**Influence de différents types de fumures sur la nodulation**

**et la mycorhization des plants de niébé dans une rotation de cultures sorgho-niébé**

**Salawu Asimr, Vivienne Gianinazzi-Pearson··, Michel Papaoba Sedogo..\*,**

**Ayémou** Assa····

**Résumé**

La dynamique des populations des rhizobium et des mycorhizes à vésicules et arbuscules a été étudiée dans des sols soumis à plusieurs années de cultures. La longue pratique culturale avec ou sans apport de fumures affecte le pouvoir mycorhizogène des sols. Un effet inhibiteur de la fumure orgo-minérale forte sur le taux de colonisation des plants de niébé a été mis en évidence.

Ces résultats indiquent également que l'amendement organo-minéral à faible ou à fortes doses

améliore significativement la production des nodules par rapport aux autres traitements. Mots-clés : mycorhization. nodulation. matière organique. fumures minérales.

# Influence of different types of fertilizers on nodulation and mycorrhization of cowpea in sorghum and cowpea rotation system

**Abstract**

Dynamic of rhizobia and vesicular-arbuscular mycorrhizae population of soils submitted to a long period of cultivation have been studied. Long term cultivation with or without fertilizers application affected soi! myconhizae effectiveness.

High levels of organic matter and mineral fertilizers, when applied together. reduced the percentage of cowpea plant mycorrhization. Low and high levels application of organic matter combined with mineral fertilizers significantly improved nodules production.

Keywords: mycorrhization, nodulation. organic-matter. mineral fertilizers .

., !NERA. D0partcllh'nt produL·tion' foré;,lièr s. 03 B. P. 7047 Ouagadougou O.'l. Burkina Faso. CNRS-11"1{·\. Stalinn d'amdi(>ralion l.b plantes B\' 1540. 210 4 Dijon. Fran e.

C:'\RST. lkk')o!<lli<'ll ,:<'n•'ralc. 03 H.l'. 7047 Ouagadougou 03. Burkina Faso.

'"•"' '" t'FR ,b ,j,.,,.. ,<k b te tT<' l'l (b l'èS>OUI'CCS minièr s. 22 ll.l'.582 Abidjan 22. Côte d'Ivoire.

**Introduction**


#### Le Burkina Faso est un pays sahélien aux systèmes agricoles essentiellement extensifs et caractérisés par leur faible productivité. Parallèlement à ce faible niveau de production des cultures. on assiste à une croissance démographique galopante. Du coup, la pratique de la jachère est rendue pratiquement impossible. ce qui a pour conséquence une f011e pression fondère et un surpâturage. et partant. une dégradation continue des tetTes. Pour y remédier. la recherche a entrepris des études de divers ordres : fertilisation minérale. amendements organiques, utilisation des produits locaux du type burkina phosphate. etc. Ces études ont été menées soit à travers des essais annuels, soit à travers des dispositifs expérimentaux de longue durée, comme celui de Sada (province du Bulkiemdé). dans lequel les études sont axées sur l'amélioration et le maintien de la fettilité des sols par amendements minéraux et organiques.

Le dispositif expérimental de longue durée de Saria a servi de support pour de nombreuses études axées. principalement sur les aspects physiques (OUATTARA, 1994) et chimiques (GUIRA. 1988: SEDOGO. 1993). Ces études ont indiqué, entre autres, un effet bénéfique de la matière organique sur la fertilité et la texture des sols. Elles ont montré également que le main­ tien de la fertilité physique des sols tient à une bonne gestion du stock de matière organique (OUATTARA. 1994).

Si les préoccupations en matière de la chimie et de la physique des sols du dispositif expéri­ mental de longue durée de Saria ont été largement prises en compte, celles relatives aux relations entre le sol. la plante et les micro organismes ont été réduites. L'objectif de cette étude était de compléter les données obtenues sur ces sols en chimie et en physique par des travaux sur la dyna­ mique de deu,; symhiotes : les rhizohium et les mycorhizes.

L'étude se justifie par l'importance de ces deux symbiotes dans l'agriculture :

- les mycorhizes favorisent l'utilisation des éléments minéraux du sol. en pm1iculicr le phosphore (OOMMERGUES et MANGENOT. 1970; MOSSE. 1973; GIANINAZZI-PEA SON. 1976. 1982. 1986 : ASIMI. 1979 : ASIMI *er al.,* 1980 :AZCON-AGUILAR *er ol..* 1 9Sü) :

-les rhizobium améliorent la fixation de l'azote de l'air en le réduisant en •v.otl..' assimilahk: par

la légumineuse (AYANABA. 1979; DENARIE. 1979; DANSO. 19()1J.

**Matériel et méthodes**

#### Les sols

Le'> tra' au\ <lill ét( réali..,é!-. au <.:ours des campagne agrkulc 199üL'I 191>7. 1 A' til al;. e ont por!L: ur JL' plant ·" l'UIIÎ\'ée"> en pkin champ d cl'lles produite;., L'Il \a L'!-. d,· \l' \.;tatiott. LA'" ;.ob utili pour ln ,\_·ultur''' \.'Il\!).:-,<,;:-, ont ..51\J pri3Jl:\·6 Mil f'lnliÎ!Oll Lk lll i'al'l' 0<::0 1.'lll 1 .l lt'aih:Jlk'lltS Mlllt k

'-LÜ\alll'-: ,,;m<>in an' engrais (T). fwnut\ min ntk faihk aH'C '' titution d .· p:dlk ifmn. fumu11.:

mirt rak faihk +5lilta/2an de fumier (fmo). fumure minérale faible (fm). fumure minérale fmte + 40t/ha/:2an de lumit:r <FM<)). funt ure minérak fottc (Fl\1). Fumure mittéralc faible= 1(){)kg/ha NPK ( 14-2 -14) + 50kg/lta urée. lumurc minérale forte= J50kg/ha NPK ( 14-23-14) + IOOkg/ha urée+

50kt!:/ha K< '1).

Les caractéristiques chimiqul.!s de ces sols sont différentes selon les fumures appliquées (tableau 1) :

* la teneur en P du témoin est la plus faible de tous les traitements tandis que celle de FMO est

la plus élevée :

* les fumures minérales appliquées seules ont une teneur en C inférieure à celle des autres ;
* les pH du témoin et de FMO sont identiques et sont supérieurs aux pH des traitements fmr, fmo, fm et FM.

Tableau 1. Caractéristiques chimiques et pH des sols (moyennes des analyses effectuées en 1996

et 1997).

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Traitement | C lltr | N%c | C/N | P%c. | pHeau |
| Témoin | 3.20a | 0.26a | ll,6a | 0,015a | 6.6a |
| fmr | 3.42a | 0,30a | l0,9a | 0,067b | 5.7b |
| fmo | 3.22a | OJ3a | 9,3a | 0,069b | 5,9b |
| fm | 2.70a | 0,3à | 9,4a | 0,075b | 5.4bc |
| FMO | 5,13b | 0 ,5lb | 9,4a | 0,128c | 6,2a |
| FM | 2,87a | 0,28a | lü,la | 0,083b | 4,8c |

Les valeurs d'une (;olonne suivies de la même lettre ne sont pas signifkativement différentes (p = 0,05)

T = témoin san engrais : fmr = fumure minérale faible avec restitution de paille : t'mo = fumure minérale faible + 5t/hu/2ans de fumier ; fm = fumure minérale faible ; Fl\10 = fumure minérale forte + 40t/ha/2ans de fumier ; FM= fumure minérale forte.

Le matériel végétal

La variété KNI de niébé *(Vif?na unguiculata)* a été utilisée. Sa production dans les zones à pluviométrie comprise entre 700 et 1100 mm peut atteindre 2000 kg/ha si les conditions de culture sont bien respectées.

#### Les cultures et les mesures

Culture au champ

Les unaly!.I!S ont concerné les cultures mises en place pendant la saison pluvieuse 1997. Les plant s ont étt! récoltées sept s maines après semis, puis les nodules ont été extraits, comptés et pesés.

#### Cultures en serre

Elles ont eu li u en 1996 et 1997 sous une serre couverte de ttlles en m;Uit•n: tran:-.lucide dans des pots en PVC de capacité 1 dm3. Des plantules stériles prégermées om été transplantées. à raison

d'une plantule par pot ct de cinq répétitions par traitement. A la récolte inten·enue après quatre

semaines de culture. les nodules ont été extraits des racines. puis compté7>. :->l'chés et pesés.

L'éclairage était fourni par la lumière du jour, tandis que l'i.lrrosage. ù l'l.'au distillée stérile. a été

effectué quotidiennement.

#### Évaluation du taux de mycorhization

Le taux de mycorhization des racines a été estimé par la méthode de TROU VELOT *et ol.* (1986)

après coloration au bleu de Trypan selon la technique de PHILIPS et HAYMAN ( 1970).

Des racines lavées ont été découpées en segments de 1 cm qui ont été plongés dans une solution de KOH 10 rf.:. pendant une heure à 90 °C puis rincés et colorés par une solution lactophénol de bleu de Trypan à 0,1 %. Après coloration, les segments sont rincés dans un mélange de lactophénol-eau ( 1 : J, V*N)* puis mont6s sur des lames, (à raison de 10 segments par lame). dans de la glycérine.

L'observation au mïcroscope a permis d 1estimer le taux mycorhization en tenant compte de la densité de vésicules présentes. On définit ainsi la fréquence et l'intensité de l'infection qui repré­ sentent respectivement le nombre et la longueur totale de racines colonisées. Elles sont données par les formules suivantes :

- fréquence = 100 (N·n0)/N

-intensité= (95n5 + 70n4 + 30113 + 5n2 + nl)/N

où n

0

est le nombre de segments sans aucune vésicule et N le nombre total de segments ;

ns, n4. n 1 désignent les nombres de fragments notés selon le système de notation proposé par TROlJVELOT *et al.* ( 1986) et tenant compte de la proportion de co1tex colonisé par le microor­

ganisme.

#### Dosages chimiques des sols

Les méthodes de WALKLEY-BLACK (WALKLEY et BLACK, 1934). de macro-KJELDAHL (HILLEBRAND *et al..* 1953) et de BRAY 1 (DICKMAN et BRAY. 1940) 0nt servi, respective­ ment pour le dosage des éléments C, N et P des sols.

Analyses statistiques des données

Lès données ont été traitées par une analyse de variance et les moyennes comparées à l'aide de la méthode linéaire généralisée du test d'ANOVA. les coefficients de corrélations par la méthode de régression simple.

Résultats

Cultures au champ La nodulation

L'application des fumures induit un effet significatif sur la production des nodules

(tableau Il). Ainsi, pour chaque composante considérée :

* le nombre de nodules par plante est identique pour les fumures organe-minérales forte (FMO) et faible (fmo) et significativement plus élevé que pour les fumures minérales forte (FM) et faible (fm) (FM) et le témoin. La fumure minérale faible avec restitution de paille (fmr), présente une valeur intermédiaire (les différences observées ne sont pas significatives) ;

le poids sec total des nodules par plante est maximal avec la fumure fmr suivie de fmo, fm et FM (différence non significative), tandis que les valeurs pour le témoin et FMO sont confon­ dues et significativement inférieures aux précédentes. Seul le poids sec par nodule de la fumu­ re FMO est significativement plus faible que celui des cinq autres traitements dont les valeurs ne sont pas significativement différentes.

Tableau II. Influence des traitements sur la nodulation et la mycorhization chez le niébé cultivé en plein champ.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Nodules | Mycorhizes |
| Traitement |  Nombre Poids sec  | Fréquence% Intensité% |

g/plante mg/nodule

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Témoin | 13.6a | 9,8a | l,Ob | 80,0bc | 47,9b |
| fmr | 50,lab | 80,2c | 1,2b | 90,0c | 45,3b |
| fmo | 67.5b | 65,8bc | l,lb | 77,5bc | 36,3ab |
| fm | 20,8a | 33,4bc | 1,4b | 57,8ab | 35,5ab |
| FMO | 68.4b | 17.4a | 0,4a | 48,8a | 20,3a |
| FM | 18.5a | 39,5bc | 2,4b | 60,0ab | 37,7ab |

Les mleurs J'une :olonne suivies d'une lettre identique ne sont pas significativement différentes (8 répétitions par traitement: p *=* 0,05).

T = témoin sam. engrai : fmr = fumure minérale faible avec restitution de paille : l'mo = fumure minérale faible + 5tlha/2ans de fumi.er : fm = fumure minérale faible : Fl\10 = fumure minérale forte: + -t.Ot/ha/2ans de fumier : FM = fumure minérale forte.

\ol. 2-1, n< 1 Jamiei··juin 2000, *Science et teclz11ique,* Sciences naturelles et agronomie

##### La mycorhization

Les résultats concernant la mycorhization des plantes montrent un effet Ît!nîlïcatif des fumures sur le taux de colonisation des racines (tableau II) :

-la fréquence dïnfection la plus élevée est observée pour la fumure fmr UÎ\ ie (différence non significative) du témoin et des fumures fmo, fm et FM :

* la fréquence d'infection du traitement FMO est significativement plus faible que celle des autres fumures :
* l'intensité d'infection est maximale pour le témoin. les traitements fmr. fmo et fm. Elle est significativement plus faible pour le traitement FMO.

**Cultures en < onditions controlées**

##### La nodulation

Les fumures ont un effet significatif sur la production des nodules aprè:, quatre semaines de cultures (tableau Ill):

le nombre de nodules par plante est maximal pour les fumures fmo *et* FMO. Les fumures témoin et FM sont équivalentes. Elles sont significativement inférieures aux deux fumures précédentes. Les fumures fmr et fm présentent des valeurs intermédiaires :

le poids sec Je nodules de la fumure FMO est significativement le plus t.!levé suivi de fmo. Quant aux fumures témoin. fmr. fm et FM elles ont des valeurs comparabks.

**Tableau III.** Production de nodules des plants de niébé cultivés en \'ases de végétation (valeurs

moyennes des productions des années 1996 et 1997).

Traitement Nombre/plante

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| fmr fmu fm | 24.lbc 36.0c18.4ab | 27 .!Sab53.!0c33.82bc | 1.61ab 1.92b1.7lab |
| FMOH\1 | 38.5c9.2a | 48.64c19.60a | 1 .78ab1 ,71ab |

\., , Yal,•m, d'une· ,.,,!1,1111(' ui,·ic d'unc k\\rc identique ne S\Hll pm. 'ig:niiÏl'ati\cmcm diil0t\'lllc'>

1 :i tc'pèt illt\11' p,tl trattl'llll'lll : p 0.05 J.

**T** = t,'mnin >dth L'11,t"rai' · l'nu fttl1111f<' minéral<' L1ihlc• "'<'L' rcstituli\\n d pail! .

fnw *:=* IÙilllll"c' ntin,!rak l<tibk + 5t/h<t/::'<tll.> de funticr: fm= fumure minérale f tihk .

F\10 = tu mure· nlith;rak !'11rtc + -\.Ot/h<lf2an:, Je fumier : **l<'l\1** = lu mure nllncrak lnrh·.

26 \'ol. 2-J, n 1 ,Janril•r-juin 21HI0, *."iciena et technique,* Sdt•nn·s naturcllt•s ct agrmmnÜl'

Le poids dt• matière sèche de la plante

Ll· poid Je la mati n: sèche des plantes (fïgure l J traduit les effets cumulés des symbiotes (rhi;obium,·t mycorhizes) et des fumures minérales et organiques appliquées. Les histogrammes de la fi 11re 1 donnent les tendances observées par traitement :

la mas:-;c sl.•che Je la pmtie aérienne est maximale avec le traitement FMO (fumure organo-minérak forte) suivie de celle du traitement fmo (fumure organo-minérale faible) tandis que les Yaleurs pour les traitements témoin, fmr (fumure minérale faible avec restitution de paille). fm (fumure minérale faible) et FM (fumure minérale forte) sont comparables et significativement inférieures aux précédentes:

* les poids secs Je" racines ne présentent pas de différences sauf pour la fumure FMO qui demeure le plus élevé ;
* pour la masse sèche totale (MST), on peut noter que celle du traitement fmo présente une valeur intermédiaire : elle est inférieure au traitement FMO et supérieure aux quatre autres traitements témoin. fmr. fm et FM.

IJJ

OMSR

?000 .MSA

1800 CMST

1600

1400

ë 1200

(\)

ëi

"èn lOOD

E

Ill 800

1:l

IS

600

0..

400

200

*()* MST

Figure l. Histogrammes illustrant le poids de la matière des plantes produites en vase de végétation.

T =témoin :-.:m' cngrai' : fmr = fumure minérale faible avec restitution de paille ; t'mo = fumurl' minérale faible + 5t/ha/2ans de fumier : fm = fumure minérale faible ;

Fl\10 fumure minérale forte + 40t/ha/2ans de fumier: FM fumure minérale fOJte :

l\ISA = matü rc >èche at ricnnc : MST = matière sèche des racines : MST =matière sèche totale.

Étude des corrélations entre les caractéristiques chimiques et les paramètres biologiques mesurés

Dans les cultures au champ la production des nodules est corrélée avec *C.* Pd N. tandis que le coefficient de corrélation avec le pH reste relativement bas (tableau IV).

Le taux d'infection mycorhizienne est négativement corrélé avec N et P. les autres corrélations ne sont pus significatives.

Dans les cultures en vases :

* le nombre de nodules est corrélé avec C et le pH ;
* la masse sèche par plante des nodules est conélée avec C et N.

Tableau IV. Coefficients de corrélations (R) entre les caractéristiques des sols. la mycorhization

et la production de nodules (3 répétitions par traitement).

Conditions de culture

Champ N

Mycorhization Taux infect.

- 0.49\*

Nodulation

Nombre MS/plante

+ 0.62\* - 0.08

p

c

pH

Vases de N

végétation P f:' pH

- 0.57\*

-0.29

+ 0.11

+ 0,52\*

+ 0.55\*

+ 0.05

+ 0.38

+ 0.25

+ 0.53''

+ 0.61 ";'

-0.06

- 0.19

- 0.2-+

+ O.ü5''"''

+ 0.35

+ *OA9;'*

+ 0.07

R = 0.47 tp = 0.47) : R = 0,59 (p = 0.01) : \*(significatif à p = 0,05) : \*\*(significatif à p = 0.01 ). T =témoin ;ans engrais : fmr = fumure minémle faible avec restitution de paille :

fmo =fumure minérale faihle + 5t/ha/2ans *de* fumier: fm= fumure minérale faible : Fl\IO =fumure minérale forte+ -1.0t/ha/2ans de fumier: f"'M =fumure minérale forte.

## Discussion

Le résultats obtenus. au champ et en ,·ases de \'égétation. sont simibit"t''·

La production des nodules

( .h1 ,;,,IL' lllll' 1<>1!<.' lll:.:llh.'li!< lÎ<Hl du tHllllhrL' ct du poid:-. lk lhlUUk·· ! ''li··· 1'1: l.tnk. ui!L' a 1 ·'!'11 111 d.· Li nul i•:'l c' • >r ;!l,i. lHc' 1 ;\ 10 l :1 l'ai bk L'\ :1 flirt l' d, 1:>-L''-

L'apport de MO augmente les teneurs en P assimilable du sol mais sans doute pas seulement par apport Je MO mais éf!alcmcnt par augmentation de l'activité biologique et la solubilisation du P immobilisé dans le sol (tableau I).

L:' même effet a été obtenu par LUSE *et al.* (1975). JONES *et al.* (1977). SINGLETON *i'l al.* ( 1985). qui ont montré gue les doses élevées de phosphore entraînent une augmentation du nombre et du poids des nodules respectivement chez le niébé et le soja, alors que TEWARI ( 1965) a plutôt observé sur les plants de niébé une augmentation du nombre des nodules efficients et non pas leur nombre total.

Les teneurs en azote des sols sont corrélées au nombre de nodules formés (tableau IV). Or. il est bien connu que l'application des doses élevées de N. en particulier l'azote minéral. induit un effet dépressif sur la nodulation (FRED et GAUL. 1916; PATE et DART, 1961 ; DART et WILDON. 1970 ; DREYFUS et DOMMERGUES. 1980 ; PICASSO *et al.,* 1984).

On peut donc conclure que le niveau d'azote des fumures appliquées, même fortes (FM et FMO), n'est pas un facteur limitant pour la nodulation du niébé, dans nos conditions de cultures.

Notre étude a aussi révélé. au niveau des cultures au champ. et ce contrairement aux cultures en vase. une diminution due à la fumure organo-minérale forte, à la fois de la masse sèche totale des nodules par plante et du poids sec par nodule. Ce qui laisse supposer que ce traitement favoriserait l'initiation et la formation des nodules en grand nombre au détriment de leur masse sèche.

### La mycorhization

La fumure FMO inhibe plus la mycorhization que les autres traitements, ce qui pomTait s'expli­ quer par la différence des teneurs en éléments minéraux des sols, en particulier Je phosphore as-,imilable. La teneur en P des sols, montre des différences significatives entre les traitements et ces différences se reflètent sur le taux d'infection (tableau 1).

Dl.! même. dans les cultures au champ. le taux d'infection est négativement corrélé avec P. ce qui alteste que quand P augmente. le taux de colonisation des racines diminue.

L'efll.!t inhibiteur du P assimilable sur la mycorhization a depuis longtemps été mis en 15\idcncc (ASIMI *et al ..* 19t\O : PONS et GIANINAZZI-PEARSON. 1984 ; JACQUELINET JEANMOUGIN *et al..* 1986 l.

On note également. que la fumure fmr se comporte comme le témoin. vis-à-vis de la mycorhization. cc qui pourrait s'expliquer par une décomposition lente de la paille enfouie dans le sol.

# Conclusion

Cette étude pcrnwt de conclure que l'apport de la fumure organo-minérale. ü faihlè et ù forte doses. favoris•: la production (nombre ct poids) des nodules. Cet effet bénéfique serait dû ü une augmentation L n P assimilable des fumures organo-minérales. Contrairem..:nt à cc qu'on ohsern pour la production des nodules. la forte dose de la fumure organo-minérale entraîne une dimi·· nution de la mycorhization.

Ainsi donc. dans la pratique on peut retenir que l'application des fumures organo-minérales améliore la nodulation tandis qu'elle induit un effet dépressif sur la mycorbization. ce qui pourrait être défavorable pour la culture de cettaines plantes à forte dépendance mycorhizienne.

Quant aux fumures minérales appliquées sans apport de MO, elles ne semblent pas trop affecter la nodulation et la mycorhization.

Ces résultats peuvent s'expliquer par la différence en éléments minéraux. en patticulier le phos­ phore assimilable. induite dans les sols par les deux types d'amendements.O

# Références citées

ASIMI S., 1979. Interactions entre les Endomycorhizes VA. le Rhizobium el le Phm.phorc du sol chez le soja

(Grcinr' *max* <LJ *Mari/1, mr Amsor).* Thèse de Doct., Université de Dijon. France. 32 p.

ASII\11 S., GIANINAZZI-PEARSON V. and GIANINAZZI S., 1980.Jntlucnce ofincreasing soit phosphate levels on interaction:-. hetm cn \esicular-arbuscular mycorrhizae and Rhizobium in soybcan. *Canadian Joumal of Botanr.* 58 : 2200-2206.

A YAN ABA A., 1979. Biological nitrogen fixation in At"rica. Pme. GIAM- V Bangkok. Thaïlande. p. 46-51.

AZCON-AGUILAR C., GIANINAZZI-PEARSON V., FARDEAU **.J.** C. and GIANINAZZI S., 1986. Effcct of

vesicular-arbuscnlar rnycorrhizae fungi and phosphale-solubilising bac teri a on growth and nutrition of soybean in neu­ tral calccreou oit amcnded with 32P-"' Ca-tricalcium phosphate. *Piani and soif.* 96 : 3-15.

DANSO S. K. A., 1991. Biological nitrogen llxation in tropical agrosystems: t\\cnty ycars or biological nitrogen fixation in /\frica. *ln* " Biological Nitrogen fixation and sustainahility of tropical agriculture"· Mulongoy K.. GUEYE M .. SPENDER D.S.C. Eds. John Wiley and Sons. New York. USA. 488 p.

DAUT P. .J. and WILDON D. C., 1970. Nodulalion and nitrogcn fixation hy *\'igna .IÏ!Icllsis* and *Vicia atropurpurea*

: the in1luence of concentration. forrn. and sile of application of comhined nitrogen. *Au.11 . .1. ,\gric. Res.* 21 : 45-56.

DENARIE .J,, 1979. La ymbio'c Rhizobium Légumineuses: rôks respectifs de<. Jl<trtcn:tir'''· *1'/nsiologic \'/gétale.*

17 ( ): (> :;-(,(,7

DICK!\ lAN S. R. and HRA Y R. H., 1940. Colorimetrie determination of phosphate. Ind. Eng. Chem .. Anal. Ed.. 12: 665-668

DOMl\1ERGUES Y. et MANGENOT F., 1970. Écologie Microbienne du soL Edition MASSON et Cie.. Paris. France, 795 p.

DREYFUS B. et D01VlMERGUES Y., 1980. Non-inhibition d'azote atmosphérique par l'azote combiné chez une légumineuse à nodules eaulinaircs. *Sesbania rostrata.* C. R. Acad Sc. Paris. France, 291 : 767-770.

FRED E. B. and GAULE. J,, 1916. The effect of soluble nitrogenous on nodule formation. *Journal of American*

*Societv of Agronomy.* 8 : 316-328.

GIANINAZZI-PEARSON V., 1976. Les mycorhizes endotrophes : état actuel des connaissances et possibilités d'application dans la pratique culturale. Ann. Phytopathol, 8 (3) : 249-256.

GIANINAZZI-PEARSON V., 1982. Importance des mycorhizes dans la nutrition et la physiologie des plantes. Les

Mycorhizes :biologie et utilisation. Les Colloques de l'INRA n° 13. Paris, France.

GIANINAZZI-PEARSON V., 1986. Mycorrhizae: a potentiel for a better use of phosphate fertilizer. *Fertili:.ers and*

*Agriculture* (92).

GUIRA T., 1988. Intensification de la culture de sorgho en sol ferrugineux. Étude des effets induits des techniques culturales sur la fertililé des sols. Mémoire de fin d'études, ISN/IDR Université de Ouagadougou. Burkina Faso. 96 p.

HILLEBRAND W. F., LUNUELL G. E. F, BRIGHT H. A and HOFFMAN J. 1., 1953. Applied inorganic

analysis. 2nd ed. John Wiley & Sons, lnc.. New York. USA. 1034 p.

JACQL'ELINET-.JK\:'\!\IOUGIN S., GIANINAZZI S. and GIANINAZZI-PEARSON V., 1986. Influence of

cm.lomycnrrhi;a on the phosphate nutrition or *Gcntiana lutca* L. MycoiThizae : physiology and genetics. 1" ESM. Dijon, l-5july !9116.1!'\RA. Pari::;, France. p. 311-315 .

.JONES c;. D.. LUTZ .1. A. and Sl\liTII T. J., 1977. Elïects or pho phorus and pota. sium on soybcan nodules and

;.ccd yidd . *.\grollomrlounw/.* ()9: 1003-1106.

LUSE H. L.. K.\N(; B.T., FOX R. L. and NANGJU D., 1975. Protcin quality in grain legume grown in the low­ land lmmitl tmp1vs. 11 ith 'pecial reference to we;t Afrîca. *ln«* Fertilizer use and Protcin Production». XI''Colloquium lmernationai PPla h ln,ututc. Bomholm: Denmark.

l\IOSSE Il., 1(>7.\. ·\d 1a ne,·,; in the ;-tudy of vcsicular-arhu:,cular mycnrrhizac. *Am1. Rer. Phïtopath ..* Il : 171-195.

OL\TL\R\ B.. 1 94. Conlrihll!Îon ù l'étude de l'évolution de, propriétés phy iques d'un sol fe1mgincux tropical 'ou> ..:ulturc . Pratiques culturales cl états 'tructuraux. Thèoe de Doel. lng., Université nationale de Côte d'li ni re. Abidjan. 1 )(, p.

**PATE .J. Sand I>ART P. .J., 1961.** Nodulation studies in legumes. IV. The influence of 1noculum !Main and ti mc of appliL·ation of ammonJum nitrate on symhiotic response. *l'la111 and Soif.* 15 : 329-3-1.6.

**PHILIPS .J. 1\l. and liA YMAN D.** S., **1970.** lmprovcd procedures for clearing root and qaining para,itJc vcsicular­ arhuscular fungi for rapid asscssment of infection. *Transactions of' British Mrco/ogiml So, ict1·.* 55 : 158-161.

**PICASSO C., ASIMI** S. ct **DHERY 1\1., 1984.** Le soja en Haute-Volta: Résultats de la recherche ct application au développement. *(Jh'agineu.r.* 39 (5) : 273-279.

**PONS F. et GIANINAZZI-PEARSON V., 1984.** Influence du phosphate. du potassium. de l'at:ote ct du pH sur le comportement *in l'itro* de- champignons endomyeorhizogènes à vésicules ct arbusculcs. *Cnptogamie, Mycologie (CrJïJlog., Mrco/.)* Tome 5: 87-100.

**SEDOGO M. P., 1993.** Évolution des sols fenLigineux lessivés sous culture : incidence des modes de gestion sur la fertilité. Thèse Doct. ès-sciences (sciences du sol). Université nationale de Côte d'Ivoire. Abidjan. 332 p.

**SINGLETON P. W., ABDELMAGID H. M. and TAVARES J. W., 1985.** Effect of phosphorus on the effective­ ness of strains of *Rhi::.obium japonicum. Soi/ Scieney Society American Jou mal.* 49 : 613-618.

**TEWARI G. P., 1965.** Effects of nitrogen. phosphoms and potassium on nodulation in cowpca. Exp. Agri .. 1

257-259.

**TROUVELOT A., KOUGH J. et GIANINAZZI-PEARSON V., 1986.** Mesure du taux de mycorhization d'un système radiculaire. Recherche de méthode d'estimation ayant une signification fonctionnelle. *ln* " Physiological and Genetical A>pccts of Mycon·hizae >>, V. Gianinazzi-Pearson and Gianinazzi. INRA Publications. Paris. France. p. 217-221.

**WALKLEY A. and BLACK 1.** A., **1934.** An examination method of the Dedtjareff mcthod for determining soi! organic matter and a proposcd modification of the chromic acid titration method. Soi! Science. 37 : 29-38.