

vision CULTURES



Fertilisation en soufre des cultures

Mark Jeschke, Ph.D.1, Keith Diedrick, Ph.D.2, et Matt Clover, Ph.D.3

RÉSUMÉ

- Le soufre est un nutriment essentiel en production de cultures. Souvent, en importance, il suit l'azote, le phosphore et le potassium.
- Les déficiences en soufre résultent du prélèvement accru dû aux rendements plus élevés des cultures, combiné à une réduction de la quantité reçue par déposition atmosphérique et autres sources.
- Les sols sablonneux et pauvres en matière organique sont les plus exposés au risque de carence en soufre.
- Les plantes absorbent le soufre sous forme de sulfate, un anion mobile dans le sol. Il est susceptible d'être perdu par lessivage ou volatilisation, tout comme le nitrate.
- La luzerne et le canola requièrent des quantités relativement élevées de soufre (tableau 2). Ces cultures sont plus susceptibles d'avoir besoin d'un supplément de soufre, particulièrement si elles sont cultivées sur sols sableux.
- Le maïs et le soya ne répondent pas toujours au fertilisant contenant du soufre. Toutefois, les réponses en rendement peuvent être substantielles lorsque le soufre manque.
- Des études récentes ont révélé une fréquence accrue de réponses positives du rendement à la fertilisation au soufre dans le maïs.

INTRODUCTION

Le soufre est un des seize éléments essentiels en agriculture. Typiquement, on le considère comme un macronutriment secondaire avec le calcium et le magnésium. Toutefois, il est essentiel pour obtenir le rendement et la qualité maximum. Concernant l'importance pour la productivité de la culture, souvent, le soufre est classé immédiatement derrière l'azote, le phosphore et le potassium. Le soufre est un composant des acides aminés cystéine et méthionine. Il joue donc un rôle essentiel dans la synthèse des protéines des plantes. Les plantes contiennent une grande variété d'autres composés organiques contenant du soufre comme la glutathion, le sulfolipides et les composés secondaires sulfurés. Tous jouent un rôle important dans la physiologie et dans la protection contre le stress environnemental et les parasites.

Historiquement, sur la majorité des sols, la fertilisation en soufre n'a pas présenté de problème. Cela vient du fait que les sources suivantes ont toujours subvenu aux besoins en soufre des cultures : la matière organique du sol, les dépositions par l'atmosphère, les applications de fumier et le soufre lié aux fertilisants. Toutefois, la contribution réduite de ces facteurs, combinée à l'augmentation des besoins en soufre par des

rendements accrus fait que les déficiences en soufre sont plus communes.



Le jaunissement entre les nervures des feuilles est un symptôme de carence en soufre dans le maïs.

Éléments essentiels à la culture

Fournis par l'air et par l'eau : carbone, hydrogène, oxygène

Macronutriments primaires : azote, phosphore, potassium

Macronutriments secondaires : soufre, calcium, magnésium

Micronutriments : bore, chlore, cuivre, fer, manganèse, molybdène, zinc

SOURCES DE SOUFRE

Matière organique

Le soufre peut être présent dans le sol sous plusieurs formes organiques et inorganiques. Habituellement, dans des sols agricoles bien drainés, le soufre organique compte pour 95 % du soufre total. Ce ratio peut fluctuer grandement selon le type de sol. Le soufre organique est transformé en soufre inorganique par minéralisation. Cela le rend accessible aux plantes. Dans les sols non fertilisés, le soufre issu de la minéralisation est la principale source de ce minéral pour les plantes. Le contenu en

soufre de la matière organique influence grandement la quantité de soufre disponible à la culture par minéralisation. Annuellement, un pour cent de la matière organique fournira environ deux à trois livres de soufre assimilable.

Les processus microbiens responsables de la minéralisation du soufre dépendent grandement des conditions du sol. Les sols chauds et humides se prêtent beaucoup mieux à l'activité microbienne que les sols froids et saturés d'eau. Les semis hâtifs dans des sols plus froids peuvent réduire la disponibilité du soufre en début de croissance. Il peut en résulter des symptômes de carence en soufre au début de la saison de croissance. Ils finiront par disparaître à mesure que le soufre devient plus disponible en raison de l'activité microbienne accrue au fur et à mesure que les sols se réchauffent.

Comme le nitrate, le sulfate est un anion. Cela le rend mobile dans le sol et sujet à des pertes par lessivage. Des pluies fréquentes peuvent entraîner le sulfate vers le bas du profil du sol. À ce point, il devient inaccessible aux plantes, particulièrement celles avec petites racines peu profondes. Dans les sols saturés, le sulfate peut être réduit en sulfure d'hydrogène et se perdre dans l'atmosphère.

Minéraux du sol

Habituellement, dans la plupart des sols cultivés, le soufre inorganique contenu dans les minéraux du sol est beaucoup moins abondant que le soufre d'origine organique. Cependant, les formes inorganiques réduites comme les sulfures peuvent constituer une source importante de soufre dans les sols où ils sont contenus dans le matériau parental. Les composés de soufre réduits doivent être oxydés en sulfate par les microorganismes du sol ou par des processus chimiques. Par la suite, ils deviennent assimilables par les cultures.

Dépôt atmosphérique

Malgré une foule d'effets négatifs, à certains endroits, la pollution industrielle a fourni à l'agriculture, une source de soufre. Le soufre atmosphérique provient surtout de l'utilisation des combustibles fossiles. Ces émissions peuvent parcourir de longues distances dans l'atmosphère. Souvent, les précipitations les déposent sous forme de dioxydes de soufre ou comme sulfates. Les efforts de contrôle de la pollution ont grandement réduit la quantité de soufre émis et celle du soufre atmosphérique déposé. Ce changement a été plus marqué dans les régions de l'Est des É.-U. (Figure 1) et du Canada là où fut un temps les émissions industrielles fournissaient de grandes quantités de soufre au sol. Peu de changements sont survenus dans les états et les provinces de l'Ouest où l'apport atmosphérique n'a jamais été une source substantielle de soufre.

Fumier

Pour les sols, les applications de fumier peuvent être une importante source de soufre. En majorité, les fumiers d'animaux contiennent de 0,25 à 0,30 % de soufre. Toutefois, les fumiers de moutons et de poules en contiennent davantage (0,35 et 0,50 % respectivement). Les diminutions du nombre d'entreprises en production animale dans beaucoup de régions ont éliminé cette source de soufre.

Eau d'irrigation

L'eau d'irrigation peut être une importante source de soufre en production agricole. Dans certains cas, elle fournit assez de soufre pour satisfaire les besoins de la culture. Toutefois,

les sources d'eau peuvent afficher de grandes différences quant à leur contenu en sulfate. Les producteurs devraient analyser leur source d'approvisionnement pour en déterminer la concentration en soufre.

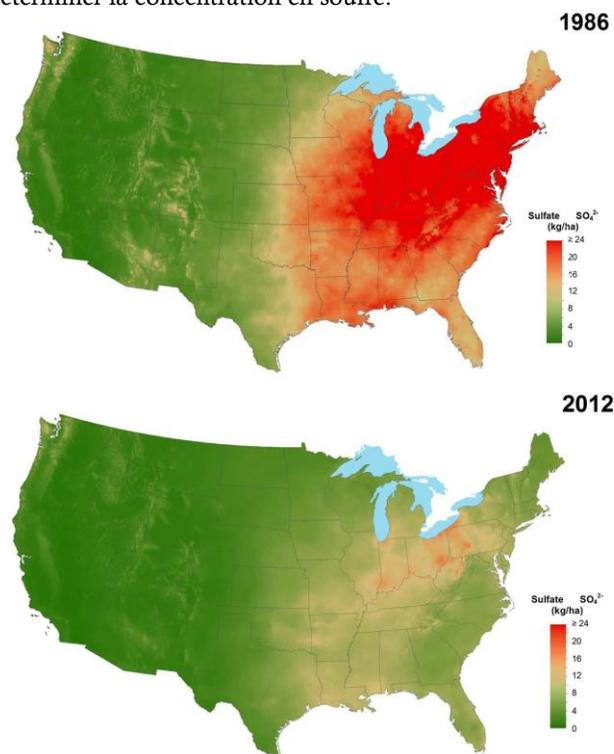


Figure 1. Apport atmosphérique annuel moyen de sulfate par les précipitations, 1986 (en haut) par rapport à 2012 (ci-haut).

(Référence : Programme national sur les dépôts atmosphériques)

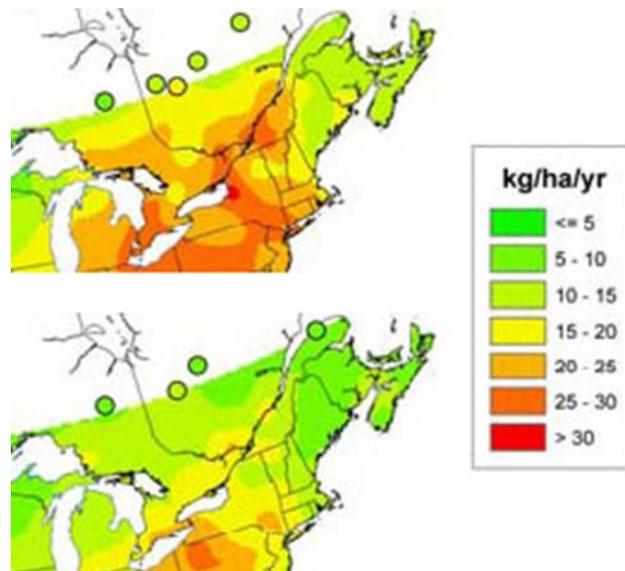


Figure 2. Apport atmosphérique annuel moyen de sulfate provenant des précipitations dans l'est du Canada, 1990-1994 (en haut) par rapport à 2000-2004 (ci-haut).

(Référence : Rapport d'étape 2006-2007, Stratégie pancanadienne sur les émissions acidifiantes après l'an 2000.)

Fertilisants

L'utilisation accrue de fertilisants plus raffinés a diminué la quantité de soufre lié appliqué aux cultures. Certains fertilisants plus vieux contenaient une quantité substantielle de soufre comme sous-produit du procédé de fabrication. Par exemple, le superphosphate simple (0-20-0) contenait entre 11 et 12 % de soufre en plus du phosphore, alors que le nouveau superphosphate triple (0-46-0) en contient moins de 3 %.

Tableau 1. Contenu en soufre de plusieurs fertilisants communs. (Dick et al. 2008)

Fertilisant	N-P-K	S
	-----%-----	
Soufre élémentaire	0-0-0	88-98
Thiosulfate d'ammonium	12-0-0	26
Sulfate d'ammonium	21-0-0	24
Sulfate de potassium et magnésium	0-0-18,2	22
Sulfate de calcium (gypse)	0-0-0	18
Sulfate de potassium	0-0-41,5	18
Sulfate de magnésium	0-0-0	14
Superphosphate simple	0-20-0	11-12
Phosphate de monoammonium co-granulé + soufre	12-40-0	6,5-10

Le contenu en soufre de plusieurs fertilisants communs est indiqué en tableau 1. Les fertilisants qui contiennent du soufre en fournissent sous une forme facilement assimilable par les plantes. Ils peuvent être utilisés pour corriger rapidement une déficience en soufre. Comme élément pur, le soufre doit être oxydé dans le sol avant que la plante l'assimile. Cela accroît le temps requis pour qu'il soit disponible. Toutefois, il fournit du soufre à libération lente qui est moins susceptible aux pertes par lessivage que les sulfates provenant des fertilisants.

Le taux d'oxydation du soufre élémentaire est influencé par le type d'engrais et les facteurs environnementaux. La taille des particules et le pourcentage de soufre du granulé d'engrais influencent le taux d'oxydation. En général, plus la taille des particules est petite, plus la teneur en soufre de l'engrais est faible, plus cette source de soufre s'oxyde rapidement. L'oxydation étant un processus biologique, la température, l'humidité, le pH et le pourcentage de matière organique du sol influencent également le taux d'oxydation. Les taux d'oxydation sont plus rapides dans les sols chauds, humides, alcalins et riches en matières organiques.

Certains fertilisants ont le potentiel d'abaisser le pH. Spécialement ceux à base de soufre et de phosphore combinés aux fertilisants ammoniacaux basés sur l'azote,

comme le sulfate d'ammonium, le phosphate monoammoniacal (MAP) et le phosphate biammoniacal (DAP). Le procédé d'oxydation du soufre libère de l'acidité, tout comme la nitrification de l'ammonium (conversion de l'ammonium en nitrate par les bactéries du sol). L'utilisation fréquente de fertilisants contenant du soufre et de l'ammonium impose une surveillance étroite du pH du sol par analyses afin de déterminer les besoins en chaux.

Le tableau 2 indique les équivalents de carbonate de calcium (CaCO₃) nécessaires pour neutraliser 1 lb d'engrais au soufre ou à l'ammonium.

Le pouvoir tampon du sol et l'absorption d'anions et de cations par les plantes peuvent réduire ces équivalents. Toutefois, les producteurs doivent être conscients des effets potentiels des engrais sur le pH du sol.

Tableau 2. Quantités de carbonate de calcium nécessaires pour neutraliser 1 lb d'engrais au soufre ou à l'ammonium.

Source de fertilisant	Équivalent CaCO ₃ par livre de N ou de S (lb)
Soufre élémentaire	3,2
Sulfate d'ammonium	7,2
Thiosulfate d'ammonium	4,8
Monoammonium phosphate	7,2
Diammonium phosphate	5,4
Ammoniac anhydre	3,6
Nitrate d'ammonium	3,6
Urée	3,6
Produits fertilisants MicroEssentials®	Équivalent CaCO ₃ par livre de produit (lb)
MES10 (12-40-0-10)	1,01
MES15 (12-33-0-15)	1,16
MES9 (10-46-0-9)	0,93

(Adapté de Adams, 1984 et McLaughlin, 2013)

DÉTERMINATION D'UNE DÉFICIENCE EN SOUFRE

Les plantes déficientes en soufre afficheront des symptômes visibles. Chez le maïs déficient en soufre, le plant complet jaunira comme pour une déficience en azote. Ou, la déficience se manifesterait comme une chlorose entre les nervures des feuilles, semblable à une déficience en magnésium ou en zinc. Le soufre n'est pas facilement déplacé dans les plants. Donc, les symptômes apparaissent d'abord et de façon la plus prononcée sur les feuilles plus jeunes, situées au haut du plant. Les déficiences des nutriments mobiles comme l'azote apparaissent d'abord sur les feuilles inférieures, car les nutriments sont redirigés vers les tissus en croissance.

Les symptômes de déficience en soufre suivent le même scénario dans d'autres cultures comme le soya, le blé, et la luzerne. La plante jaunira en commençant par les tissus les

plus jeunes. Dans le canola, les symptômes hâtifs de déficience incluent un jaunissement entre les nervures, de plus, les feuilles forment un creux et rabougrissent. Tard en saison, les symptômes sont moins évidents. Les feuilles formeront un creux et pourraient devenir pourpres sur les rebords. La floraison peut être retardée et produire des fleurs jaune pâle ou des fleurs blanches.

Historiquement, on croyait que les déficiences en soufre posaient problème uniquement en sols sableux. Cependant, au cours des dernières années, les déficiences sont apparues sur une plus grande variété de types de sols. Les déficiences en soufre peuvent apparaître au sommet des côtes ou sur les pentes où les sols ont subi l'érosion et sont faibles en matière organique. Les déficiences sont plus fréquentes sur les sols sableux ou ceux faibles en matière organique à cause de leur capacité réduite à fournir du soufre, de même qu'aux pertes subies par lessivage.

Généralement, les symptômes de déficiences en soufre ne sont pas uniformes dans tout le champ. Plus souvent, ils se manifestent en plaques ou en lisières. Les symptômes peuvent apparaître aux endroits où les sols sont plus froids ou plus humides, comme dans les baissières ou dans les endroits où beaucoup de résidus se sont accumulés. Cela vient du fait qu'en ces endroits, le taux de minéralisation du soufre et l'offre de sulfates assimilables sont réduits.

Vu que les symptômes de déficiences en soufre ressemblent à d'autres symptômes de déficiences en nutriments, une analyse de tissu de la plante peut être nécessaire pour déterminer s'il s'agit bien d'un manque de soufre. Il existe un test pour le soufre dans le sol. Cependant, les procédures de tests pour détecter les nutriments contenus dans la matière organique ne sont pas très fiables pour prendre des décisions relatives à la fertilisation. Pour cette raison, un test pour le soufre est recommandé seulement en sols sableux. Les tests de sol devraient inclure un échantillon prélevé en surface, de même qu'un autre pris à une profondeur d'au moins deux pieds.

LE SOUFRE DANS UN PROGRAMME DE FERTILISATION

Après une fertilisation au soufre, la réponse en rendement varie grandement selon les cultures, les types de sols, et les régions géographiques. Par conséquent, les producteurs devraient consulter les recommandations des universités pour obtenir la meilleure information concernant leur région en particulier et leur système de culture. La luzerne et le canola ont des exigences relativement élevées en soufre (tableau 3). Ils sont plus susceptibles d'avoir besoin de soufre surtout s'ils sont cultivés dans des sols sableux.

Historiquement, le maïs sur sols à texture fine a rarement répondu à la fertilisation au soufre. Donc une application régulière n'était pas recommandée à moins qu'il soit établi que l'approvisionnement du sol est insuffisant pour satisfaire aux besoins de la culture. Avant 2005, une réponse du rendement à l'application de soufre a été observée dans moins de 2 % des essais sur maïs et sur soya, menés pendant plus de 40 ans en Iowa. (Sawyer et Barker 2002 ; Sawyer et al., 2015).

Toutefois, des études plus récentes menées par l'état de l'Iowa ont révélé des avantages beaucoup plus fréquents en matière de rendement du maïs, avec une réponse positive du rendement à la fertilisation au soufre sur 17 des 20 sites en 2007, 11 des 25 sites en 2008 et 6 des 11 sites en 2009 (Sawyer et al. 2009, 2010). Parmi les sites sensibles en 2007 et 2008, l'augmentation moyenne du rendement avec la fertilisation au soufre était de 15 boisseaux/acre sur les sols à texture fine et de 28 boisseaux/acre sur les sols à texture grossière. Lors d'une étude menée en 2009, l'Université de l'Illinois a noté des réponses dans le maïs allant de 0 à 50 boiss./acre (Fernandez 2010). Ces résultats démontrent le besoin de prendre en considération les caractéristiques locales du sol pour établir un plan de fertilisation incluant du soufre. Ils nous enseignent aussi que la réponse du rendement peut être appréciable dans les cas où le soufre manque.

Les tests de sols pour le contenu en sulfates et les tests de tissu foliaire de l'épi ont montré une valeur prédictive limitée pour déterminer la probabilité d'une réponse du rendement au soufre dans le maïs (Sawyer et al., 2015). La recherche de l'État d'Iowa a montré un certain degré de relation entre la réponse du rendement au soufre appliqué et la matière organique du sol. Les réponses de rendement observées à une fréquence plus élevée provenaient de sols avec moins de 3,5 % de matière organique.

La réponse du rendement au soufre a fait l'objet de moins de recherches dans le soya que dans le maïs. Cependant, les recherches ont généralement montré que le soya est moins susceptible de bénéficier d'une application de soufre. Une réponse liée au rendement a été observée dans 2 des 13 essais répliqués, en bandes, menés dans l'Iowa de 2011 à 2013 (Sawyer et al., 2015). Un programme de fertilisation du maïs comprenant du soufre réduirait probablement aussi le risque de perte de rendement due à une carence en soufre avec le soya en rotation.

Tableau 3. Besoins en soufre de certaines cultures.

Culture	Rendement	S (lb/acre)	
Luzerne	10 tonnes/acre	54	
Canola	60 boiss./acre	20	
Maïs	200 boiss./acre	Grain	16
		Tiges	14
Soya	70 boiss./acre	Grain	13
		Fourrage	12
Blé	80 boiss./acre	Grain	8
		Paille	11

(Référence : The Mosaic Company, http://www.microessentials.com/MicroEssentials_Nutrient_Utilization_01optimized.pdf)

RÉFÉRENCES

- Adams, F. (Ed.) 1984. Soil acidity and liming. 2nd ed. American Society of Agronomy. Madison, WI.
- Anonymous. 1999. Atmospheric Deposition of Sulfur and Nitrogen Compounds. Chapter 7 in National Air Quality and Emissions Trends Report. <http://www.epa.gov/airtrends/aqtrnd99/pdfs/Chapter7.pdf>
- Anonymous. 2008. 2006–2007 Progress Report on The Canada-Wide Acid Rain Strategy for Post-2000. Canadian Council of Ministers of the Environment. http://www.ccme.ca/assets/pdf/2006_07_ar_progress_rpt_pn1410_e.pdf
- Boring, T. 2010. Sulfur fertilizer considerations for spring 2010. Michigan State Univ. <http://ipmnews.msu.edu/fieldcrop/fieldcrop/tabid/56/articleType/ArticleView/articleId/2356/Sulfur-fertilization-considerations-for-spring-2010.aspx>
- Dick, W.A., D. Kost, and L. Chen. 2008. Availability of Sulfur to Crops from Soil and Other Sources. Pages 59–82 in J. Jez ed. Sulfur: A Missing Link between Soils, Crops, and Nutrition. Madison, WI: American Society of Agronomy.
- Fernandez, F. 2010. Do I need to Apply Sulfur to My Corn Crop? University of Illinois. The Bulletin. Issue 1, Article 10. <http://bulletin.ipm.illinois.edu/article.php?id=1267>
- Franzen, D. W., and J. Lukach. 2007. Fertilizing Canola and Mustard. North Dakota State University Extension SF-1122. <http://www.ag.ndsu.edu/pubs/plantsci/soilfert/sf1122.pdf>
- Heininger, R. W., C. Crozier, D. Hardy, B. Walls, and R. Reich. 2003. Sulfur Deficiency Symptoms in Emerging Corn. North Carolina State Univ. <http://www.ces.ncsu.edu/plymouth/cropsci/docs/sulfur.html>
- Hergert, G. W. 2006. Sulfur. Pages 39–44 in R. B. Ferguson and K.M. Degroot eds. Nutrient Management for Agronomic Crops in Nebraska. Univ. of Nebraska – Lincoln. EC06-155. <http://digitalcommons.unl.edu/extensionhist/1711>
- McLaughlin, M. 2013. Technical Bulletin: Fertilizers and Soil Acidity. Univ. of Adelaide. www.adelaide.edu.au/fertiliser
- National Atmospheric Deposition Program. <http://nadp.sws.uiuc.edu/>
- Rehm, G. and M. Schmitt. 1989. Sulfur for Minnesota Soils. University of Minnesota Extension. WW-00794-GO. <http://www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/DC0794.html>
- Sawyer, J.E. et D.W. Barker. 2002. Sulfur Application to Corn and Soybean Crops in Iowa. Iowa State Univ. <http://www.agronext.iastate.edu/soilfertility/info/sulfuricm02.pdf>
- Sawyer, J., B. Lang, D. Barker, and G. Cummins. 2009. Dealing with sulfur deficiency in Iowa corn production. p. 117–123. In Proc. 21st Annual Integrated Crop Manag. Conf., Ames, IA. 2–3Dec. 2009. Iowa State Univ. http://www.agronext.iastate.edu/soilfertility/info/Sulfur_ICM_Proc_2009.pdf
- Sawyer, J., D. Barker, and B. Lang. 2010. Summary of Sulfur Strip Trials Conducted in Central and Northeast Iowa Preliminary 2009 Results. Iowa State Univ. <http://www.agronext.iastate.edu/soilfertility/info/2009SulfurStripTrialPrelReport.pdf>
- Sawyer, J., B. Lang, and D. Barker. 2015. Sulfur management for Iowa crop production. Iowa State Univ. Extension. CROP 3072. <https://store.extension.iastate.edu/Product/CROP3072-pdf>
- Tabatabai, M.A. 1984. Importance of sulphur in crop production. Biogeochemistry 1:45-62.

¹ Pioneer, directeur, information agronomique

² Consultant, progrès au champ

³ Pioneer, directeur, recherche agronomique

Les informations précédentes sont fournies à titre informatif seulement. Veuillez contacter votre représentant Pioneer afin d'obtenir plus d'information et des suggestions précises pour votre ferme. La performance du produit varie. Elle dépend de beaucoup de facteurs dont : le stress causé par la chaleur et l'excès d'eau, le type de sol, les pratiques culturales et le stress environnemental, de même que la maladie et la pression des parasites. Les résultats individuels peuvent varier.

Décembre 2017