

Effets de bactéries natives sur la solubilisation du phosphate naturel du Burkina et la croissance du maïs

Salawu Asimi*, Georges Kambou*

Résumé

L'incidence de l'inoculation de bactéries sur la solubilisation du Burkina phosphate naturel et sur le développement de la variété KPJ de maïs a été étudiée. Les plants ont été produits en serre à la Station de Kamboinsé (Burkina Faso) sur un sol ferrugineux. Les bactéries ont été cultivées sur le milieu gélosé de MENKINA. Le phosphore assimilable a été dosé par la méthode de BRAY I. Les résultats obtenus ont indiqué une meilleure solubilisation du phosphate par l'inoculation des bactéries. Le maïs ayant bénéficié d'un apport de 5g/kg de sol de Burkina phosphate avec inoculation a présenté le niveau de carence en phosphore le plus bas. À la dose de 2,5 g/kg de sol de Burkina phosphate, l'inoculation a entraîné une augmentation de la teneur en phosphore de la biomasse aérienne et des racines respectivement de 5 et 25 %. L'influence de l'inoculation des bactéries sur la production de la biomasse des plants de maïs est relativement faible.

Mots-clés : bactéries, Burkina phosphate, maïs, croissance, nutrition.

Effects of native bacteria on solubilization of natural phosphate of Burkina and maize plant growth

Abstract

The effects on maize growth and phosphorus nutrition of bacterial inoculation have been studied. Pots containing ferruginous soil have been used to produce maize plants in greenhouse at Kamboinsé Research Station (Burkina Faso). Bacteria have been grown on MENKINA agar medium. Assimilable phosphorus has been determined by BRAY I method.

In medium culture, the bacterial inoculation significantly increased the solubilization of Burkina phosphate. The lowest phosphorus deficiency for maize plant was recorded when 5 g/kg of soil of Burkina phosphate was applied with bacterial inoculation. At the level of 2,5 g/kg of soil of Burkina phosphate, shoot and roots phosphorus content of inoculated plants were enhanced by 5 and 25 %, respectively. The effect of bacterial inoculation on maize plants biomass production was relatively low.

Keywords: bacteria, Burkina phosphate, maize, growth, nutrition.

* Institut de l'environnement et de recherches agricoles (INERA), Ouagadougou, Burkina Faso.

Introduction

Le maintien et l'amélioration de la fertilité des sols tropicaux et subtropicaux, en vue d'une production agricole suffisante, demeure une préoccupation permanente des agriculteurs. Pour y parvenir, il convient d'assurer aux plantes des régimes aérien, hydrique et thermique favorables : (1) en améliorant la structure du sol, (2) en complétant et en augmentant les réserves d'humus tellurique qui se minéralise rapidement dans les conditions d'une agriculture tropicale intensive (MOREL et QUANTIN, 1972), (3) en assurant une bonne alimentation aux plantes à travers des techniques culturales appropriées et par des apports d'engrais.

Les sols burkinabè se caractérisent par une forte carence en phosphore, ce qui demeure un facteur limitant de la productivité des systèmes agricoles (DUMONT et DUPONT DE DINECHIN, 1967). La présence d'importants gisements de phosphate naturel ou Burkina phosphate (BP) dans la zone Est du pays, gisements dont le tonnage est estimé à 10^8 tonnes (TRUONG *et al.*, 1977), devrait permettre de réduire le niveau de carence en phosphore des sols. Seulement, le produit obtenu à partir du concassage de ce phosphate est peu soluble et partant peu efficace pour accroître le rendement des plantes.

En outre, la plupart des zones pédo-climatiques du Burkina Faso sont caractérisées par des sols ferrugineux, lessivés ou non, pauvres en humus, dont la haute teneur du complexe colloïdal en sesquioxydes de fer et d'aluminium favorise le passage de l'anion acide phosphorique en un complexe difficilement assimilable par les plantes (DENISSOV, 1982). C'est l'une des raisons pour lesquelles l'utilisation du Burkina phosphate n'entraîne pas toujours les résultats escomptés.

Aussi, pour accroître l'efficacité du Burkina phosphate, différentes études ont été menées. Ces études ont porté sur l'acidulation partielle (BIKIENGA et SEDOGO, 1981), l'apport de la matière organique combinée au Burkina phosphate (BADO, 1985 ; LOMPO, 1993). DIANOU et BA (1999) ont montré l'effet positif de trois souches de collection de rhizobactéries sur la solubilisation du Burkina phosphate, la fixation d'azote et la croissance du niébé.

Suite à ces travaux, nous nous sommes proposés d'étudier l'influence de bactéries natives isolées des sols de Kamboinsé sur la solubilisation du Burkina phosphate et leur impact sur la croissance et le développement du maïs.

Matériel et méthodes

Les bactéries

L'essai a porté sur des bactéries isolées à partir de sol prélevé à la Station de recherches de Kamboinsé. L'isolement, en boîtes de Pétri, a été fait par ensemencement de milieu de culture gélosé, à partir de suspension-dilutions de terre. Les boîtes de Pétri ensemencées ont été placées dans un incubateur à la température de 30 °C. Après 3 à 4 jours de culture, on a procédé à une purifica-

tion des souches ; pour ce faire, des colonies de bactéries ont été prélevées et étalées sur de nouvelles boîtes (une colonie par boîte). Cette opération a été répétée 4 à 5 fois et les cultures ont été conservées au réfrigérateur afin de bloquer la croissance des germes.

Le milieu de culture de MENKINA (RAZOUMOVSKAYA *et al.*, 1972 ; TEPPER *et al.*, 1987) a été utilisé. Ce milieu, adapté aux bactéries minéralisant le phosphate organique, est composé de : $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0,5 g ; NaCl 0,3 g ; KCl 0,3 g ; MgSO_4 0,3 g ; FeSO_4 trace ; MnSO_4 trace ; craie 5 g ; glucose 10 g ; phénol à 1 % 50 ml ; qsp 1 litre (eau distillée). Pour les cultures en milieu gélosé 15 g d'agar ont été ajoutés.

La présence de bactéries solubilisant le phosphate a été révélée par des plages claires formées autour des colonies.

La production d'inoculum, à partir d'une colonie de germes bactériens prélevée du support de culture gélosé, a été effectuée sur milieu liquide de MENKINA, dans des Erlenmeyer sous agitation permanente. Elle a été réalisée en conditions stériles à la température du laboratoire (30 à 35 °C) pendant 4 semaines.

L'inoculation des plantes a consisté à déposer à proximité de la graine, au moment du semis, 1 ml de culture bactérienne en pleine phase de croissance. Les plantes non inoculées ont également reçu 1 ml de milieu de culture autoclavé.

Estimation de l'efficacité des cultures bactériennes

Pour estimer l'aptitude des germes à solubiliser le phosphate, les mélanges ci-dessous ont été préparés en conditions stériles et répartis dans des flacons, placés sous agitation continue pendant 28 jours à la température de 30 à 35 °C :

1 = BP + Mo (BP + M₀)

2 = BP + M_i (BP + M_i)

Le Burkina phosphate a été apporté à raison de 5 g/100 ml ; M_i = milieu de culture de MENKINA ensemencé ; M₀ = milieu de culture de MENKINA non ensemencé.

Des prélèvements ont été effectués, par intervalles de temps de 7 jours et le phosphore assimilable a été dosé par la méthode de BRAY I (DICKMAN et BRAY, 1940).

La plante

La variété de maïs KPJ (Kamboinsé Précoce Jaune) d'un cycle végétatif de 88 jours (SANOU, 1993) a été utilisée. Les plantes ont été cultivées en serre dans des pots en PVC contenant chacun 3 kg de sol et 2 plants.

Le sol

Il a été prélevé dans un champ paysan voisin de la Station de Kamboinsé. C'est un sol légèrement acide à pH 6,2 et à faible teneur en phosphore ($P_{\text{assimilable}} = 7,2$ ppm, Bray I).

L'essai a été semé le 22 octobre 1996 et 25 jours après on a procédé à un apport d'azote sous forme de sulfate d'ammonium sur toutes les plantes.

Les traitements

Les traitements suivants ont été effectués :

- 1 = Témoin absolu (T)
- 2 = Burkina phosphate à la dose 2,5 g/kg de sol (BP₁ seul)
- 3 = Burkina phosphate à la dose de 2,5 g/kg de sol + inoculation (BP₁*I)
- 4 = Burkina phosphate à la dose de 5 g/kg de sol (BP₂ seul)
- 5 = Burkina phosphate à la dose de 5 g/kg de sol + inoculation (BP₂*I)

Le tableau I donne la composition chimique du Burkina phosphate utilisé.

Tableau I. Composition chimique moyenne et solubilité du phosphate naturel du Burkina Faso (TRUONG *et al.*, 1977).

Analyse des matières sèches	Teneur en %
Anhydride phosphorique	25,38
Oxyde de fer (Fe ₂ O ₃) soluble dans HCl	3,42
Aluminium (Al ₂ O ₃) soluble dans HCl	3,08
Chaux (CaO)	34,45
Anhydride carbonique (CO ₂)	1,00
Matière organique	0,09
Fluor (F)	2,54
Oxyde de potassium K ₂ O	0,23
Matière siliceuse (SiO ₂)	26,24
Oxyde de sodium (Na ₂ O)	0,11
Soufre (S)	0,04

Estimation des carences en azote et phosphore des plantes

Les niveaux de carences ont été estimés, après 25 jours de culture, à partir des signes caractéristiques des déficiences en azote et en phosphore présentés par les feuilles (ZILLINSKY, 1983).

Analyses statistiques des données

Les données ont été traitées par une analyse de variance et les moyennes ont été comparées par la méthode linéaire généralisée du test d'ANOVA. Les analyses ont été effectuées à l'aide du logiciel MINITAB (MINITAB, Copyright (C), 1998).

Résultats

Effets des cultures bactériennes sur la solubilisation du Burkina phosphate

L'examen des résultats d'analyse de variance (tableau II) montre des effets principaux significatifs pour les traitements, et l'interaction entre le traitement et le temps.

Tableau II. Analyse de la variance du P assimilable obtenu après 28 jours de culture.

Source	DL	SC	CM	F	P
Traitement	1	582390	582390	363,77	0,000
Temps	3	8926	2975	1,86	0,164
Interaction	3	16504	5501	3,44	0,033
Erreur	24	38423	1601		
Total	31	646243			

Après 28 jours de culture, la valeur moyenne phosphore assimilable (tableau III) du témoin non ensemencé est significativement plus faible que celle du traitement inoculé (BP+Mi). Les résultats montrent que l'ensemencement des milieux de culture a entraîné une augmentation de P assimilable de plus de 300 % comparativement au témoin.

Tableau III. Évolution des teneurs en phosphore des traitements en fonction du temps d'agitation (en ppm).

Traitement	Temps (jours)			
	7	14	21	28
BP+Mo	140,0	132,5	103,8	130,8
BP+Mi	391,2	337,5	426,6	431,5
Moyenne	265,6	235,0	264,9	281,1
ETM	48,7	44,5	61,5	56,9

ETM = Écart type moyen. Chaque valeur représente la moyenne de 4 répétitions.

BP = Burkina phosphate, Mo = milieu de culture non inoculé, Mi = milieu de culture inoculé.

Effets induits de l'inoculation sur la croissance et la nutrition de la plante

Effets sur la hauteur des plantes

Des différences significatives dues aux traitements sur la croissance des plantes (tableau IV) s'observent à partir du 21^e jour de culture entre les plantes témoins et les quatre autres traitements.

Tableau IV. Évolution de la hauteur des plants de maïs (cm).

Traitement	Temps (jours)				
	14	21	28	35	42
T	45,2	57,0	64,6	73,4	83,4
BP1	42,6	56,0	78,0	93,0	113,0
BP ₁ *I	49,4	61,3	79,0	91,4	108,8
BP2	43,4	58,8	84,2	98,0	115,0
BP ₂ *I	50,0	63,0	85,0	99,6	115,0
Moyenne	45,7	58,6	78,1	91,0	107,1
ETM	NS	NS	3,22	4,03	5,37
ETD	NS	NS	4,56	5,78	7,59

ETM = Écart type moyen ; ETD = Écart type de la différence. Chaque valeur représente la moyenne de 5 répétitions (dl traitement = 4, dl erreur 20).

T = témoin ; BP₁ = Burkina phosphate (2,5 g/kg de sol) ; BP₂ = Burkina phosphate (5 g/kg de sol) ; I = inoculé.

Effets sur la production de matière sèche

Après 7 semaines de culture, les valeurs moyennes par traitement (tableau V) du poids de matière sèche des racines et de la partie aérienne du témoin sont significativement plus basses que celles des traitements avec apport de Burkina phosphate inoculés ou non.

Tableau V. Effets des fumures sur la production de matière sèche des plantes (en g).

Traitement	Paramètres de rendements		
	MSA	MSR	MST
T	5,72	2,26	7,99
BP1	12,33	4,89	17,24
BP ₁ *I	12,40	4,10	16,50
BP2	16,12	3,82	19,94
BP ₂ *I	16,32	3,73	19,94
Moyenne	12,57	3,76	16,52
ETM	1,32	0,44	16,34
ETD	1,87	0,62	2,16

ETM = Écart type moyen ; ETD = Écart type de la différence. *I = Inoculé. Chaque valeur représente la moyenne de 5 répétitions (dl traitement = 4, dl erreur 20) ; MSA = poids de matière sèche aérienne ; MSR = poids de matière sèche des racines ; MST = poids de matière sèche totale ; T = témoin ; BP₁ = Burkina phosphate (2,5 g/kg de sol) ; BP₂ = Burkina phosphate (5 g/kg de sol) ; I = inoculé.

Effets sur les carences en phosphore

Le niveau de carences en phosphore observé chez les plantes témoins est significativement supérieur à celui des plantes avec adjonction de BP inoculé ou non (figure 1). On note un effet bénéfique de l'inoculation à la dose de 5 g/kg de sol de BP. À cette dose, le niveau de carence en P des plantes inoculées est significativement plus faible que celui des plantes non inoculées.

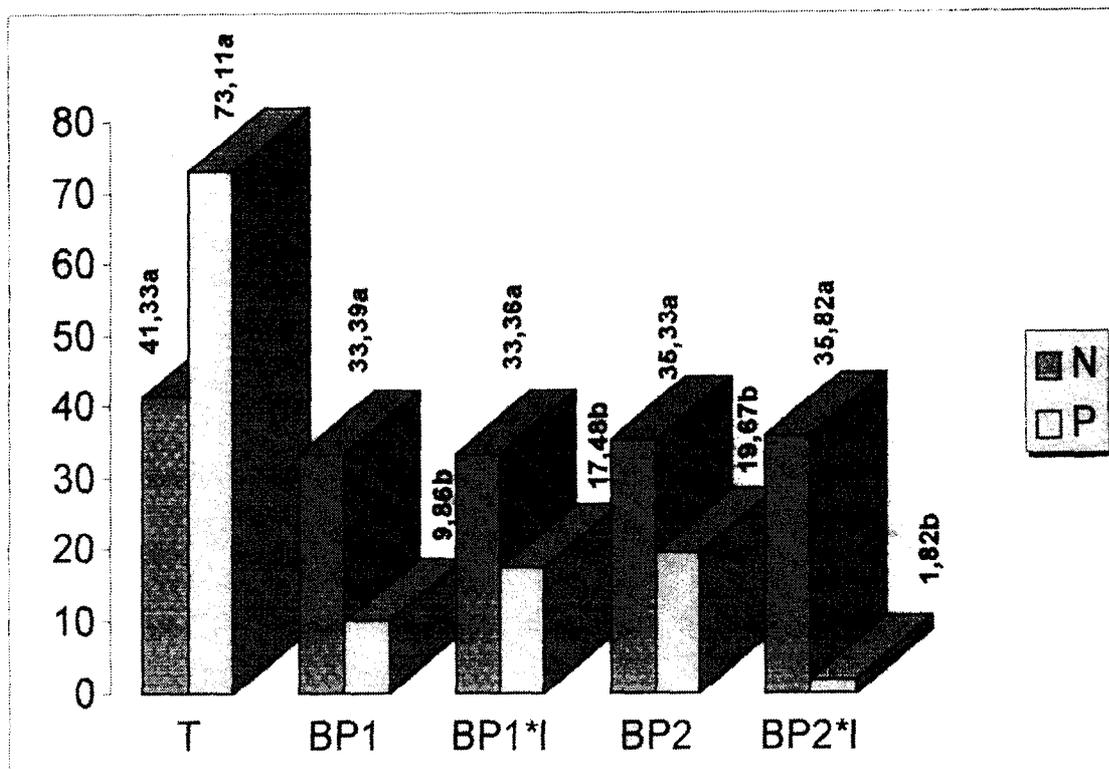


Figure 1. Niveaux des carences en azote (N) et en phosphore des plantes (P).

Les valeurs indiquées sur les histogrammes représentent les niveaux de carence. Chaque valeur représente la moyenne de 5 répétitions (dl traitement = 4, dl erreur = 20 ; carence en N : ETM = 5,16 ; carence en P : ETM = 7,67). Dans la même série les lettres identiques indiquent des valeurs non significativement différentes.

Le niveau de carence en azote des plantes est similaire pour tous les traitements.

Effets sur les teneurs en phosphore de la plante

Les résultats des analyses chimiques des teneurs en P montrent que la teneur en P des témoins est significativement la plus faible de tous les traitements (tableau VI).

On peut cependant noter une légère augmentation de la teneur en P du traitement Burkina phosphate de 5 et 25 % respectivement dans la partie aérienne et dans les racines par rapport au témoin. Cette augmentation due à l'inoculation s'observe à la dose de 2,5 g/kg de sol de BP.

Tableau VI. Teneur en P total (en mg) de la plante de la partie aérienne (PA) et des racines (RAC) et de la plante entière.

Traitement	Paramètres de rendements		
	PA	RAC	Plante entière
T	0,073	0,012	0,084
BP1	0,235	0,043	0,282
BP1*I	0,247	0,054	0,301
BP2	0,326	0,046	0,375
BP2*I	0,309	0,046	0,355
Moyenne	0,295	0,052	0,296
ETM	0,0063	0,0039	0,036
ETD	0,0084	0,0048	0,0084

Chaque valeur représente la moyenne de 2 répétitions ; (dl traitement = 1 ; dl erreur = 4).

T = témoin ; **BP₁** = Burkina phosphate (2,5 g/kg de sol) ; **BP₂** = Burkina phosphate (5 g/kg de sol) ; **I** = inoculé.

Discussion

Cette étude a montré, que les milieux de cultureensemencés avec les bactéries favorisent la solubilisation du Burkina phosphate comparativement au milieu de culture nonensemencé.

CHAKLY et BERTHELIN (1982) ont obtenu des résultats similaires aux nôtres par l'inoculation d'une bactérie rhizosphérique et d'une ectomycorhize sur la mobilisation du phosphore de phosphates minéraux et organiques insolubles.

L'application du Burkina phosphate a entraîné, par rapport au témoin non fertilisé, une bonne croissance et une augmentation de la nutrition en phosphore. Malgré la preuve de l'efficacité des germes bactériens inoculés, l'inoculation n'a pas entraîné d'effets spectaculaires sur les rendements des plantes. Ce résultat pourrait se justifier par l'une des raisons suivantes :

- les quantités de phosphate solubilisé sont trop faibles au regard des besoins de la plante et du volume élevé du support de culture (3 kg de sol par pot), diluant davantage le peu de phosphore libéré ;
- un antagonisme entre les bactéries introduites et celles composant la population initiale du sol. Cet antagonisme pourrait limiter l'efficacité des souches apportées ;

– une interaction, non bénéfique pour les plantes de maïs, avec des micro-organismes du genre mycorhize, comme ce qui ressort des travaux de LAHEURTE et BERTHELIN (1986). En effet, ces auteurs ont mis en évidence, en culture pure d'une souche d'*Enterobacter agglomerans*, la solubilisation du phosphate tricalcique, seulement l'inoculation de cette souche associée aux endomycorhizes n'a pas donné les résultats escomptés. Ils ont montré que l'association des deux symbiotes n'était pas bénéfique pour la plante comparativement à l'inoculation séparée. Les analyses biochimiques des exsudats des racines qu'ils ont effectuées ont montré la formation des produits inhibant l'absorption du phosphore par le maïs.

Le même phénomène a pu se produire dans notre expérience qui a été réalisée en conditions de culture non stérile.

Les bactéries utilisées dans cette étude font l'objet d'une identification ; il pourrait même s'agir d'un mélange composite de plusieurs espèces d'organismes incluant : bactéries et champignons solubilisant le phosphate.

Conclusion

Cette étude a montré une réponse à l'inoculation marquée par une tendance à la hausse, de 5 et 25 %, respectivement, sur la teneur en P de la biomasse aérienne et des racines, quand on applique 2,5g/kg de sol de Burkina phosphate. Elle révèle que l'inoculation des bactéries pourrait être une alternative à l'emploi des engrais phosphatés solubles, surtout pour des pays comme le Burkina Faso où la majorité des producteurs ne peuvent pas se procurer les engrais chimiques. La seule difficulté qui se pose, c'est de trouver des formules combinant ces bactéries soit avec d'autres microorganismes, soit avec d'autres produits (matières organiques), ce qui permettrait d'améliorer leur impact sur la production des plantes. □

Références citées

BADO B. V., 1985. Amélioration de l'efficacité des phosphates naturels par l'utilisation des matières organiques. Mémoire de fin d'étude ISP, Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 107 p.

BIKIENGA M. et SEDOGO M., 1981. Utilisation agricole des phosphates de Haute-Volta : synthèse des travaux d'expérimentation agronomique sur le volta-phosphate et les phosphates améliorés. Rapport Projet Phosphate, campagne 1981-1982, Projet phosphate de Haute-Volta, Ouagadougou, Burkina Faso, 62 p.

CHAKLY M. et BERTHELIN J., 1982. Rôle d'une ectomycorhize « *Pisolithus tinctorius-Pinus caribea* » d'une bactérie rhizosphérique sur la mobilisation du phosphore de phosphates minéraux et organiques insolubles. In Les Mycorhizes : biologie et utilisation. Dijon, 5-6 mai 1982, INRA, Paris, France, p. 215-220.

DENISSOV I., 1982. Principes de l'agriculture tropicale. Ed. Mir, Moscou, URSS, 240 p.

DIANOU D. et BA M. A., 1999. Réponse de *Vigna unguiculata* (L) walp à l'inoculation de rhizobactéries et de champignons mycorrhiziens en présence de phosphate naturel. Annales de l'Université de Ouagadougou, série B, 7 : 107-122.

DICKMAN S. R. and BRAY R. H., 1940. Colorimetric determination of phosphate. Ind. Eng. Chem., Anal., 12 : 665-668.

DUMONT C. et DUPONT DE DINECHIN B. La fumure phosphatée des cultures vivrières en Haute-Volta. In Colloque sur la fertilité des sols tropicaux, Tananarive, Madagascar, 19 au 25 novembre 1967, tome 1, IRAT, Paris, France, p. 439-656.

LAHEURTE F. and BERTHELIN J., 1986. Interactions between endomycorrhizas and phosphate solubilizing bacteria : effects on nutrition and growth of maize. In Proceedings of the first European Symposium on Mycorrhizae, Dijon, 1-5 July 1985, INRA, Paris, France, 832 p.

LOMPO F., 1993. Contribution à la valorisation des phosphates naturels du Burkina Faso : études des effets de l'interaction phosphates naturels-matière organiques. Thèse de docteur-ingénieur, Université nationale de Côte d'Ivoire, Abidjan, 247 p.

MINITAB, 1998. MINITAB, logiciel d'analyse statistique, version 12, pour Windows 95/Windows NT. Ed. MINITAB Inc., New York, USA, 166 p.

MOREL R. et QUANTIN P., 1972. Observations sur l'évolution à long terme de la fertilité des sols cultivés à Grimari (CRA). *Agronomie tropicale*, 27 (6-7) : 667-739

RAZOUMOVSKAYA Z. G., TCHIGIK G. Y. et GROMOV B. V., 1972. Cours pratiques de microbiologie du sol. Université de Léningrad, URSS, 183 p.

SANOU J., 1993. Choisir sa variété de maïs au Burkina Faso. INERA, Ouagadougou, Burkina Faso, 27 p.

TEPPER E. Z., CHNIKOVA V. K. et PIRVIERZEVA G. I., 1987. Cours pratiques de microbiologie. Agropromizdat. Moscou, URSS, 239 p.

TRUONG B., PICHOT J. et BEUNARD P., 1977. Caractérisation et comparaison des phosphates naturels tricalciques d'Afrique de l'Ouest en vue de leur utilisation directe en agriculture. *Agronomie tropicale*, 33 (2) : 136-145.

ZILLINSKY F. J., 1983. Carences en éléments minéraux et stress provoqués par l'environnement. In « Maladies communes des céréales à paille : Guide d'identification », CIMMYT, Mexico, Mexique, 141 p.