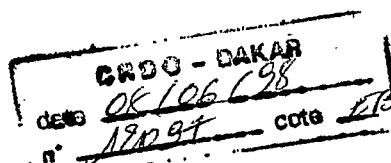


Trois traitements recommandés pour la culture de l'arachide au Sénégal : dénématation, inoculation des semences par rhizobiums sélectionnés et apport de phosphogypse

M. DHERY ⁽¹⁾ et B. DREYFUS ⁽²⁾



Résumé: — Les nématodes parasitant l'arachide entraînent des pertes de rendement sévères et parallèlement gênent la nodulation naturelle. Sur sol dénématé (injection de 9 kg/ha de DBCP/ha) un complément de calcium soufre et azote à la fumure vulgarisée de 150 kg/ha de 6.20.10 augmente le nombre et l'importance des réponses. L'utilisation de l'inoculation rhizobienne comme source d'azote dans la fumure a donc été testée avec des souches sélectionnées par l'Orstom/Dakar à partir des sols sénégalais. Les résultats sont positifs, l'inoculation améliore le rendement et le stock azoté du sol. L'inoculation se fait par enrobage des graines avec une poudre sèche avant le semis. Il n'est besoin d'aucune précaution et les paysans sont parfaitement aptes à employer la méthode sans formation particulière. Le complément rhizobium-phosphogypse pour apporter S.Ca.N permet d'envisager d'autres sources de phosphore que le 6.20.10 et d'espérer abaisser de moitié le prix de la fumure actuelle.

Mots-clés : Sénégal, arachide, inoculation, rhizobium, phosphogypse, fumure

INTRODUCTION

Dans le bassin arachidier Nord du Sénégal la désinfection partielle des sols par le DBCP (1,2 dibromo-3-chloropropane), que nous désignons ici sous le terme de dénématation, accroît significativement les rendements en gousses et fanes de l'arachide. En outre, ce traitement exerce pendant trois ans des arrière-effets bénéfiques sur les cultures de céréales et légumineuses [1,2,8].

L'origine de l'effet favorable de la dénématation sur les rendements de l'arachide est multiple. Des recherches effectuées au laboratoire et en serre ont clairement montré que, parmi les différents mécanismes impliqués, l'amélioration de la fixation de N₂ joue un rôle de tout premier plan [8,9,10,11,13]. Dès 1984, nous avons vérifié cette conclusion en milieu paysan : à partir de treize essais, il est apparu que la dénématation améliorait la nodulation (donc très probablement la fixation de N₂) et parallèlement augmentait la teneur du sol en N total. En effet, à la suite du traitement au DBCP, le nombre moyen de nodules par pied d'arachide, évalué au 60ème jour, passait de 15 à 33 ; parallèlement la teneur du sol en N pour mille, déterminée sur des échantillons prélevés en fin de saison sèche (5 prélèvements par parcelle), passait de 0,138 à 0,158, la différence étant hautement significative.

Si l'application de DBCP exerce un effet bénéfique sur la nodulation et la fixation de N₂ en éliminant le facteur limitant que constitue l'infection par les nématodes, on peut toutefois supposer qu'un autre facteur peut subsister pour

diminuer la fixation de N₂, à savoir l'insuffisance dans les sols de populations de rhizobiums performants compatibles avec l'arachide. C'est pourquoi, nous avons lancé une série d'investigations, conduites au laboratoire et au champ, pour répondre à la question de savoir si la conjugaison des deux traitements, dénématation et inoculation avec des souches de rhizobium efficaces (fixatrices de N₂), permettait d'améliorer davantage la fixation de N₂ et ainsi, assurer la nutrition azotée de l'arachide, de façon à éviter de recourir à la fertilisation azotée.

L'étude effectuée a été conduite à trois niveaux :

- au laboratoire et en serre : criblage de souches performantes ;
- au champ essais agronomiques de type factoriel ;
- essais en milieu paysan.

En guise de conclusion, on a tenté de réaliser une première étude économique de la fertilisation et de l'inoculation de l'arachide.

MATERIEL ET METHODES

1. — Déneumatation

La dénématation des sols a été réalisée avec du Dibromochloro-propane (DBCP) injecté à l'aide du stériculteur SISMAR [12] ; les doses utilisées ont varié dans le temps : (1987 - 15 kg/ha, 1988 - 12 kg/ha, 1989 - 9 kg/ha).

(1) Ingénieur ENSAT - Département Oléagineux du CIRAD/IRHO 11, square Pétrarque 75116 Paris (France)

(2) Laboratoire de Microbiologie des sols de l'ORSTOM - B.P. 1386 Dakar (Sénégal)



2. — Isolement et criblage des souches de rhizobium

L'isolement des souches de rhizobium a été effectué à partir d'arachides cultivées en pots sur un mélange de sols du Bassin arachidier du Sénégal prélevés au cours de prospections nématologiques. Les isolats ont été retenus à partir de nodules caractérisés par une activité productrice d'acétylène élevée.

Le criblage des souches effectives a été fondé sur l'utilisation de cinq critères :

- résistance au DBCP (seuil de tolérance : 5 ppm) ;
- résistance au Bénomyl (seuil de tolérance : 10 ppm) ;
- vigueur des plants évalués suivant une échelle de 0 à 10 ;
- teneur en N total des pots ;
- poids sec des gousses, tiges et racines.

Les souches ayant satisfait les deux premiers critères ont été inoculées à des plantes cultivées en pots. Au bout de 60 jours, on a évalué la vigueur des plants et déterminé la teneur en N total des pots. Les souches retenues en définitive ont été les suivantes : S10, N22V1 et RCH. Les expériences de contrôle figurant aux tableaux I et II ont confirmé les bonnes qualités de ces souches dans différentes conditions de sol et de traitement. Les derniers essais indiquent que la souche RCH serait la meilleure. Les observations préliminaires suggèrent que le nombre de nodules sur le pivot serait un critère de sélection plus fiable que le nombre total de nodules.

TABLEAU 1. — Criblage des souches de rhizobium : comparaison des souches S10 et N22V1 avec et sans traitement du sol au DBCP — (*Screening of rhizobium strains: comparison of strains S10 and N22V1 with and without soil treatment using DBCP*)

Traitement (Treatment)	Nbre de nodules sur pivot (Number of nodules on tap root)	Nbre total de nodules (Total number of nodules)	Azote total du sol p. 1000 (Total N in soil per thousand)
Non dénématisé (Not treated) non inoculé (not inoculated)	16	114	0,172
Non dénématisé (Not treated) Inoculé S10 (Inoculated S10)	29	101	0,182
Inoculé N22V1 (Inoculated N22V1)	36	118	0,181
DBCP et non inoculé (DBCP not inoculated)	15	118	0,175
DBCP et inoculé S10 (DBCP inoculated S10)	24	86	0,190
DBCP et inoculé N22V1 (DBCP inoculated N22V1)	28	97	0,176
PPDS 5 % (LSD 5%)	5	24	0,006

Les arachides sont cultivées sur un mélange de sol en provenance du bassin arachidier Nord du Sénégal (6 répétitions)
(*The groundnut plants were grown on a mixture of soils from the Senegalese Groundnut Basin. 6 replications*)

TABLEAU II. — Criblage de souches de rhizobium. Comparaison des performances de trois souches — (*Screening of rhizobium strains. Comparison of the effectiveness of 3 strains*)

Souches (Strain)	Nbre total de nodules (Total number of nodules)	Nbre de nodules sur pivot (Number of nodules on tap root)	Poids sec (grammes) (Dry weight)		
			gousses (pods)	tiges (stems)	racines (roots)
Non inoculé (Control)	32	7	15,4	5,89	0,54
Inoculé RCH	113	41	20,3	7,81	1,20
Inoculé N22V1	63	24	18,9	7,03	1,01
Inoculé S10	65	23	18,5	7,11	0,97
PPDS 5 % (LSD 5%)	35	6	1,3	0,69	0,16

Sol utilisé : sol de Bel Air, ORSTOM Dakar
(*Soil used : Soil from Bel Air, ORSTOM, Dakar*)

3. — Préparation de l'inoculum pour enrobage des semences.

Les rhizobiums ont été inclus dans des billes d'alginate qui sont ensuite séchées et broyées [4,5,6,7,12,14]. L'inoculation a été réalisée au plus tard 3 à 4 semaines après l'inclusion, par enrobage à sec de 50 kg de graines d'arachide avec une poudre constituée du mélange suivant :

- poudre d'alginate renfermant
les rhizobiums inclus 120 g
- Bénomyl (fongicide) 100 g
- Amisol (adhésif) 40 g

Le nombre de rhizobium déterminé par le test d'infection de plantes était de $2,10^3$ à $4,10^3$ par graine. L'enrobage a été effectué immédiatement avant le semis. L'enrobage des graines avec la poudre sèche ne présente aucune difficulté et peut être facilement vulgarisé.

4. — N total du sol

Pour évaluer l'enrichissement du sol consécutif à la fixation de N_2 , nous avons analysé l'azote total par la méthode Kjeldhal. Cette approche simple qui, dans la plupart des cas, n'est pas utilisée, en raison de l'existence de fortes variations spatiales de la teneur des sols en N total, a donné ici d'excellents résultats. La raison en est que, dans les sols du Bassin arachidier, sols très sableux et pauvres en matière organique, la teneur en N total est partout faible et relativement constante, de sorte qu'il est possible de mettre en évidence des modifications même faibles en valeur absolue de la teneur en N total.

5. — Cultivars d'arachide

Les cultivars d'arachide utilisés ont été les suivants : 55-437 et 73-33.

ESSAIS AGRONOMIQUES

Rappelons que des essais agronomiques réalisés en 1985 et 1986 [2] avaient d'une part, confirmé l'existence dans les sols du Bassin arachidier de carences en N, S, P, Ca, décelées par le diagnostic foliaire, d'autre part, montré qu'il était utile d'ajouter à la formule de fumure vulgarisée (150 kg d'engrais NPK 6.20.10/ha) du phosphogypse et de l'urée.

La réponse positive à l'application de phosphogypse s'explique facilement par l'existence de carences en S et Ca que l'on vient de mentionner. Le recours au phosphogypse (plâtre agricole) comme source de S et Ca est conseillé au Sénégal puisqu'il s'agit d'un sous-produit de la fabrication des engrais phosphatés, disponible en quantité et peu coûteux.

La réponse positive à l'apport d'urée indiquait que l'arachide n'était pas capable de fixer suffisamment de N₂ pour couvrir ses besoins en N.

En 1987, on a mis en place, dans des terrains dénématisés au préalable, deux séries d'essais multiloceaux :

- une première série de 14 essais comportant six répétitions, avec pour objectif de vérifier la réponse positive de l'arachide à l'apport de phosphogypse et d'urée ;
- une deuxième série de 10 essais factoriels (3 niveaux de fumure et quatre sources d'azote - 3 répétitions) avec pour objectif de comparer l'effet de la fumure vulgarisée (150 kg d'engrais NPK 6.20.10/ha) sans et avec addition de phosphogypse (150 kg/ha) combiné soit à l'apport d'urée (100 kg/ha) soit à l'inoculation des semences avec deux souches de rhizobium S10 ou N22V1.

Le tableau III où sont portées les moyennes des rendements de l'arachide exprimés en kg/ha de la première série d'essais montre que l'apport simultané de phosphogypse et d'urée accroît significativement les rendements en gousses (qui passent de 1450 kg/ha dans le témoin à 1810 kg/ha avec le double traitement). Pris individuellement, cinq des 14 essais ont répondu positivement à la fumure vulgarisée avec l'apport simultané de phosphogypse et d'urée.

Le tableau IV où sont portées les moyennes des rendements de l'arachide exprimés en kg/ha de la deuxième série d'essais montre que l'inoculation des semences avec l'une ou l'autre souche de rhizobium utilisée équivaut à un apport d'urée à la dose de 100 kg/ha et que l'apport de phosphogypse a été nécessaire. Pris individuellement, un seulement des 10 essais a répondu positivement à la fumure vulgarisée tandis qu'avec phosphogypse et inoculation des semences avec rhizobium la réponse est positive huit fois sur 10.

De l'analyse individuelle des 24 essais, il résulte que l'arachide a répondu positivement dans 75 % des cas à la fumure complète (fumure vulgarisée plus phosphogypse et azote ou fumure vulgarisée plus phosphogypse et inoculum) et seulement dans 25 % des cas à la fumure vulgarisée seule.

Dans le tableau V, on a fait figurer les teneurs en N total des sols prélevés sur les lignes d'arachide dans six des essais agronomiques de la deuxième série. Il ressort de ce tableau que l'inoculation des semences avec la souche de rhizobium N22V1 entraîne un accroissement significatif de la teneur du sol en N total.

En résumé, les 24 essais agronomiques effectués en 1987 confirment la conclusion à laquelle on était parvenu antérieurement à savoir que dans les sols du bassin arachidier du Sénégal, l'apport de phosphogypse était indispensable pour combattre les carences en S et Ca. D'autre part, ces essais montrent clairement que l'inoculation des semences par enrobage à sec avec des souches de rhizobium sélectionnées incluses dans l'alginate permet d'atteindre des rendements équivalents à ceux que l'on pourrait obtenir avec l'appla-

TABLEAU III. — Première série d'essais agronomiques 1987 : réponse de l'arachide à la fumure vulgarisée et au phosphogypse avec et sans apport d'urée. Résultats en kg/ha de matière sèche (moyenne de 14 essais) — (First set agronomy trials in 1987: groundnut response to extended fertilizer and phosphogypsum, with and without urea applications. Results in kg/ha of dry matter - mean of 14 trials)

Traitements (treatment)	Sans azote (Without N)		Urée (100 kg/ha) (Urea - 100 kg/ha)		Moyenne (Mean)	
	gousses (pods)	fanes (haulm)	gousses (pods)	fanes (haulm)	gousses (pods)	fanes (haulm)
Témoin sans engrais (Control, no fertilizer)	1450	2060	-	-	1450	2060
Fumure vulgarisé (150 kg/ha de 6.20.10) (Extended fertilizer -150 kg/ha 6.20.10)	1610	2370	1690	2680	1650	2525
Fumure vulgarisée + phosphogypse (150 kg/ha) (Extended fertilizer + phosphogypsum - 150 kg/ha)	1720	2390	1810	2630	1765	2510
Moyenne sans le témoin (Mean without control)	1665	2380	1750	2655	--	--

PPDS 5 % (LSD)

Entre moyennes (means) : Fanés (pods) 120 gousses (haulm) 70

Entre traitement (treatment) : Fanés (pods) 170 gousses (haulm) 100

tion d'urée (100 kg/ha). En outre, l'inoculation a entraîné une élévation notable de la teneur en N total du sol.

Les photos 1 et 2 illustrent l'effet bénéfique sur la végétation de l'application de phosphogypse et de l'inoculation des semences avec rhizobium.

ESSAIS EN MILIEU PAYSAN

Ces essais effectués en 1988 ont porté sur 33 champs de paysans d'une surface d'1 ha chacun, situés pour partie dans la région de Thiès, pour partie dans la région de Diourbel. Partout le sol a été dénématisé au DBCP. Dans chaque champ, on a apporté une fumure de 150 kg/ha d'engrais NPK 6.20.10 plus 150 kg/ha de phosphogypse sur le quart de la parcelle (désignée sous le terme de surface traitée) le reste de la surface ne recevant rien. Dans 18 champs, on a ajouté 100 kg d'urée/ha sur la surface traitée. Dans les 15 autres, on a remplacé ce traitement par l'inoculation des semences avec la souche de rhizobium RCH en utilisant la méthode d'enrobage décrite plus haut.

Sur le tableau VI on a fait figurer les moyennes de rendements obtenus dans les champs situés dans les deux régions. La fumure complète accroît les rendements de façon spectaculaire pour les gousses et les fanés, l'amélioration étant comprise entre 61 % et 70 %. Ces résultats sont d'autant plus encourageants que les conditions de culture ont été particu-



PHOTO 1. — Effet de l'inoculation. les trois parcelles au 1er plan reçoivent 150 kg/ha de 6.20.10 et 150 kg/ha de phosphogypse. Celle de gauche est en plus inoculée avec la souche S10, celle de droite, avec N22V1. — (Inoculation effect. The three plots in foreground receive 150 kg/ha of 6.20.10 and 150 kg/ha of phosphogypsum. The plot on the left is also inoculated with strain S10, the one on the right with strain N22V1)



PHOTO 2. — Au premier plan, à droite : parcelle recevant 150 kg de 6.20.10 et 150 kg de phosphogypse par hectare. A gauche, la parcelle bénéficie en plus de l'inoculation par rhizobium (souche S10) au semis — (Right foreground. plot receiving 150 of 6.20.10 and 150 of phosphogypsum per hectare. On the left, the plot also benefits from rhizobium inoculation (strain S10) at the time of sowing)

TABLEAU IV. — Deuxième série d'essais agronomiques 1987 : Réponse de l'arachide à la fumure vulgarisée ou avec phosphogypse combinée aux traitements : sans urée, 100 kg/ha d'urée, inoculation des semences avec les souches de rhizobium S10 ou N22V1. Résultats en kg/ha de matière sèche. Moyenne de 10 essais. — (Second set of agronomy trials in 1987 : groundnut response to extended fertilizer, with and without phosphogypsum combined with the following treatments : no urea, 100 kg/ha of urea, seed inoculation with rhizobium strains S10 or N22V1. Results in kg/ha of dry matter. Mean of 10 trials.)

Traitement (Treatment)	Rien (No urea)		Urée (100 kg/ha) (100 kg/ha of urea)		Souche S10 (Strain S10)		Souche N22V1 (Strain N22V1)		Moyenne (Mean)	
	gousses (pods)	fânes (haulm)	gousses (pods)	fânes (haulm)	gousses (pods)	fânes (haulm)	gousses (pods)	fânes (haulm)	gousses (pods)	fânes (haulm)
Sans engrais (Control, no fertilizer)	615	875	665	1135	650	980	690	1080	665	1020
50 kg/ha 6.20.10	690	1155	685	1265	790	1250	765	1310	730	1245
50 kg/ha 6.20.10 150 kg/ha phosphogypse (phosphogypsum)	660	1115	770	1450	830	1500	790	1450	770	1380
Moyenne (Mean)	660	1050	705	1285	760	1245	750	1280	-	-

PPDS (LSD) 5 % : gousses (pods) traitements (treatment) : 98 fumure (fertilizer) 49 azote (nitrogen) 55
fânes (haulm) traitements (treatment) : 205 fumure (fertilizer) 105 azote (nitrogen) 120

TABLEAU V. — Teneur en azote (pour mille). Prélèvements effectués sur la ligne d'arachide. Moyenne de 6 essais agronomiques de 2ème série. — (Soil nitrogen content (per thousand). Samples taken from groundnut growing rows. Mean of 6 agronomy trials in the second series)

Traitement (Treatment)	Sans urée (No urea)	Urée (100 kg/ha) (100 kg/ha of urea)	Souche S10 (Strain S10)	Souche N22V1 (Strain N22V1)	Moyenne (Mean)
Sans engrais (Control, no fertilizer)	0,235	0,248	0,233	0,248	0,241
150 kg/ha 6.20.10	0,233	0,238	0,251	0,252	0,245
150 kg/ha 6.20.10 150 kg/ha phosphogypse (phosphogypsum)	0,233	0,250	0,233	0,267	0,246
Moyenne (Mean)	0,234	0,246	0,241	0,256	

PPDS traitement (LSD treatments) : 0,030 azote (nitrogen) : 0,017



Effet direct : à gauche, DBCP + fumure — à droite, DBCP
(Direct effect : left, DBCP + fertilizer — right, DBCP)



Arrière-effet sur céréale
(After-effect on cereal)



Arrière-effet sur céréale : à gauche, DBCP + fumure — à droite, DBCP
(After-effect on cereal : left, DBCP + fertilizer — right, DBCP)



Effet direct sur arachide : à gauche, DBCP — à droite, DBCP + fumure
(feuillage plus foncé)
(Direct effect on groundnut : left, DBCP — right, DBCP + fertilizer (darker foliage))

PLANCHE 1. — Effet sur arachide et arrière-effet sur céréale d'une fumure de 150 kg/ha de 6.20.10. et 150 kg de phosphogypse, combinée avec l'inoculation rhizobienne par enrobage à sec des semences — (Effect on groundnut and after-effect on cereal of a fertilizer comprising 150 kg/ha of 6.20.10 and 150 kg of phosphogypsum, combined with rhizobium inoculation by dry coating of seeds)

lièrement défavorables : arrêt précoce des pluies et attaque de criquets pèlerins à la récolte.

La fumure ci-dessus entraîne également un arrière effet favorable sur la récolte suivante de mil grain. (36 échantillons DBCP + engrais 935 kg/ha, DBCP seul 615 kg/ha).

Les quatre photos de la planche 1 permettent de visualiser l'action de cette fumure sur la végétation de l'arachide et de la céréale.

ETUDE ECONOMIQUE SUCCINCTE DE L'INOCULATION DES SEMENCES. NOUVELLES FORMULES DE FUMURE

1. — Inoculation des semences

On a déjà comparé les rendements obtenus dans le cas des traitements inoculation des semences et application d'urée (Tab. VI). L'économie réalisée est considérable. En effet, à partir des 24 essais agronomiques effectués en 1987, on a conclu que l'inoculation des semences pouvait permettre d'atteindre des rendements équivalents à ceux que l'on obtiendrait avec l'apport de 100 kg d'urée. Dans ces conditions, l'économie réalisée serait égale à la différence entre le

prix de 100 kg d'urée et le prix de l'inoculum. A titre indicatif, en 1990 le kg d'urée est à 70 F CFA et le prix d'une dose d'inoculum pour 1 ha est estimé à 2000 F CFA. L'augmentation du stock d'azote de sol à la suite de l'inoculation (qui existe même en l'absence de réponse de l'arachide) correspond à 50 kg d'azote environ. Cet accroissement du stock du sol est aussi, bien entendu, à prendre en compte.

2. — Diminution du coût de la fumure associée à l'inoculation

On a montré que la nutrition azotée de l'arachide pouvait être assurée par l'inoculation des semences.

Quant aux autres éléments, notamment P, K, Ca, S, on a vu qu'ils pouvaient être apportés par une fumure constituée par le mélange de la fumure vulgarisée (150 kg d'engrais NPK 6, 20, 10/ha) et de phosphogypse (150 kg/ha).

D'autres combinaisons ont été étudiées. Le tableau VII montre que :

- si l'on réduit de moitié l'apport de fumure vulgarisée et de phosphogypse (formule 2), on diminue la réponse à l'engrais.
- si l'on remplace la fumure vulgarisée par 35 kg de Super triple ou 30 kg de Phosphate d'ammoniaque en présence

TABLEAU VI. — Essais effectués en milieu paysan. Résultats en kg/ha et plus-value en F.CFA avec 6.20.10 et phosphogypse plus urée et inoculation — (Trials conducted on farmers' land. Results in kg/ha an added value in CFA F with 6.20.10 and phosphogypsum plus urea or inoculation)

Traitements (1) (Treatments)	Nbre de tests (Number of tests)	kg/ha de gousses (kg/ha of pods)	kg/ha de fanes (kg/ha of haulm)	Plus-value en % (Added value %)		Plus-value en F CFA (2) (Added value in CFA F)	
				gousses (pods)	fanés (haulm)		
Thies	11	Sans engrais (No fertilizer)	430	805	-	-	
		Fumure + Urée (Fertilizer + Urea)	715	1280	66	59	34200
	8	Sans engrais (No fertilizer)	350	590	-	-	-
		Fumure + Inoculum (Fertilizer + inoculum)	580	1180	66	100	33800
Diourbel	7	Sans engrais (No fertilizer)	360	1080	-	-	-
		Fumure + Urée (Fertilizer + Urea)	580	1740	61	61	35200
	7	Sans engrais (No fertilizer)	230	795	-	-	-
		Fumure + Inoculum (Fertilizer + inoculum)	390	1330	70	67	27250

(1) Fumure : 150 kg/ha de 6.20.10 + 150 kg/ha de phosphogypse — (Fertilizer: 150 kg/ha of 6.20.10 + 150 kg/ha of phosphogypsum)

(2) kg de gousses 70 F CFA - Fanés 30 F CFA - Fumure avec urée 21 500 F CFA, avec inoculum : 16 500 F CFA
(kg of pods 70 CFA F - Haulm 30 CFA F - Fertilizer with urea 21, 500 CFA F, with inoculum: 16,500 CFA F)

de 75 kg de phosphogypse, (formule 3 et 4) les rendements obtenus sont équivalents à ceux de la formule 1, testée auparavant. Cette substitution permet de réaliser une économie importante.

Dans le cas de l'apport d'urée, le prix de la fertilisation tombe de 21.000 F CFA à 12.000 F CFA, et dans le cas de l'inoculation de 15.000 à 6.000 F CFA.

CONCLUSION

Les résultats présentés ici confirment la nécessité de la dénématation du sol. Ils montrent clairement qu'il est possible de trouver une formule de fumure minérale bien adaptée à l'arachide et au bassin arachidier Nord du Sénégal, plus économique et plus complète que celle actuellement vulgarisée, en apportant ensemble PS et Ca.

En ce qui concerne l'inoculation par enrobage à sec des graines par rhizobium inclus dans l'alginat, il a été nettement prouvé que ce traitement équivalait à l'apport de 100 kg d'urée/ha dans les conditions où il a été réalisé.

Il convient de souligner que la méthode d'inoculation proposée ici ne demande aucun procédé de conservation particulier et est parfaitement applicable par les paysans, puisque 150 d'entre eux l'ont déjà utilisée pour les tests rapportés dans le tableau VI. La réponse à l'inoculation dans ces conditions est significative. On devrait cependant pouvoir l'améliorer.

Il est nécessaire que les recherches en cours s'orientent vers l'obtention d'un inoculum contenant en plus grand nombre des rhizobiums plus spécifiques, en faisant appel à des souches plus performantes que celles en étude actuellement, bien qu'elles soient déjà satisfaisantes.

Il faut également affiner les techniques de fabrication pour parvenir à effectuer dans de petites unités industrielles, soit le conditionnement de l'inoculum en poudre en sachet doses pour 50 kg de semences (1 hectare), soit directement l'enrobage des graines pour commercialiser des semences déjà fongicides et inoculées, prêtes à l'emploi.

Remerciements : Nous remercions vivement M. Y.R. Dommergues qui a bien voulu nous aider de son expérience pour la réalisation de cet article.

TABLEAU VII. — Rendements en kg/ha et plus-value en F CFA obtenus avec des formules de fumure, différant par la dose et la source des éléments — (Yields in kg/ha and added value obtained with fertilizer formulas differing in the rates and sources of different nutrients)

Formules d'engrais (Fertilizer formula)	code	Coût de la fumure en F CFA (Cost of fertilizer CFA F)		Résultats des essais 1988 (7) (Results of 1988 trials)			Résultats des essais 1989 (4) (Results of 1989 trials)			Résultats des tests paysans (14) (Results of farmers' trials)		
		Avec urée (with urea)	Avec inoculum (with inoculum)	gousses (pods) kg/ha	fanés (haulm) kg/ha	plus-value (added value) F CFA	gousses (pods) kg/ha	fanés (haulm) kg/ha	plus-value (added value) F CFA	gousses (pods) kg/ha	fanés (haulm) kg/ha	plus-value (added value) F CFA
Urée ou rhizobium (urea or rhizobium) + 150 kg/ha phosphogypse (+ 150 kg/ha phosphogypsum) + 150 kg/ha 6.20.10	1	21 000	15 100	410	1080	18 850	615	2 100	40 150	-	-	
Urée ou rhizobium (urea or rhizobium) + 75 kg/ha phosphogypse (+ 75 kg/ha phosphogypsum) + 75 kg/ha 6.20.10	2	14 050	8 050	400	1 000	15 750	410	1 680	13 200	---	-	
Urée ou rhizobium (urea or rhizobium) + 75 kg/ha phosphogypse (+ 75 kg/ha phosphogypsum) + 35 kg/ha Super-Triple (+ 35 kg/ha Triple super)	3	12 250	6 250	410	1 030	17 350	550	2 080	35 000	1 990	3 710	63 300
Urée ou rhizobium (urea or rhizobium) + 75 kg/ha phosphogypse (+ 75 kg/ha phosphogypsum) + 30 kg/ha phosphate d'NH ₄ (+ 30 kg/ha ammonium phosphate)	4	12 250	6 250	-	-	-	575	2 025	35 100	-	-	
0	0	-	-	250	845 ⁽¹⁾		320	1 450	-	1 540	2 710	

(1) avec rhizobium (with rhizobium)

(2) Arachides gousses (groundnut pods) 70 F CFA/kg Fanés (haulm) 30 F CFA/kg

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BAUJARD P., DUNCAN D. — Les traitements nématocides dans le bassin arachidier sénégalais. Rapports ORSTOM 1984 à 1987.
- [2] DHERY M., M'BAYE D., GAYE F., DIOUF M. (1987). — Traitement contre les nématodes dans le Bassin arachidier Nord du Sénégal. *Oléagineux*, 42, (10) 369 - 377.
- [3] DHERY M. (1988). — Un appareil à traction animale pour le traitement des arachides contre les nématodes : le stérificateur SISMAR. *Oléagineux*, 43, (10) 307-310.
- [4] DIEM H.G., DOMMERGUES Y.R. (1985). — Brevet 85-17933.
- [5] DIEM H.G., BEN KHALIFA K., NEYRA M., DOMMERGUES Y.R. (1990). — Progrès récents dans la technologie des inoculums utilisés en agriculture et foresterie. Maximiser la fixation biologique de l'azote pour la production agricole et forestière en Afrique. M. Guye, Mulongoy, Y. Dommergues Eds., ISRA, Dakar 153-172.
- [6] DOMMERGUES Y.R., DIEM H.G., DIVIES C. (1977). — Brevet 77-10254
- [7] DREYFUS B., RINAUDO G., DOMMERGUES Y. (1983). — Brevet 83-02847
- [8] GERMANI G. (1981). — Etude au champ de l'évolution des populations du nématode *Scutellonema cavensesi* et de la cinétique de la fixation de N₂ sur trois cultivars d'arachide. *Oléagineux*, 36, 247-249
- [9] GERMANI G., DHERY M. (1973). — Observations et expérimentations concernant le rôle des nématodes dans deux affections de l'arachide en Haute-Volta ; la chlorose et le clump. *Oléagineux*, 28, (5) 235-242.
- [10] GERMANI G., DIEM H.G., DOMMERGUES Y.R. (1980). — Influence of 1,2 dibromo-3-chloropropane fumigation on nematode population, mycorrhizal infection, N₂ fixation and yield of field-grown groundnut, *Revue Nématol.* 3, 203-208.
- [11] GERMANI G., CUANY A., et MERNY G. (1984). — L'analyse des correspondances appliquées à l'influence des deux nématodes sur la croissance de l'arachide et sa fixation rhizobienne. *Revue de nématologie*. 161-168.
- [12] JUNG G., MUGNIER J., DIEM H.G., DOMMERGUES Y. (1981). — Brevet 81 04474
- [13] MEYER J., GERMANI G., DREYFUS B., SAINT-MACARY H., BOUREAU M., GANRY F., DOMMERGUES Y. (1982). — Estimation de l'effet de deux facteurs limitants (sécheresse et nématodes) sur la fixation de l'azote (C₂H₂) par l'arachide et le soja. *Oléagineux*, 37, (3) 127-134.
- [14] MUGNIER J., DIEM H.G., DOMMERGUES Y. (1979). — Brevet 79 28956

SUMMARY

Three treatments recommended for groundnut cultivation in Senegal: Nematode eradication, selected seed inoculation with rhizobia and phosphogypsum applications

M. DHERY and B. DREYFUS, *Oléagineux*, 1991, 46, N° 5, p. 197-207.

Nematode parasites on groundnut lead to substantial yield losses and impede natural nodulation. On soil from which nematodes have been eradicated (injection of 9 kg/ha of DBCP), supplementary calcium, sulphur and nitrogen, added to the standard fertilizer of 150 kg/ha of 6.20.10, increase the number and intensity of responses.

Using rhizobium inoculation as a source of nitrogen for fertilization was therefore tested using strains selected by ORSTOM/Dakar from soils in Senegal. The results were positive. Inoculation improved both yields and the soil's nitrogen reserves.

Inoculation is carried out by coating the seeds with dry powder before sowing. There is no need to take precautions and farmers are perfectly able to use this method with no prior training.

The rhizobium-phosphogypsum supplement to provide S, Ca and N means that phosphorus sources other than 6.20.10 can be considered and it can be hoped that current fertilizer costs will be cut by half.

RESUMEN

Tres tratamientos recomendados para el cultivo del mani en el Senegal : suelos libres de nematodos, inoculación de las semillas por rhizobiums seleccionados y aplicación de fosfoyeso

M. DHERY y B. DREYFUS, *Oléagineux*, 1991, 46, N° 5, p. 197-207.

Los nematodos parasitando el mani acarrear grandes pérdidas en el rendimiento y paralelamente estorban la nodulación natural. En un suelo libre de nematodos (inyección de 9 kg/ha de DBCP/ha) una aplicación de calcio, azufre y nitrógeno con el fertilizante vulgarizado de 150 kg/ha de 6.20.10 aumenta el número y la importancia de las respuestas.

La utilización de la inoculación de rhizobiums como fuente de nitrógeno en el fertilizante fué probada con cepas seleccionadas por el ORSTOM/Dakar en suelos senegaleses. Los resultados son positivos, la inoculación mejora el rendimiento y el almacenaje del nitrógeno en el suelo.

La inoculación se realiza mediante semillas polvoreadas con polvo secoantes de sembrarlas. No se necesita tomar ninguna precaución, y los campesinos pueden perfectamente emplear el método sin tener especial formación previa.

El complemento rhizobium-fosfoyeso para aportar S, Ca, N permite tener en perspectiva otras fuentes de fósforo que el 6.20.10 y esperar bajar por mitad el costo de la fertilización actual.

Three treatments recommended for groundnut cultivation in Senegal: Nematode eradication, selected seed inoculation with rhizobia and phosphogypsum applications

M. DHERY⁽¹⁾ and B. DREYFUS⁽²⁾

Key-words: Senegal, groundnut, inoculation, rhizobium, phosphogypsum, fertilizers

INTRODUCTION

In the Northern Groundnut Basin of Senegal, partial disinfection of the soil with DBCP (1,2 dibromo-3-chloropropane), which we refer to hereafter as nematode eradication, significantly increases groundnut pod and haulm yields. In addition, this treatment ensures beneficial aftereffects for cereal and legume crops over the subsequent 3 years (1, 2, 8).

The favourable effect of nematode eradication on groundnut yields stems from many things. Research conducted in the laboratory and in greenhouses has clearly shown that, as regards the different mechanisms involved, improvement of N₂ fixation plays a major role (8, 9, 10, 11, 13). As early as 1984, we verified this conclusion on farmers' land; in thirteen trials, it appeared that nematode eradication improved nodulation (hence most probably N₂ fixation) and also increased the soil's total N content. In fact, following DBCP treatment, the average number of nodules per groundnut plant assessed on the 60th day increased from 15 to 33; at the same time the soil's N content per thousand, determined from samples taken at the end of the dry season (5 samples taken per plot), increased from 0.138 to 0.158, the difference being highly significant.

Whilst DBCP treatment has a beneficial effect on nodulation and N₂ fixation by removing the limiting factor represented by nematode infection, it can still be assumed that another factor may remain which limits N₂ fixation, namely an insufficient population of effective rhizobia compatible with groundnut in the soil. We therefore launched a set of investigations, both in the laboratory and in the field, to answer the question as to whether combining the two treatments, nematode eradication and inoculation of effective rhizobium strains (N₂ fixers), would improve N₂ fixation further, hence ensure groundnut nitrogen nutrition, thereby removing the need to apply nitrogen fertilizers.

The study was conducted in three areas:

- in the laboratory and greenhouses; screening of effective strains,
- factorial type agronomy trials in the field,
- trials on farmers' land.

Finally, an attempt was made to conduct an initial economic study of groundnut fertilization and inoculation.

MATERIAL AND METHODS

1. — Nematode eradication

Nematodes were eradicated from the soil with Dibromochloropropane (DBCP), injected using a SISMAR [3] "stericultureur". The doses

used varied over time (1987: 15 kg/ha, 1988: 12 kg/ha, 1989: 9 kg/ha).

2. — Isolation and screening of rhizobium strains

Rhizobium strains were isolated from groundnut plants grown in pots on a mixture of soils from the Senegalese Groundnut Basin, collected during nematode surveys. The isolates were taken from nodules characterized by high acetylene reducing activity.

Screening of the effective strains was based on five criteria:

- resistance to DCBP (tolerance threshold: 5 ppm),
- resistance to Benomyl (tolerance threshold: 10 ppm),
- plant vigour assessed on a scale from 0 to 10,
- total N contents of the soil in the pots,
- dry weight of pods, stems and roots.

Plants grown in pots were inoculated with strains satisfying the first two criteria. Plant vigour was assessed after 60 days and the total N content of the soil in the pots was determined. The strains finally opted for were the following: S10, N22V1 and RCH. The cross-check experiments described in tables I and II confirmed the quality of the strains under different soil and treatment conditions. The final trials indicated that strain RCH would be the best. Preliminary observations suggested that the number of nodules on the tap root would be a more reliable selection criterion than the total number of nodules.

3. — Inoculum preparation for seed coating

The rhizobia were enclosed in alginate balls, which were then dried and ground up (4,5,6,7). Inoculation was carried out at most 3 to 4 weeks after inclusion, by dry-coating 50 kg of groundnut seeds with a powder comprising the following mixture:

- powder from the alginate containing the rhizobia 120 g
- Benomyl (fungicide) 100 g
- Amisol (adhesive) 40 g

The number of rhizobia determined by the plant infection test was between 2.10^3 to 4.10^3 per seed. Coating was carried out immediately before sowing. Coating the seeds with the dry powder is easy and can be widely recommended.

4 — Total N in the soil

In order to assess soil enrichment after N₂ fixation, we analyzed total N using the Kjeldhal method. This simple approach which is not used in most cases, due to the existence of significant spatial variations in the soil's total N content, gave excellent results on this occasion, because the soils of the Groundnut Basin are very sandy and poor in organic matter, hence total N is low everywhere and relatively constant, so that it is possible to detect any modifications, however slight, in the absolute value of the total N content.

(1) CIRAD Oil Crops Department, 11, square Pétrarque 75116 Paris (France)
(2) ORSTOM Soil Microbiology Laboratory- B.P. 1386 Dakar (Sénégal)

5. — Groundnut varieties

The groundnut varieties used were 55437 and 7333.

AGRONOMY TRIALS

It should be remembered that the agronomy trials conducted in 1985 and 1986 [2] confirmed the existence of N, S, P and Ca deficiencies in the soils of the Groundnut Basin, already detected by leaf analyses, and also showed that it was worthwhile applying the extended fertilizer formula (150 kg of NPK 6.20.10 fertilizer/ha), along with phosphogypsum and urea.

The positive response to the phosphogypsum application can easily be explained by the existence of the S and Ca deficiencies just mentioned. The use of phosphogypsum (agricultural plaster) as a source of S and Ca is recommended in Senegal because it is a by-product from phosphate fertilizer production and is available cheaply in large quantities.

The positive response to urea applications indicated that groundnut was not capable of fixing enough N₂ to cover its N requirements.

Two series of multi-site trials were set up in 1987 on land from which nematodes had been eradicated beforehand:

- an initial series of 14 trials with six replications, intended to check the positive response of groundnut to phosphogypsum and urea applications,
- a second set of 10 factorial trials (3 fertilizer levels and 4 sources of N) with three replications, intended to compare the effect of the extended fertilizer formula (150 kg of NPK 6.20.10 fertilizer/ha), with and without additional phosphogypsum, combined either with urea (100 kg/ha) or with seed inoculation using rhizobium strains S10 or N22V1.

Table III, indicating the average groundnut yields expressed in kg/ha for the first series of trials, shows that the simultaneous application of phosphogypsum and urea significantly increases pod yields (which increased from 1,450 kg/ha in the control to 1,810 kg/ha with the double treatment). Taken individually, five of the 14 trials responded positively to the extended fertilizer (150 kg of NPK 6.20.10/ha), whereas ten responded positively to the combined phosphogypsum and urea application.

Table IV, indicating the average groundnut yield expressed in terms of kg/ha for the second series of trials, shows that seed inoculation with either of the rhizobium strains used was equivalent to an application of 100 kg of urea/ha and that the phosphogypsum application was necessary. Taken individually, only one of the 10 trials responded positively to the extended fertilizer formula, whereas the response to phosphogypsum with rhizobium inoculated seeds was positive 8 times out of 10.

Individual analysis of the 24 trials indicated that groundnut responded positively in 75% of cases to complete fertilizer (extended formula plus phosphogypsum and nitrogen or inoculation) and only in 25% of cases to the extended formula alone.

Table V shows the total N contents of the soil samples taken from the groundnut growing rows in six of the agronomy trials in the second series. It reveals that seed inoculation with rhizobium strain N22V1 led to a significant increase in the soils' total N content.

In brief, the 24 agronomy trials conducted in 1987 confirmed the conclusion previously arrived at, i.e. phosphogypsum applications are essential in the Senegalese Groundnut Basin to overcome S and Ca deficiencies. These trials also showed clearly that dry inoculation of seeds with selected rhizobium strains enclosed in alginate made it possible to attain yields equivalent to those obtained with urea application (100 kg/ha). In addition, inoculation led to a marked rise in the soil's total N content.

Photos 1 and 2 show the beneficial effect of phosphogypsum applications and rhizobium inoculation on plant growth.

TRIALS ON FARMERS' LAND

These trials, conducted in 1988, involved 33 farmer's fields covering 1 ha each, some located in the Thies region and some in the Djourbel region. In all cases, nematodes were eradicated from the soil beforehand. Each field received 150 kg/ha of NPK 6.20.10 fertilizer, plus 150 kg/ha of phosphogypsum on a quarter of the plot; nothing was applied to the rest of the plot. In 18 fields, 100 kg/ha of urea were applied in addition to the fertilizer mentioned above. In the remaining 15 fields, this treatment was replaced by seed inoculation

with rhizobium strain RCH, using the coating method already described.

Table VI shows the mean yields obtained in the fields located in the two regions. The complete fertilizer increased pod and haulm yields spectacularly, between 61 p.100 and 70 p.100. These encouraging results are all the more so in that growing conditions were particularly unsuitable: early halt to rainfall and locust attacks at the time of harvest.

The above fertilization also provides a beneficial aftereffect for the following millet harvest (36 samples, DBCP plus fertilizer, 935 kg/ha; DBCP alone, 615 kg/ha). The four photos in plate 1 illustrate the effect of fertilizer on plant growth, both for groundnut and millet.

BRIEF ECONOMIC STUDY OF THE COMPLETE FERTILIZER AND SEED INOCULATION TREATMENT. NEW FERTILIZER FORMULAS.

5. — Seed inoculation

The yields obtained with seed inoculation treatments and urea applications have already been compared (table VI). The savings made are substantial. Indeed, it was concluded from the 24 trials conducted in 1987 that seed inoculation could lead to yields equal to those that would have been obtained with an application of 100 kg of urea. Under these conditions, the savings made would equal the difference between the cost of 100 kg of urea and the cost of the inoculum. For example, in 1990, a kg of urea cost CFA F 70 and the rate of inoculum required for 1 ha was estimated at CFA F 2,000. The increase in the soil's nitrogen reserves, which exists even if there is no groundnut response and which corresponds to about 50 kg of N, also has to be taken into account.

5.1. — Reduction in fertilizer costs when combined with inoculation

It has been shown that groundnut nitrogen nutrition can be ensured through seed inoculation.

As regards the other nutrients, P, K, Ca and S, it was seen that they could be provided by the extended complete fertilizer (150 kg of NPK 6.20.10 fertilizer/ha) plus phosphogypsum (150 kg/ha).

Different formulas were examined. Table VII shows that:

- If the extended fertilizer mixture plus phosphogypsum is reduced by half (formula 2), response to the fertilizer is diminished.
- If the extended fertilizer mixture is replaced by 35 kg of Triple Superphosphate or 30 kg of ammonium phosphate, along with 75 kg of phosphogypsum (formulas 3 and 4), the yields obtained are equivalent to those obtained with the previously tested formula 1. Such substitution leads to substantial savings.

In the case of urea applications, fertilizer costs fall from CFA F 21,000 to CFA F 12,000 and with inoculation from CFA F 15,000 to 6,000.

CONCLUSION

The results given here confirm the need to eradicate nematodes from the soil. They clearly show that it is possible to find a mineral fertilizer formula well adapted to groundnut and the Northern Groundnut Basin in Senegal, which is more economical and more complete than that currently extended, by providing P, S and Ca together.

As regards seed inoculation by dry coating with rhizobium enclosed in alginate, it has clearly been proved that this treatment is equivalent to an application of 100 kg of urea/ha under the conditions in which it was tested.

It should be emphasized that the inoculation method proposed here requires no particular preservation procedure and can easily be carried out by farmers; 150 of them have already used it for the tests described in table VI. The response to inoculation under these conditions is significant. Even so, further improvement should be possible.

The research under way should be directed towards obtaining an inoculum containing more specific rhizobia in greater numbers, by

using more effective strains than those currently being studied, even though they are already satisfactory.

Manufacturing techniques also need to be perfected, so that small industrial units can be used to package the inoculum in powder form in packs containing sufficient inoculum for 50 kg of seeds (1 ha), or to

coat seeds directly for marketing as ready-to-use fungicide treated, inoculated seeds.

Acknowledgments: — Our sincere thanks go to Mr. Y.R. Dommergues for assisting us in writing this article by offering us the benefits of his experience.

INDEX DES ANNONCEURS

BANQUE NATIONALE DE PARIS	couv. p. 3	OLIER (Sté Nouvelle des Ets)	II
BLOHORN	couv. p. 2	PALMCO	IV
CIBA-GEIGY	couv. p. 4	SODECI	IV
HERSTAL (Ateliers de)	IV	VINCKE	212
KUHNLE, KOPP et KAUSCH (KKK)	III		