



ÉCHANGE D'EXPÉRIENCES SUR LE COTONNIER

COTON-4



Diagnostic visuel des carences nutritionnelles du cotonnier



INSTITUT D'ÉCONOMIE RURALE



Embrapa



**Entreprise Brésilienne de Recherche Agricole
Secrétariat des Relations Internationales
Embrapa Coton**
**Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de l'Approvisionnement
Institut National des Recherches Agricoles du Bénin
Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles
Institut d'Économie Rurale
Institut Tchadien de Recherche Agronomique pour le Développement**

Diagnostic visuel des carences nutritionnelles du cotonnier

Embrapa
Brasília, DF, Brésil
2013

Vous pouvez obtenir cet ouvrage dans les centres ci-dessous :

**Institut National des Recherches
Agricoles du Bénin (INRAB)**

01 BP. 884 Cotonou
Tél. : (229) 2130-0264/(229) 2130-0326

**Institut de l'Environnement et
de Recherches Agricoles (INERA)**

O4 BP. 8645 Ouagadougou. 04
Tél. : +226 5034-0270/5034-0271
www.inera.bf

Institut d'Économie Rurale (IER)

Rua Mohamed V, BP 258, Bamako
Tél. : +223 2022-2606/2022-3775
www.ier.gouv.ml

**Institut Tchadien de Recherche Agronomique
pour le Développement (ITRAD)**

BP 5400 N'Djamena
Tél. : +235 252-0101/253-4163

Les centres responsables des contenus

Secrétariat des Relations Internationales

Embrapa Coton (www.cnpa.embrapa.br)

Institut National des Recherches Agricoles du Bénin

Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles

Institut d'Économie Rurale

*Institut Tchadien de Recherche Agronomique
pour le Développement*

**L'unité responsable de la coopération
technique internationale de l'Embrapa**

Secrétariat des Relations Internationales

L'unité responsable de l'édition

Embrapa Information Technologique

Coordination d'édition

Selma Lúcia Lira Beltrão

Lucilene Maria de Andrade

Nilda Maria da Cunha Sette

Supervision éditoriale

Josmária Madalena Lopes

Révision des textes

Rafael de Sá Cavalcanti

Normes bibliographiques

Márcia Maria Pereira de Souza

Graphisme et Couverture

Carlos Eduardo Felice Barbeiro

1^{ère} édition

1^{ère} impression (2013) : 2.400 exemplaires

Tous droits réservés

Toute reproduction de cette publication, en tout ou en partie,
constitue une violation des droits d'auteur (Loi n° 9.610).

Données internationales de catalogage avant publication (CIP)

Embrapa Information Technologique

Diagnostic visuel des carences nutritionnelles du cotonnier / [Ana Luiza Dias
Coelho Borin ... et al.]. – Brasília, DF, Brésil : Embrapa, 2013.
44 p. : ill. color. ; 16 cm x 22 cm. – (Échange d'expériences sur le cotonnier).

ISBN 978-85-7035-189-0

I. Borin, Ana Luiza Dias Coelho. II. Entreprise Brésilienne de Recherche Agricole.
III. Secrétariat des Relations Internationales. IV. Embrapa Coton. V Ministère de
l'Agriculture, de l'Élevage et de l'Approvisionnement. VI. Institut National des
Recherches Agricoles du Bénin. VII. Institut de l'Environnement et de Recherches
Agricoles. VIII. Institut d'Économie Rurale. IX. Institut Tchadien de Recherche
Agronomique pour le Développement.

CDD 631.8

© Embrapa 2013

Les auteurs

Ana Luiza Dias Coelho Borin

Ingénieur agronome, docteur en Science du Sol, chercheuse à l'Embrapa Coton, Campina Grande, PB, Brésil

ana.borin@embrapa.br

Gilvan Barbosa Ferreira

Ingénieur agronome, docteur en Sols et Nutrition des Plantes, chercheur à l'Embrapa Coton, Campina Grande, PB, Brésil

gilvan.ferreira@embrapa.br

Alexandre Cunha de Barcellos Ferreira

Ingénieur agronome, docteur en Phytotechnie, chercheur à l'Embrapa Coton, Campina Grande, PB, Brésil

alexandre-cunha.ferreira@embrapa.br

Maria da Conceição Santana Carvalho

Ingénieur agronome, docteur en Sols et Nutrition des Plantes, chercheuse à l'Embrapa Riz et Haricot, Santo Antônio de Goiás, GO, Brésil

maria.carvalho@embrapa.br

Julio Cesar Bogiani

Ingénieur agronome, docteur en Agriculture, chercheur à l'Embrapa Coton, Campina Grande, PB, Brésil

julio.bogiani@embrapa.br

Fagaye Sissoko

Ingénieur agronome, doctorat en Sciences du Sol, responsable des essais agronomiques du Programme Coton, Institut d'Économie Rurale (IER), Centre Régional de Recherche Agronomique (CRRA) de Sikasso, Sikasso, Mali

fagaye_sissoko@yahoo.fr

Gustave Dieudonné Dagbenonbakin

Ingénieur agronome, charge de recherches en Fertilité des Sols et Nutrition des Plantes (CAMES), chef division agronomie, Cotonou, Bénin

dagust63@yahoo.fr

Bazoumana Koulibaly

Ingénieur agronome, doctorat unique (Sciences du Sol), chef de section agronomie et techniques culturales à l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), Direction Régionale de Recherches Environnementales et Agricoles (DRREA), Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

bazoumana@hotmail.com

Michel Naïtormaïde

Ingénieur agronome, docteur en Développement Rural, Production Végétale, Science du sol, chef de Centre Régional de Recherche Agronomique (CRRA), Station Bébédjia, Tchad

naitormaïde_michel@yahoo.fr

Germain Fayalo

Ingénieur agronome, Protection des Végétaux, titulaire du D. E. A., Biologie Végétale Appliquée, Centre de Recherche Agricole Coton et Fibres Textiles (CRA-CF), Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB), Parakou, Bénin

germayalo@yahoo.fr

Karim Traore

Ingénieur agronome, Ph.D. en Production Ecology and Resources Conservation, Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), Direction Régionale de Recherches Environnementales et Agricoles (DRREA), Bobo-Dioulasso, Burkina Faso
karim_traore@hotmail.com

Isidore Amonmide

Ingénieur agronome, responsable des essais agronomiques de la zone centre et sud du Bénin et responsable de l'Antenne centre et sud du Centre de Recherches Agricoles Coton et Fibres Textiles (CRA-CF), Cana, Commune de Zogbodomey, Bénin
amonmide2005@yahoo.fr

Reoungal Djinodji

Ingénieur agronome système et master recherche en Agroéconomie, Master 2, chef de Programme Intensification, Diversification et Valorisation des Productions Végétales, Institut Tchadien de Recherche Agronomique pour le Développement (ITRAD), Tchad
djinodji@yahoo.fr

José Geraldo Di Stéfano

Ingénieur agronome, máster em Développement Durable, coordinateur du Projet Coton-4 à Bamako, Mali, analyste à Secrétariat des Relations Internationales de l'Embrapa, Brasília, DF, Brésil
jose.distefano@embrapa.br

Une histoire innovante

Le Brésil cherche à contribuer efficacement au développement durable en Afrique. La coopération technique brésilienne, dans un élan de solidarité et en l'absence de conditionnalités, consacre la moitié de son budget à ce continent. Quarante pays en bénéficient dans des domaines tels que la sécurité alimentaire, l'agriculture, l'éducation, les politiques sociales, le patrimoine historique et l'administration publique.

La croissance et le succès de la coopération internationale brésilienne avec l'Afrique peuvent s'expliquer par la manière dont cette activité est réalisée, avec la participation continue des autorités et des experts locaux. En outre, prévaut un souci permanent de toujours adapter nos expériences aux différents contextes et spécificités de chaque partenaire, ce qui rend unique chaque projet organisé par le Brésil, indépendamment du nombre de fois où il a déjà été mis en œuvre auparavant.

Parmi les initiatives dans l'agriculture, l'une des expériences les plus réussies de la coopération brésilienne est sans aucun doute le projet d'Appui au Développement du Secteur Cotonnier des Pays du Coton-4, provenant d'une demande émanant des membres du groupe (Bénin, Burkina Faso, Mali et Tchad) suite au contentieux portant sur le coton entre le Brésil et les États-Unis au sein de l'Organisation Mondiale du Commerce.

En assurant l'adaptation des variétés brésiliennes de coton, le transfert des techniques de plantation et de la recherche développée par le Brésil ainsi que la formation des experts des quatre pays, le Cotton-4 a été la première initiative issue de sa gamme de projets structurants que l'Agence Brésilienne de Coopération du Ministère des Relations Extérieures a réalisé sur le continent africain. En trois ans d'existence, le projet a permis d'adapter aux conditions naturelles de la région dix variétés de coton du Brésil tout en organisant des cours de formation dans les domaines du semis direct, l'amélioration génétique et la lutte intégrée contre les ravageurs.

Ce volume résume, en substance, la connaissance produite et consolidée à travers cet important projet de coopération. Cette publication jouera certainement un rôle central dans la diffusion de nouvelles techniques de culture de coton en collaboration avec les chercheurs et producteurs de ces pays. Je suis convaincu que l'expérience résumée ici se traduira par une augmentation de la productivité et de la qualité des cultures, générant ainsi une augmentation des revenus et une amélioration significative du niveau de vie de la population. Il n'est pas inutile de rappeler, l'objectif le plus important quant à notre rapprochement avec l'Afrique : la construction dans nos régions, de sociétés sachant allier la paix, le développement durable et la justice sociale en faveur d'un ordre international plus démocratique.

Antonio de Aguiar Patriota

Ministre des Relations Extérieures

Présentation institutionnelle

Le projet Appui au Développement du Secteur Cotonnier des Pays du Coton-4, qui se trouve maintenant à sa fin, est l'une des initiatives les plus ambitieuses et les plus réussies de l'Agence Brésilienne de Coopération du Ministère des Relations Extérieures dans le cadre de la coopération Sud-Sud. Au cours de ses quatre années d'existence, il a été responsable de la formation de centaines de techniciens et de l'adaptation de variétés brésiliennes de coton aux conditions naturelles de la région. Plus important encore, le projet a lancé un nouveau modèle de coopération, non seulement au niveau des résultats attendus, mais aussi par le modèle participatif et l'engagement rencontrés au sein de chaque institution participante.

Le Cotton-4, qui a débuté en 2009, a constitué le premier « projet structurant » coordonné par l'ABC et exécuté par l'Entreprise Brésilienne de Recherche Agricole (Embrapa). Durant cette période d'exécution, les chercheurs de l'Embrapa ont mis à disposition des informations, des techniques et des connaissances importantes dans les domaines du semis direct, l'amélioration génétique et la lutte intégrée contre les ravageurs qui ont été consolidées au Brésil et qui pourront être incorporées au système de production africain moyennant la réalisation d'ajustements et adaptations locales tout en respectant l'identité socioculturelle et les caractéristiques édaphoclimatiques de chaque pays.

Le nom de « projets structurant » que certaines initiatives de coopération menées par l'ABC reçoivent, se justifie par la création de centres de formation permanents, qui permettent l'augmentation des résultats et du nombre de bénéficiaires. Ces structures agissent également, de façon indirecte tel un facteur de renforcement des Etats et leurs capacités institutionnelles à travers un approvisionnement continu en ressources humaines qualifiées et l'intégration nationale, en raison de l'échange de techniques et de technologies provenant de l'ensemble du territoire.

Dans le cas de la station d'expérimentation revitalisée de Sotuba, au Mali, qui sert de siège au projet Coton-4, son rôle revêt une importance particulière. Bien qu'il existe des unités de démonstration de recherche développée au Bénin, au Burkina Faso et au Tchad, la station d'expérimentation revitalisée qui est située près de Bamako, fonctionne comme une grande vitrine des technologies de l'Embrapa, mais également comme un centre de diffusion de ces connaissances pour les pays de la région.

Depuis 2011, toutes les activités de formation sont menées au sein de la station avec des experts des quatre pays. À la fin de l'année 2012, quinze cours dans les domaines du semis direct, de l'amélioration génétique et de la lutte intégrée contre les ravageurs ont été conclus, impliquant environ deux cent cinquante techniciens. L'utilisation de la station expérimentale comme lieu d'apprentissage revêt un aspect stratégique, servant à la fois de rapprocher les techniciens des pays participants et de les aider à se familiariser avec l'équipement et les équipements qu'ils continueront d'utiliser ensemble après l'achèvement du projet.

La présente publication est le résultat des essais adaptatifs effectués ainsi que de l'échange de connaissances réalisé entre le

Brésil par le biais de l'Embrapa et les pays du C-4, par le biais de leurs institutions partenaires du Projet: Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB), Institut de l'Environnement et des Recherches Agricoles (INERA), du Burkina Faso, Institut Tchadien de Recherche Agronomique pour le Développement (ITRAD) et l'Institut d'Economie Rurale (IER), du Mali.

Cette collection Échange d'expériences sur le cotonnier fonctionnera comme un véhicule didactique fondamental contenant des diagrammes, des photos et des explications faciles à comprendre afin de former des chercheurs et des démultiplicateurs. De cette façon, elle pourra être distribuée en cours et utilisée comme matériel de référence et de soutien pour les activités d'assistance technique et de vulgarisation rurale, en faisant part des expériences du projet dans chaque région de production des quatre pays.

C'est une immense satisfaction pour nous de pouvoir célébrer la remise de cette publication, dans la certitude qu'elle sera chargée de s'assurer que les bonnes pratiques du projet C-4 ne disparaissent pas avec l'achèvement de ses activités, mais que bien au contraire elles continuent à produire leurs fruits tout en ayant un impact positif sur la vie des personnes.

Fernando José Marroni de Abreu

Directeur de l'ABC

Maurício Antônio Lopes

Président de l'Embrapa

Sommaire

| | |
|--|----|
| Fonction des nutriments pour le cotonnier | 15 |
| Identification des symptômes de carence nutritionnelle du cotonnier | 21 |
| Azote | 26 |
| Phosphore | 27 |
| Potassium | 29 |
| Calcium | 32 |
| Magnésium | 32 |
| Soufre | 34 |
| Bore..... | 36 |
| Autres micronutriments | 37 |
| Extraction et exportation de nutriments par le cotonnier | 39 |
| Considérations finales | 41 |
| Références | 43 |

Fonction des nutriments pour le cotonnier

Les plantes sont des organismes autotrophes capables d'utiliser l'énergie solaire afin de synthétiser tous leurs composants à partir du dioxyde de carbone, de l'eau et des nutriments minéraux. Des études en nutrition minérale ont démontré que les éléments minéraux spécifiques sont essentiels à la vie du végétal (TAIZ ; ZEIGER, 2006). Les minéraux essentiels sont appelés nutriments minéraux et classés conformément aux quantités exigées par les plantes en macronutriments qui constituent près de 99,5% de la matière sèche tandis que les micronutriments représentent environ 0,5% (EPSTEIN ; BLOOM, 2006). Selon le concept de l'essentialité tel que défini par Arnon et Stout en 1939, sont désignés comme macronutriments, le carbone, l'hydrogène, l'oxygène, l'azote, le phosphore, le potassium, le calcium, le magnésium et le soufre, et en tant que micronutriments, le bore, le chlore, le cuivre, le fer, le manganèse, le molybdène, le nickel et le zinc. Les éléments H, C et O ne sont pas considérés comme des nutriments minéraux car ils proviennent principalement de l'eau et du dioxyde de carbone.

L'azote (N) est l'élément minéral dont les plantes ont besoin en grandes quantités. Il fait partie de la composition de tous les acides aminés et protéines également présent dans la molécule de chlorophylle et autres pigments (RAIJ, 2011 ; SOUZA ; FERNANDES, 2006).

La fourniture en quantités adéquates encourage la formation et la croissance de la partie végétative, des bourgeons florifères, régule le cycle de la plante, augmente la productivité et améliore la longueur, la résistance de la fibre et l'indice micronaire (CARVALHO et al., 2011). L'excès de N et d'eau peuvent donner lieu à une croissance excessive, à une perte de capsules, à un allongement du cycle ainsi qu'à un retard au niveau de la maturation de capsules (HEARN, 1981 ; SCARSBROOK et al., 1959 ; THOMPSON et al., 1976).

Le phosphore (P) est le nutriment intervenant dans les transferts d'énergie de la plante, d'une importance vitale pour la synthèse des protéines, la photosynthèse et la transformation de sucres (CARVALHO et al., 2011 ; RAIJ, 2011 ; SHUMAN, 1994). Le P est un composant intégral de composés importants des cellules végétales, incluant les sucres phosphates, les intermédiaires de la respiration et la photosynthèse ainsi que les phospholipides composant les membranes végétales. Il est également un composant des nucléotides utilisés dans le métabolisme énergétique des plantes (comme ATP) et dans l'ADN et l'ARN (TAIZ ; ZEIGER, 2006). Chez le cotonnier, il stimule la croissance des racines et joue un rôle important dans la floraison et le développement des fruits. Contrairement à l'azote qui prolonge la phase végétative, le phosphore favorise la maturation des capsules en accélérant leur ouverture (CARVALHO et al., 2011).

Le potassium (K) est le cation le plus abondant que l'on trouve sur la planète et a une fonction importante dans l'état énergétique de la plante, dans la translocation et le stockage des assimilats (produits de la photosynthèse). Il ne fait partie d'aucune structure ou molécule organique dans la plante et on le rencontre principalement sous forme de cations libres ou absorbés pouvant être facilement déplacés des cellules ou des tissus des plantes (RAIJ, 2011). Cet élément

catalyse l'activité de plus de 60 enzymes dans la plante en plus d'être important au niveau de l'efficacité quant à l'usage de l'eau et augmente la photosynthèse et la translocation des hydrates de carbone formés pour les fruits. Le potassium est un nutriment absorbé en grandes quantités par le cotonnier et qui joue un rôle fondamental dans le développement de la plante, la production et la qualité de la fibre (CARVALHO et al., 2011).

Le calcium (Ca) a beaucoup d'effets sur la croissance et le développement de la plante, lui étant attribué le rôle de messenger secondaire dans de nombreuses réponses de la plante (TAIZ ; ZEIGER, 2006). Il est essentiel au maintien de l'intégrité structurelle des membranes et des parois cellulaires lors du processus de division cellulaire, durant l'absorption ionique, la germination du grain de pollen et pendant la croissance du tube pollinique (VITTI et al., 2006). Sa présence dans la solution du sol est fondamentale pour le développement des racines du cotonnier (CARVALHO et al., 2011).

Le magnésium (Mg) fait partie de la molécule de la chlorophylle, correspondant à 2,7% de son poids moléculaire et près de 10% de la teneur totale du Mg de la feuille (MALAVOLTA et al., 1997 ; RAIJ et al., 2011 ; VITTI et al., 2006), cependant essentiel à la photosynthèse. Le Mg est activateur de nombreuses enzymes. Toutes les enzymes, phosphorylases (incorporation et transfert de phosphore inorganique – Pi) dépendent de la présence du Mg, qui forme un pont entre l'ATP ou l'ADP et la molécule de l'enzyme. Le transfert de l'énergie de ces composés est fondamental lors des processus de photosynthèse, la respiration (glycolyse et le cycle des acides tricarboxyliques), réaction de synthèse de composés organiques (hydrates de carbones, lipides et protéines), absorption ionique (principalement de P) et le travail mécanique exécuté par la plante (VITTI et al., 2006).

Le soufre (S) fait partie de la chlorophylle et de toutes les protéines de la plante. Les fonctions qu'occupe le S sur la plante, peuvent être classées en deux grands groupes : structurel et métabolique (VITTI et al., 2006). Il participe aux acides aminés essentiels : la cystine, la méthionine et la cystéine (MALAVOLTA, 1997 ; RAIJ, 2011 ; VITTI et al., 2006) ; il est un constituant de différents coenzymes en plus des vitamines (TAIZ ; ZEIGER, 2006). Le S occupe des fonctions qui déterminent des augmentations aussi bien au niveau de la production que de la qualité du produit obtenu (VITTI et al., 2006).

Les micronutriments sont des éléments essentiels à la croissance des plantes et se distinguent par le fait d'être absorbés en petites quantités. Ils ne participent pas aux structures de la plante mais à la constitution ou activation d'enzymes (DECHEN ; NACHTIGALL, 2006).

Les fonctions du bore (B) dans la plante sont associées à celles du calcium au niveau de la régulation du fonctionnement de la membrane et de la paroi cellulaire, à la division et à l'augmentation des cellules, à la lignification de la paroi cellulaire, essentiel à la formation des tissus méristématiques. Il influence le développement des racines, l'absorption des nutriments et la germination du grain de pollen, participe au métabolisme et au transport des hydrates de carbone à travers la formation de complexes borate-sucre, important dans la synthèse des protéines ; il agit sur le métabolisme des acides nucléiques et également sur le métabolisme et le transport des auxines (CARVALHO et al., 2011 ; DECHEN ; NACHTIGALL, 2006).

Le cuivre (Cu) et le zinc (Zn) sont nécessaires aux processus de synthèse de protéine et détoxification des ions superoxydes formés dans le métabolisme cellulaire parmi d'autres fonctions. Certains auteurs ont démontré que les teneurs en tissus foliaires sont réduites

par le chaulage et par la fertilisation avec du phosphore sans provoquer cependant de déficience compromettant la productivité de la culture (CARVALHO et al., 2011).

Le molybdène (Mo) est un composant de différentes enzymes, comprenant du nitrate réductase, favorisant donc le métabolisme de l'azote dans la plante (TAIZ ; ZEIGER, 2006). Le fer (Fe) joue un rôle important en tant que composant d'enzymes impliquées dans le transfert d'électrons (réactions d'oxydo-réduction-redox), comme les cytochromes (TAIZ ; ZEIGER, 2006) et catalyse également la biosynthèse de la chlorophylle (DECHEN ; NACHTIGALI, 2006).

Le manganèse (Mn) est essentiel à la synthèse de la chlorophylle et sa fonction principale est liée à l'activation d'enzymes (DECHEN ; NACHTIGALL, 2006). Parmi ces autres fonctions, le manganèse est nécessaire afin de rompre la molécule d'eau, à l'évolution de l'O₂ et afin de permettre le débit du flux d'électrons dans la photosynthèse (MARSCHNER, 1995).

Identification des symptômes de carence nutritionnelle du cotonnier

L'état nutritionnel de la plante peut être évalué par une simple comparaison entre un échantillon (plante ou ensemble de plantes) et un standard (plante qui possède en ses tissus des quantités et des proportions adéquates garantissant une productivité élevée) (MALAVOLTA, 1997). Le diagnostic visuel est une façon d'évaluer l'état nutritionnel à travers la comparaison d'un échantillon avec un standard. Les besoins en éléments minéraux changent tout au long de la croissance et du développement d'une plante (TAIZ ; ZEIGER, 2006), cependant en comparant les échantillons, on doit prendre soin de cueillir des feuilles se trouvant au même stade phénologique et sur la même position au niveau de la plante (4^{ème} ou 5^{ème} feuille à partir de l'apex, par exemple).

D'une façon générale, la partie de la plante qui a été observée est la feuille. En outre de nombreux facteurs peuvent occasionner des altérations au niveau des feuilles pouvant être confondus avec une carence nutritionnelle cependant avant de procéder à un diagnostic de déficience ou de toxicité d'un élément, il est nécessaire d'observer les caractéristiques suivantes : s'il existe une incidence de ravageurs et de maladies, si les symptômes sont généralisés, s'il existe un gradient (degrés de mobilité) et une symétrie sur la plante (Figure 1).

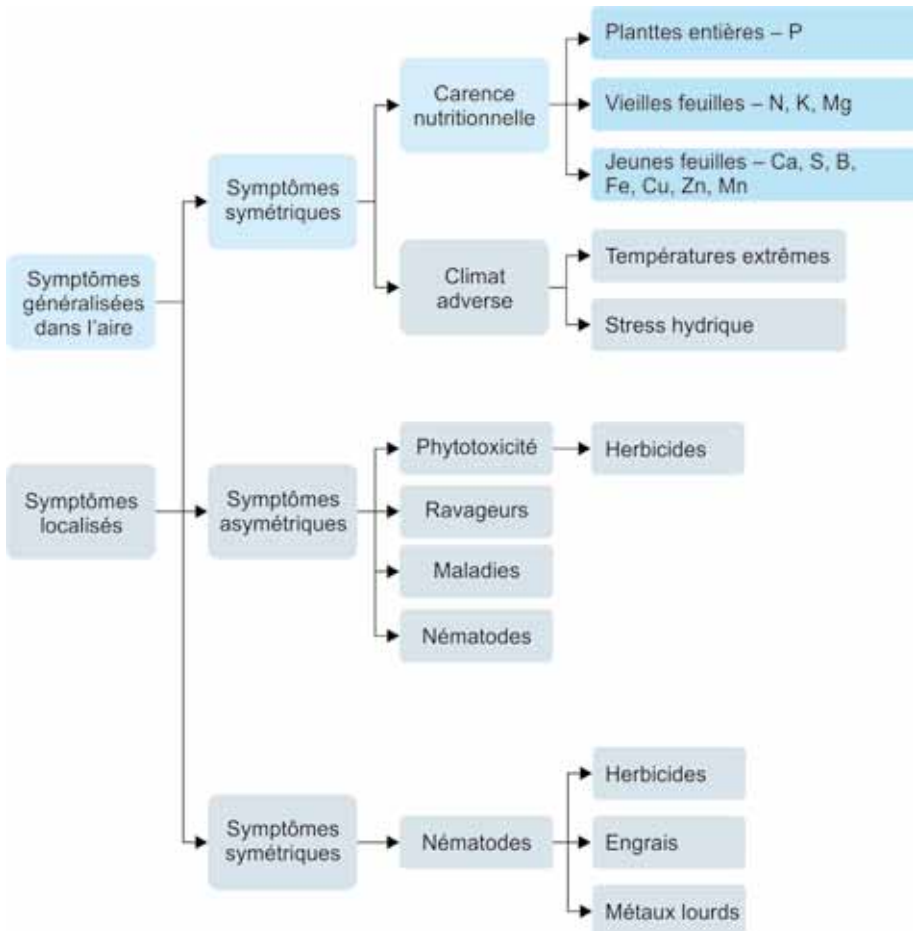


Figure 1. Identification des caractéristiques pour diagnostic visuel de carence nutritionnelle sur le cotonnier.

Dans le cas de l'incidence de ravageurs et de maladies, la symptomatologie n'est normalement pas généralisée, il n'y a pas de symétrie sur la feuille ni gradient de mobilité (des feuilles les plus vieilles vers les plus jeunes ou vice-versa) ; l'autre point consiste en la présence d'un causeur de dégâts (ravageurs, maladie ou

nématode). Un exemple classique est celui du rougissement des feuilles du cotonnier qui peut être causé par des acariens ou un virus (*vermelhão* du cotonnier transmis par *Aphis gossypii*), mais qui peut être confondu avec une carence en magnésium. S'il s'agit d'araignée rouge (*Tetranychus urticae*), la coloration rouge se trouvera sur la partie basale des nervures et il sera possible par l'utilisation d'une loupe d'identifier la présence du ravageur sur la partie inférieure du limbe foliaire (Figure 2), l'infestation se manifeste initialement dans des endroits localisés puis s'étend progressivement au reste de la plantation.



Photo : Alexandre Cunha de Barcellos Ferreira

Figure 2. Dégâts provoqués par l'attaque d'araignées rouges sur une feuille de cotonnier.

S'il s'agit d'une virose, la symptomatologie se produira sur des plantes isolées ou bien en des endroits localisés sans symétrie et sans gradient (Figure 3), ne se manifestant pas obligatoirement dans l'axe principale de la plante ; pouvant contenir ou pas la présence d'insecte (*Aphis gossypii*) vecteur de la maladie.

Photo : Wirtton Macedo Coutinho



Figure 3. Symptômes de la virose *vermelhão* du cotonnier.

La symptomatologie de la carence nutritionnelle est généralisée, ce qui signifie que le symptôme se produit dans de grandes zones, n'apparaissant pas de façon isolée sur une seule plante ou en un endroit localisé (MALAVOLTA, 1997).

Lorsque les symptômes de carence sont liés à un élément essentiel en particulier, une piste importante consiste en une extension dans laquelle l'élément peut être redistribué en partant des feuilles les plus vieilles vers les feuilles les plus jeunes (TAIZ ; ZEIGER, 2006), lié donc au gradient de mobilité. Certains éléments mobiles tels que l'azote, le phosphore, le potassium et le magnésium, peuvent facilement se déplacer des feuilles les plus vieilles vers les feuilles les plus jeunes, et de cette façon, les symptômes de carence tendent à apparaître en premier lieu sur les feuilles les plus vieilles. Ainsi, les nutriments de faible mobilité comme le calcium, le soufre, le bore, le cuivre, le manganèse et le zinc présentent des symptômes sur les jeunes feuilles. On trouve toujours et ce dans n'importe quelle situation, un gradient d'intensité du symptôme de carence, du bas vers le haut (nutriments mobiles) et du haut vers le bas (nutriments à faible mobilité).

Un autre point portant sur la confirmation de la symptomatologie de carence nutritionnelle concerne la présence de symétrie ; sur la feuille, le symptôme se produit aussi bien du côté droit que du côté gauche par rapport à la nervure principale ; et sur le cotonnier, la symétrie se produit sur les branches végétatives et productives, par rapport à la tige.

De cette façon, lorsque se produit une carence au niveau d'un nutriment déterminé, les symptômes peuvent présenter des petites variations d'une plante à une autre mais en s'exprimant à travers des anomalies visibles typiques dans la mesure où le nutriment exerce toujours les mêmes fonctions quel que soit l'espèce de la plante.

Les principaux symptômes de carences nutritionnelles du cotonnier sont décrits de la façon suivante :

Azote

La carence en azote donne lieu à une chlorose donc à une perte de l'intensité de la couleur verte sur toute la plante en raison de la réduction de la chlorophylle (Figure 4). Étant un élément mobile à l'intérieur de la plante, les premiers symptômes de jaunissement surgissent sur les feuilles les plus vieilles de « l'axe principale » (Figure 5). Sa carence ralentit la vitesse de croissance du cotonnier, réduit le nombre et la longueur des internoeuds et par conséquent diminue le nombre de branches végétatives et reproductives. Au fur et à mesure que la carence devient plus sévère, les feuilles acquièrent une coloration bronze, sèchent et tombent de façon précoce s'ajoutant à cela une chute anormale de boutons floraux, des fleurs et des fruits nouveaux, endommageant la productivité et la qualité de la fibre (CARVALHO et al., 2008, 2011).

Photo : Gilvan Barbosa Ferreira



Figure 4. Symptôme de carence en azote sur le cotonnier (plantes à gauche) en comparaison avec les cotonniers avec fertilisation azotée (plantes à droite).



Photos : Ana Luiza Dias Coelho Borin

Figure 5. Symptômes initiaux de carence en azote sur les feuilles les plus vieilles du cotonnier d'un « axe principale », sur cotonnier.

Phosphore

Les symptômes de carence en phosphore ne sont pas aussi marquants qu'en ce qui concerne les autres macronutriments, et l'effet le plus évident concerne la réduction générale de la croissance de la plante (Figure 6) (CARVALHO et al., 2008, 2011). La carence en P réduit la photosynthèse, l'accumulation et la translocation des hydrates de carbone vers les bourgeons du cotonnier. Comme résultat, les plantes se développent très lentement (Figure 6), les plus vieilles feuilles deviennent rouge (suite à l'accumulation de l'anthocyane) avec des taches ferrugineuses sur les bords évoluant vers un assèchement des feuilles. En outre, il peut également se produire un rougissement de la tige (Figure 7). Dans une situation de carence très sévère, une chute

Photo : Gilvan Barbosa Ferreira



Figure 6. Symptômes de carence de phosphore sur le cotonnier (plantes au premier plan) en comparaison avec les cotonniers avec fertilisation phosphatée (plantes au second plan).

Photo : Gilvan Barbosa Ferreira



Figure 7. Carence sévère en phosphore sur cotonniers caractérisés par le rougissement de la tige et des feuilles et par la présence de taches ferrugineuses sur les cotonniers sur les bords des feuilles évoluant vers un assèchement.

des boutons floraux et une réduction de la taille des bourgeons ainsi que leur faible rétention peuvent être observées. Indépendamment de la façon dont les symptômes apparaissent durant le cycle de la culture, le résultat final aboutit à la réduction de la productivité.

Potassium

Le cotonnier est considéré comme étant peu efficace quant à l'absorption de potassium du sol une fois comparé à d'autres espèces, ainsi la carence en K se produit avec une fréquence et une intensité plus importante que chez la plupart des espèces agronomiques (KERBY ; ADAMS, 1985). Sa carence traditionnelle lors de la préfloraison, est caractérisée par la chlorose internervaire des feuilles de l'axe principale, suivie d'une nécrose sur les bords puis de la chute (Figures 8 et 9) ; par conséquent, il en résulte un raccourcissement du



Photo : Gilvan Barbosa Ferreira

Figure 8. Evolution des symptômes de la carence en potassium sur les feuilles du cotonnier (de la gauche vers la droite).

Photo : Gilvan Barbosa Ferreira



Figure 9. Symptôme traditionnelle de carence en potassium sur les feuilles les plus vieilles de « l'axe principale » sur le cotonnier.

cycle, une malformation des capsules, une réduction de la productivité et de la qualité de la fibre (CARVALHO et al., 2011).

Lors de situations d'offre insuffisante de potassium durant le remplissage des bourgeons ou lors de l'utilisation de cultivars de cotonnier ayant une capacité productive élevée et une courte période de maturation des bourgeons, les symptômes de carence se manifestent sur les feuilles les plus jeunes du tiers moyen ou supérieur de la plante (Figure 10).



Photo : Alexandre Cunha de Barcellos Ferreira

Figure 10. Symptôme de carence de potassium présent sur les feuilles du tiers supérieur de la plante.

Calcium

Les carences en calcium (Ca) ne sont pas communes sur le champ. En général, les effets de l'acidité du sol et de la pauvreté des autres nutriments dépassent ou se manifestent plus rapidement que la carence de ce nutriment sur les plantations (CARVALHO et al., 2011).

Les symptômes de carence en calcium sur le cotonnier se caractérisent par la diminution de la croissance, par la courbure des bords des feuilles, par l'effondrement des pétioles, par la réduction de la floraison et de la fructification et par la perte des bourgeons (ROSOLEM ; BASTOS, 1997).

Magnésium

Les symptômes de carence en magnésium se caractérisent par une croissance lente du cotonnier. Comme il s'agit d'un nutriment à mobilité élevée sur la plante, les symptômes initiaux surgissent sur les feuilles de l'axe principale (Figure 11), caractérisés par une chlorose internervaire donc les nervures et les surfaces adjacentes demeurent vertes (Figure 12), tandis que le reste du limbe foliaire sur certains cultivars deviennent rouge pourpre (CARVALHO et al., 2011) en raison de l'accumulation de l'anthocyane (Figure 13).

La carence en magnésium sur le cotonnier a été observée dans les conditions suivantes : (i) sur des sols acides, qui n'ont pas été corrigés avec du calcaire contenant du Mg ; (ii) sols de texture aréneux, intensément lessivés ; (iii) sols corrigés de façon continue avec du calcaire calcitique, notamment lorsque l'on applique des doses élevées de potassium.



Photo : Gilvan Barbosa Ferreira

Figure 11. Carence en magnésium sur les feuilles de « l'axe principal » sur le cotonnier.



Photo : Gilvan Barbosa Ferreira

Figure 12. Symptômes de carence en magnésium sur le cotonnier caractérisés par la chlorose internervaire sur les feuilles.

Photo : Gilvan Barbosa Ferreira

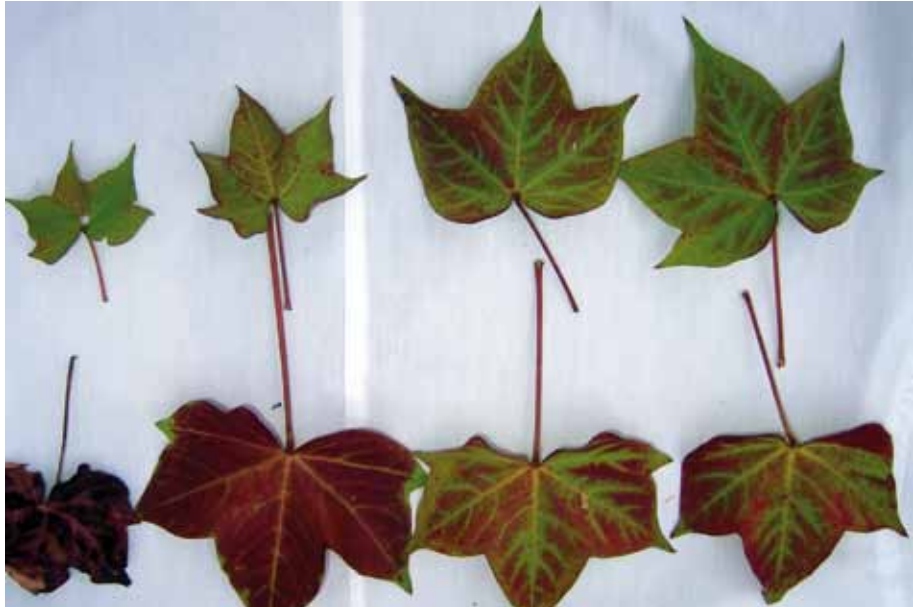


Figure 13. Symptômes de carence en magnésium caractérisés par la chlorose avec accumulation d'anthocyane.

Soufre

Lors d'une carence en soufre, la photosynthèse est réduite, affecte la productivité et la qualité de la fibre. Les plantes déficientes en soufre ont une croissance réduite (Figure 14), émettent peu de branches végétatives et reproductives et présentent des feuilles au niveau de jeunes branches de couleur verte-jaune (Figure 15) (CARVALHO et al., 2011). Ce système de carence s'apparente à celui de l'azote, cependant en raison de la faible mobilité sur le phloème et apparaît initialement sur les jeunes branches tandis que le symptôme de carence en azote apparaît sur l'axe principal de la plante. Cette similitude provient de la participation de ces deux nutriments en tant que constituant protéiques (TAIZ ; ZEIGER, 2006).



Photo : Gilvan Barbosa Ferreira

Figure 14. Symptômes de carence en soufre sur le cotonnier (plantes au premier plan) en comparaison avec des cotonniers fertilisés avec du soufre (plantes au deuxième plan).



Photo : Gilvan Barbosa Ferreira

Figure 15. Chlorose de couleur citron vert typique de la carence en soufre sur le cotonnier.

Bore

En fonction de la faible modalité du bore sur la plante, les premiers symptômes se produisent sur les parties jeunes, sur les tissus de conduite et sur les organes de propagation. Les symptômes en carence les plus communs rencontrés sur un champ sont le jaunissement des feuilles des jeunes branches. Durant la période de floraison/fructification apparaissent des anneaux concentriques verts foncés sur les pétioles (Figure 16) et sur les tiges, avec une nécrose interne de la moelle. Au fur et à mesure que la carence augmente, ces anneaux surgissent sur les branches et sur la tige principale (CARVALHO et al., 2011 ; ROSOLEM ; BASTOS, 1997). Il se produit également une chute excessive de boutons floraux, de fleurs et même de fruits nouveaux (ROSOLEM et al., 2001), possiblement par la non-viabilité du grain de pollen, qui culmine sur la non fécondation de l'ovule, ou par les troubles causés sur le système vasculaire de la région du pédoncule, en empêchant le transport idéal de l'hydrate de carbone vers ces

Photos : Alexandre Cunha de Barcellos Ferreira



Figure 16. Carence en bore caractérisé par la présence d'anneaux foncés sur le pétiole des feuilles du cotonnier.

organes (ZHAO ; OOSTEHUIS, 2002). La carence en bore, lorsqu'elle est sévère, provoque la mort du bourgeon apical et l'apparition anormale de nouveaux bourgeons (super bourgeonnement de la plante). De faibles teneurs sur le tissu durant la floraison peuvent rendre non-viable la germination du grain de pollen, en empêchant la fécondation des ovules et la formation des semences et par conséquent des fibres qui en sortent. Les structures formées peuvent exhiber des anomalies liées à la désintégration de tissus internes (TAIZ ; ZEIGER, 2006).

Autres micronutriments

Le symptôme typique du manganèse est la chlorose internervaire sur les jeunes feuilles car le manganèse est peu mobile sur la plante (HOCKING et al., 1977). En plus de ce symptôme, Rosolem et Bastos (1997) ont observé une chlorose marginale des feuilles les plus jeunes qui étaient froissées et qui avaient le limbe avec des bords tournés vers le bas. Ohki (1974) a également décrit l'occurrence d'entrenœuds plus courts et une chute des feuilles sur les plantes déficientes.

Les micronutriments tels que le chlore, le bore, le molybdène, le fer le cuivre et le zinc présentent difficilement des carences visuelles sur le champ. Afin de faciliter l'établissement d'un diagnostic éventuel, un résumé des principales caractéristiques des symptômes de carence de nutriments est présenté sur une clé d'identification (Figure 17).

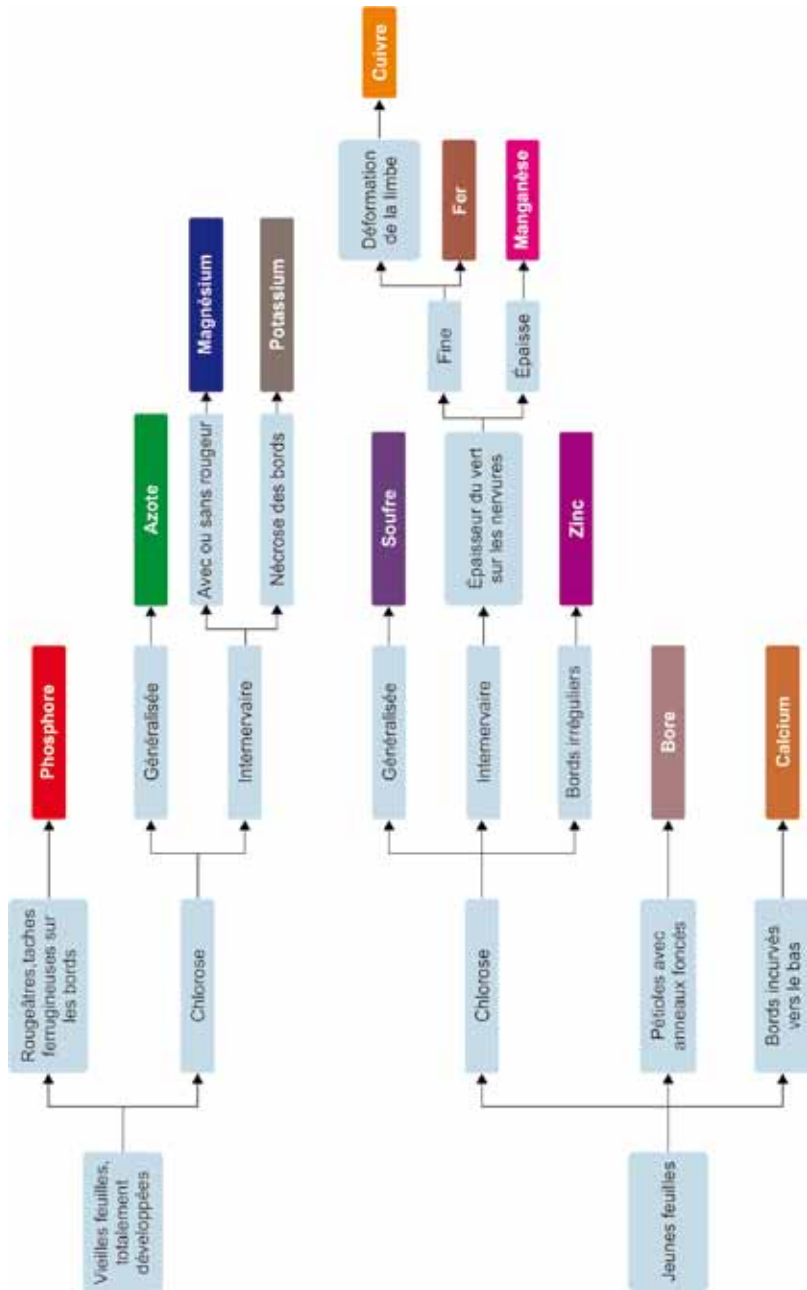


Figure 17. Clé pour le diagnostic visuel de la carence de nutriments sur le cotonnier.

Extraction et exportation de nutriments par le cotonnier

Le cotonnier est une plante qui extrait de grandes quantités de nutriments du sol durant son cycle (Figure 18), cependant il ne s'agit pas d'une plante avec une exportation élevée de nutriments vue que seulement près de 50% du total absorbé est exporté à travers des fibres et le noyau (Figure 18). Ainsi à condition qu'ils soient bien traités, les restes de culture représentent une importante source

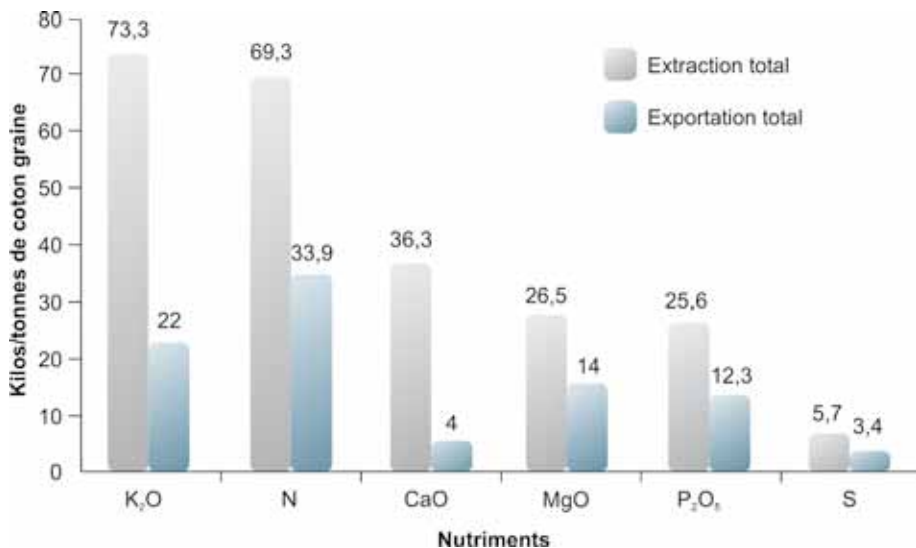


Figure 18. Extraction et exportation totale de nutriments par le cotonnier.

Source : adapté de Carvalho et al. (2011).

de nutriments par le biais de leur composition et minéralisation. La destruction des restes de cultures par le feu promeut la perte de nutriments du système en plus de réduire les teneurs de matière organique du sol.

Au sein d'un programme de fertilisation, doivent être prises en considération les quantités exigées par la culture qui dans la plupart des sols des zones tropicales n'est pas suffisante d'où l'importance d'y remédier à travers une fertilisation chimique et si possible une fertilisation organique. Dans le cas où cela ne se produirait pas, des symptômes de carences nutritionnelles pourront très probablement apparaître. On doit toujours garder à l'esprit qu'avant que ne surgisse le symptôme, la croissance et la production pourront déjà être compromise, fait connu sous le nom de « faim cachée ».

Considérations finales

Le diagnostic visuel de carence nutritionnelle constitue un outil important afin de connaître l'état nutritionnel des plantes mais il existe cependant d'autres moyens tels que l'analyse du sol et l'analyse des feuilles. Le diagnostic visuel foliaire a pour principe de reconnaître le problème nutritionnel actuel, en tentant de le solutionner de la façon la plus rapide qu'il soit à travers une fertilisation complémentaire avec le nutriment manquant. Cette technique présente certaines limites : tout d'abord de par le fait que les symptômes de carences peuvent être confondus avec ceux occasionnés par l'attaque de ravageurs, les maladies et les stress d'origine abiotique (climat, toxicité des herbicides) ; et ensuite en raison des symptômes qui une fois manifestés, occasionnent déjà une perte de la productivité.

Un autre point important est qu'une recommandation de fertilisation mal faite peut occasionner une carence de nutriments comme par exemple l'excès de potassium qui peut donner lieu à une carence en Mg ; l'excès de chaulage réduit la disponibilité de certains micronutriments (Fe, Cu, Mn e Zn) ; ainsi il est important de maintenir l'équilibre entre tous les nutriments.

Un programme correct de fertilisation débute par une analyse du sol qui constitue une technique préventive représentant la première étape afin de diagnostiquer d'éventuels problèmes nutrition-

nels pour les plantes et permettra de prendre des décisions sur la fertilisation et l'amendement du sol. L'analyse de la feuille, complémentaire à l'analyse du sol, servira à diagnostiquer si la fertilisation recommandée basée sur l'analyse du sol a été efficace et en outre servira à ajuster les fertilisations en vue des prochaines campagnes agricoles.

En conclusion, il est important de procéder à un suivi périodique à travers l'observation du champ tel un outil permettant de diagnostiquer les problèmes et prendre des décisions rapides de correction afin d'obtenir des productivités élevées.

Références

ARNON, D. I. ; STOUT, P. R. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 14, p. 371-375, 1939.

CARVALHO, M. C. S. ; FERREIRA, G. B. ; CARVALHO, R. S. ; SILVA, O. R. R. F. ; MEDEIROS, J. C. Nutrição, calagem e adubação. In : BELTRÃO, N. E. M. ; AZEVEDO, D. M. P. (Ed.). **O agronegócio do algodão no Brasil**. 2. ed. Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 677-790.

CARVALHO, M. C. S. ; FERREIRA, G. B. ; STAUT, L. A. Nutrição, calagem e adubação do algodoeiro. In : FREIRE, E. C. (Ed.). **Algodão no cerrado do Brasil**. Aparecida de Goiânia : Mundial Gráfica, 2011. p. 677-752.

DECHEN, A. R. ; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In : FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 326-354.

EPSTEIN, E. ; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 3. ed. Londrina : Planta, 2006. 403 p.

HEARN, A. B. **Cotton nutrition**. Field Crops Abstracts, [S.l.], v. 34, p. 11-34, 1981.

HOCKING, P. J. ; PATE, J. S. ; WEE, S. C. ; MCCOMB, A. J. Manganese nutrition of *Lupinus* spp., especially in relation to developing seeds. **Annals of Botany**, London, GB, v. 41, p. 677-688, 1977.

KERBY, T. A. ; ADAMS, F. Potassium nutrition of cotton. In : MUNSON, R. D. (Ed.). **Potassium in agriculture**. Madison : ASA : CSSA : SSSA, 1981. p. 843-860.

MALAVOLTA, E. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba : Potafós, 1997.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed. London, GB : Academic Press, 1995. 889 p.

- OHKI, K. Manganese nutrition of cotton under two boron levels. II. Critical Mn level. **Agronomy Journal**, Madison, v. 66, p. 572-575, 1974.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba : International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.
- ROSOLEM, C. A. ; BASTOS, G. B. Deficiências minerais no cultivar de algodão IAC 22. **Bragantia**, Campinas, v. 56, n. 2, p. 377-387, 1997.
- ROSOLEM, C. A. ; QUAGGIO, J. A. ; SILVA, N. M. Algodão, amendoim e soja. In : FERREIRA, M. E. ; CRUZ, M. C. P. ; RAIJ, B. van ; ABREU, C. A. (Ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal : CNPq : Fapesp : Potafos, 2001, p. 321-354.
- SCARSBROOK, C. E. ; BENNETT, O. L. ; PEARSON, R. W. The interaction of nitrogen and moisture on cotton yield and other characteristics. **Agronomy Journal**, Madison, v. 51, p. 718-721, 1959.
- SHUMAN, L. M. Mineral nutrition. In : WILKINSON, R. E. (Ed.). **Plant-environment interactions**. New York : Marcel Dekker, 1994. p. 149-182.
- SOUZA, S. R. ; FERNANDES, M. S. Nitrogênio. In : FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 215-254.
- TAIZ, L. ; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre : Artmed, 2006. 719 p.
- THOMPSON, A. C. ; LANE, H. C. ; JONES, J. W. ; HESKETH, J. D. Nitrogen concentration of cotton leaves, buds, and bolls in relation to age and nitrogen fertilization. **Agronomy Journal**, Madison, v. 68, p. 617-621, 1976.
- VITTI, G. C. ; LIMA, E. ; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In : FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 299-325.
- ZHAO, D. ; OOSTERHUIS, D. M. Cotton carbon exchange, nonstructural carbohydrates, and boron distribution in tissues during development of boron deficiency. **Field Crops Research**, Amsterdam, NL, v. 78, p. 75-87, 2002.

Impression et façonnage
Embrapa Information Technologique

*Le papier utilisé dans cette publication a été produit selon la certification
du Bureau Veritas Quality International (BVQI) de Gestion Forestière.*

Le projet intitulé Appui au Développement du Secteur Cotonnier des Pays du C-4 (Bénin, Burkina Faso, Tchad et Mali), développé en partenariat avec les institutions de recherche des pays du Coton-4, a par exemple permis d'obtenir des changements au niveau du système de production du coton adopté au sein des petites communautés rurales du Bénin, du Burkina Faso, du Tchad et du Mali. Ce projet se base sur l'échange de savoirs entre chercheurs des pays concernés ainsi que sur les technologies développées par l'Embrapa et par d'autres institutions de recherche brésiliennes portant notamment sur l'amélioration génétique, le système de production et la lutte intégrée contre les ravageurs du cotonnier tout en mettant l'accent sur le semis direct et la lutte biologique.

Le présent recueil de documents est le fruit des connaissances, technologies et expériences développées et acquises par les chercheurs de l'Embrapa et dont l'objectif consiste à assister les techniciens et les producteurs des pays du C-4 dans la gestion du système de production du cotonnier notamment en ce qui concerne le semis direct, la lutte intégrée contre les ravageurs et l'amélioration génétique.