissance de plants de haricot commun (à gauche) et de blé (à droite) avec un apport faible et suffisant en magnésium.

phloème dans des plants de haricot. Les résultats ont montré une inhibition prononcée de la croissance des racines avant qu'un quelconque changement n'apparaisse au niveau de la croissance des pousses et de la concentration en chlorophylle. En conséquence, pour les plants de haricot comme pour les plants de blé, le ratio feuille/racine augmentait dans les plantes carencées en magnésium (Figure 4). Cet impact négatif précoce de la carence en magnésium sur la croissance des racines, avant toute apparition de chlorose sur les feuilles, est un problème crucial pour les cultivateurs étant donné l'importance d'un bon développement racinaire pour la production. Une attention particulière doit donc être portée au statut nutritionnel des plantes en magnésium avant tout développement visible d'un quelconque symptôme de carence.

L'accumulation des glucides dans les feuilles est un phénomène courant dans les plantes carencées en magnésium. Cakmak (1994 a, b) a découvert, qu'au début de la carence en magnésium et dans les cas de carence sévère, les feuilles les plus anciennes contiennent respectivement 3,5 fois et 9 fois plus de saccharose, comparativement à des plantes ayant reçu un apport suffisant en magnésium. Les feuilles carencées en magnésium contiennent également une quantité importante d'amidon et moins de sucres. Dans les plants de haricot ayant reçu un faible apport en magnésium pendant 12 jours, seul 1 % de la totalité des glucides de la plante a été retrouvé dans les racines, alors que ce résultat s'élève à 16 % dans les plantes ayant bénéficié d'un apport suffisant en magnésium. Tous ces résultats indiquent clairement une forte inhibition du transport des sucres par le phloème hors des feuilles carencées en magnésium.

Du phloème a été prélevé sur les plants de haricot étudiés (avec apport faible ou suffisant de magnésium), afin d'étudier le rôle de l'apport en magnésium sur le transport du saccharose hors de la feuille. La carence en magnésium avait eu pour conséquence une inhibition sévère et très précoce du transport du saccharose dans le phloème (Figure 5). Une relation inverse entre la concentration de saccharose dans les tissus de la feuille et le taux d'exportation de saccharose dans le phloème a été constatée pendant les 12 jours de déficit en magnésium. L'effet inhibiteur de la carence en magnésium sur le transport du saccharose dans le phloème s'est produit avant qu'un quelconque effet négatif n'ait été constaté sur la croissance des pousses. Il a suffi de rétablir un apport suffisant en magnésium aux plantes carencées, pour que le transport du saccharose dans le phloème reprenne normalement dans un délai de 12 heures.

Ces résultats suggèrent très fortement que l'effet du magnésium sur le transfert du saccharose vers le phloème est bien spécifique et non pas associé à un quelconque effet secondaire. Le mécanisme par lequel la carence en magnésium affecte le chargement en saccharose du phloème n'est pas encore parfaitement expliqué, mais il semble être lié aux faibles teneurs en complexe ATP-Mg au niveau des sites de chargement du phloème. On estime généralement que l'ATP-Mg est nécessaire au bon fonctionnement de l' $H^+$ -ATPase, une enzyme qui fournit de l'énergie au processus de chargement du phloème et qui entretient le transport du saccharose dans les cellules du phloème.

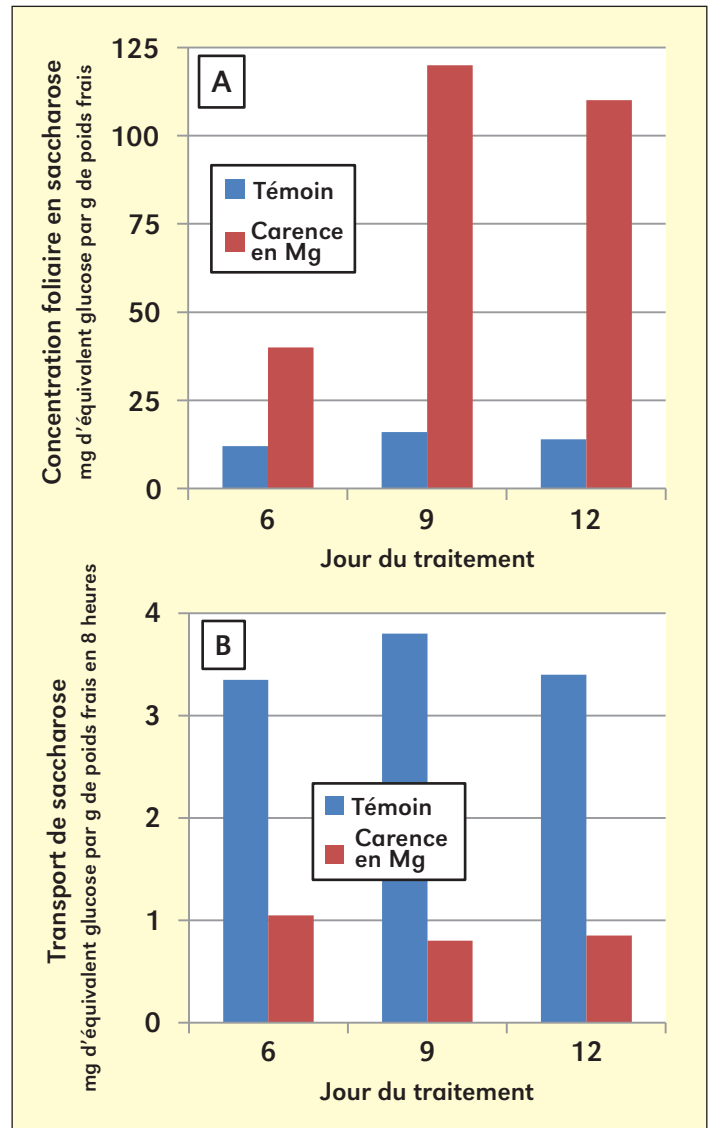


Figure 5. Concentration foliaire en saccharose (A) et niveau de transport du saccharose (B) dans des plants de haricots cultivés avec un apport Mg suffisant (contrôle) ou carence Mg pendant 12 jours (Cakmak et al., 1994b).

### Gravité de la carence précoce en magnésium dans la pratique

L'accumulation de glucides associée à l'inhibition du transport du saccharose dans le phloème des feuilles carencées en magnésium montre combien il est important d'assurer un bon apport en magnésium pendant les périodes de transport intensif de glucides entre les feuilles et les cellules en pleine croissance. Un apport suffisant en magnésium est indispensable pour maximiser le transport des sucres dans les organes puits (tels que les racines et les graines), pour favoriser des rendements élevés. Il est également très important de garantir un apport suffisant en magnésium à la fin de la croissance, afin de minimiser la production d'espèces réactives de l'oxygène toxiques et les dommages dans les chloroplastes dus à la photo-oxydation. L'application de magnésium en fin de saison, par fertilisation ou pulvérisation foliaire, peut s'avérer utile dans certains cas. Le mauvais développement racinaire qui résulte de la carence en magnésium peut également avoir un


impact important sur l'assimilation des nutriments minéraux et de l'eau, particulièrement dans des conditions de sols à faible rendement.

La production d'énergie renouvelable issue de la biomasse végétale est une alternative croissante et prometteuse à l'énergie fossile. Mais la productivité de ces systèmes dépend directement des éléments suivants: 1) capacité des plantes à convertir le CO<sub>2</sub> en carbone organique (C) par photosynthèse, 2) transfert du C assimilé depuis les organes sources vers les organes puits, et 3) utilisation du C assimilé dans les organes puits pour la croissance. Toutes ces étapes sont contrôlées particulièrement par le magnésium. Il faut donc faire attention au statut nutritionnel en magnésium des plantes destinées à la production de biocarburants, si l'on veut atteindre un bon niveau de production de biomasse et une bonne répartition du C assimilé dans les organes souhaités (les graines ou les racines, par exemple).

Le rôle essentiel que joue le magnésium dans la formation de la chlorophylle et dans la photosynthèse est connu depuis longtemps, mais de plus en plus d'études montrent que les organes puits (tels que les racines en croissance et les graines en développement) sont également fortement affectés en cas de carence en magnésium. Le magnésium est trop longtemps

resté un élément oublié de la production agricole, à présent son rôle vital est de plus en plus reconnu dans la nutrition des végétaux.

## Remerciements

Une partie des résultats présentés dans cet article a été obtenue avec la collaboration de K+S KALI GmbH (Kassel, Allemagne). 

*Le Dr Cakmak (cakmak@sabanciuniv.edu) et le Dr Yazici travaillent au département des techniques et des sciences naturelles de l'Université Sabanci, Istanbul, Turquie.*

## Références

- Cakmak, I., C. Hengeler, and H. Marschner. 1994a. J. Exp. Bot. 45:1245-1250.  
Cakmak, I., C. Hengeler, and H. Marschner. 1994b. J. Exp. Bot. 45:1251-1257.  
Cakmak, I. and E.A. Kirkby. 2008. Physiol. Plant. 133:692-704.  
Hermans, C. and N. Verbruggen. 2005. J. Exp. Bot. 56:2153-2161.  
Hermans, C., G.N. Johnson, R.J. Strasser, and N. Verbruggen. 2004. Planta 220:344-355.  
Silva, I.R., T.J. Smyth, D.W. Israel, C.D. Raper, and T.W. Ruffy. 2001. Plant Cell Physiol. 42:538-545.  
Yang, J.L., J.F. You, Y.Y. Li, P. Wu, and S.J. Zheng. 2007. Plant and Cell Physiol. 48: 66-74.



**BETTER CROPS**  
WITH PLANT FOOD

A Publication of the International Plant Nutrition Institute (IPNI) 2010 Number 2

**In This Issue...**

How K Nutrition Can Suppress Soybean Aphids 

Integrating Crops and Tropical Pastures in Brazil 

Zinc-Enriched Urea for Aromatic Rice in India 

**Also:**  
Managing N in Irrigated Cropping Systems

...and much more

  
www.ipni.net

Reprinted and translated from *Better Crops with Plant Food*, Vol. 94, Issue No. 2, 2010 #11115

For more information, contact:



International Plant Nutrition Institute  
3500 Parkway Lane, Suite 550  
Norcross, GA U.S.A. 30092-2844  
Phone: 770-447-0335  
www.ipni.net e-mail: info@ipni.net