

Fixation de l'azote chez l'arachide et le niébé en conditions de sécheresse pour l'amélioration de la productivité au Sahel

F. Hamidou^{1,2*}, A. Harou², B.F. Achirou¹, O. Halilou¹ & Y. Bakasso²

Keywords: Drought- Nitrogen fixation- Fertilization- Rotation- Niger

Résumé

L'identification des variétés d'arachide et de niébé tolérantes à la sécheresse et bonnes fixatrices d'azote augmenterait leurs productions et celle des céréales associées ou en rotation. Des variétés d'arachide et de niébé ont été évaluées, au champ et en pots, en conditions de sécheresse et sous 4 traitements fertilisants. Pour le niébé, les conditions de sécheresse ont réduit la plupart des paramètres étudiés, dont notamment le nombre de nodules (40%) et le poids des gousses (30%). A contrario, des conditions de stress hydrique se sont traduites par une augmentation de la biomasse sèche des racines (10%). L'apport en azote et/ou en phosphore a augmenté le poids des gousses jusqu'à 81%. Les variétés IT93-503-1, IT93-693-2, UC-CB46 et Mouride se sont révélées bonnes fixatrices de l'azote et tolérantes aux conditions de sécheresse. Le nombre de nodules, la biomasse des gousses et la biomasse des racines ont été réduits pour l'arachide respectivement de 12, 20 et 27% en conditions de sécheresse. Les variétés ICGV-00350, ICGV-86015, ICGV-97183 et ICGVSM-87003 ont montré les meilleurs poids en gousses et le nombre de nodules les plus élevés. Les variétés d'arachide 55-437, Fleur11, ICGV-00350, ICGV-86015, ICGV-97183 et ICGVSM-87003 ont enrichi le sol et ont augmenté la biomasse (20%) de la variété du mil SOSAT-C88 cultivée en rotation.

Summary

Nitrogen Fixation by Groundnut and Cowpea for Productivity Improvement in Drought Conditions in the Sahel

Selection of drought tolerant and high nitrogen fixing varieties of groundnut and cowpea could improve their productivity and that of the cereals grown in association or rotation. Groundnut and cowpea varieties were assessed in field and in pots for response to drought using 4 fertilizer treatments. For cowpea, drought conditions decreased most of studied parameters, especially nodule number (40%) and pod weight (30%); while the root dry matter increased up to 10%. Nitrogen and/or Phosphorus fertilization increased pod weight up to 81%. Varieties IT93-503-1, IT93-693-2, UC-CB46 and Mouride were tolerant to drought conditions and very good nitrogen fixers. Nodule number, pod weight and root dry matter of groundnut decreased up to 12, 20 and 27% respectively due to drought conditions. Varieties ICGV-00350, ICGV-86015, ICGV-97183 and ICGVSM-87003 had the highest pod weight and the highest nodule number under drought conditions. Groundnut varieties ICGV-00350, ICGV-86015, ICGV-97183 and ICGVSM-87003 improved soil fertility and increased biomass (20%) of Pearl millet (SOSAT C88 variety) grown with them in rotation.

¹Institut International de Recherche sur les Cultures des zones Tropicales et Semi-Arides, Centre Sahélien, Niamey, Niger.

²Université Abdou Moumouni, Faculté des Sciences et Techniques, Niamey, Niger.

*Auteur correspondant: Email: f.hamidou@cgiar.org

Reçu le 09.01.17 et accepté pour publication le 16.08.17

Introduction

La sécheresse et l'infertilité du sol constituent les principaux facteurs limitants de la production de l'arachide et du niébé, deux principales légumineuses cultivées au Sahel. Ces légumineuses sont les principales, souvent les seules sources de protéines et d'acides gras consommées par les paysans sahéliens pour combattre la faim et la malnutrition. Les légumineuses sont aussi connues pour leurs aptitudes à fixer l'azote atmosphérique (N_2) de l'air grâce à une association symbiotique avec des bactéries (*Rhizobium* sp.). Ces cultures non seulement elles n'appauvrissent pas le sol en azote mais elles l'enrichissent au profit des céréales souvent cultivées en association ou en rotation. Les rendements des céréales en rotation avec une culture des légumineuses augmentent de 30 à 350% (21). Le rendement du maïs cultivé en rotation avec le niébé a augmenté de 57% et de 53% quand la culture du maïs succède celle de l'arachide (1, 4, 11). L'arachide peut fixer $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N_2 pendant que le niébé peut fixer $210 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N_2 (5). De ces quantités de N_2 fixées, l'arachide et le niébé enrichissent le sol respectivement de 43 et $125 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (5). Malgré l'effet bénéfique et le rôle important de ces légumineuses pour une production agricole élevée et durable, peu d'investigation ont été menées au Sahel pour amplement exploiter leurs fixations symbiotiques de l'azote (18). Par ailleurs, la sécheresse, même modérée, affecte significativement la fixation de l'azote (16). Pour améliorer la production de l'arachide et du niébé au Sahel, il est impératif de disposer des variétés non seulement tolérantes à la sécheresse mais aussi bonne fixatrice de l'azote même en conditions de déficit hydrique. Ce travail a pour objectif d'investiguer la réponse adaptative de l'arachide et du niébé au déficit hydrique et à la déficience du sol en azote (N) et en phosphore (P) afin de, (i) identifier les variétés tolérantes à ces déficits et meilleures fixatrices de l'azote, (ii) comprendre la réponse chez les deux espèces et identifier les traits de tolérance, (iii) évaluer la fixation de l'azote chez l'arachide et le niébé ainsi que l'effet bénéfique sur le sol pour les céréales en rotation.

Matériel et méthodes

Conditions expérimentales et imposition de stress hydrique

Les essais au champ et en pots ont été conduits à la station expérimentale de l'ICRISAT à Sadoré (45 km au Sud de Niamey, 13° N , 2° E , Niger). Dix variétés d'arachide et 7 variétés de niébé ont été testées au champ en 2014 alors qu'en pots l'essai a porté sur 7 variétés d'arachide et 6 variétés de niébé conduit pendant la contre saison 2015 (Mars à Mai). Quelques caractéristiques des variétés étudiées sont présentées dans le tableau 1.

Le deuxième essai en pots pour tester l'effet de la rotation a été conduit pendant l'hivernage 2015 (Juillet à Septembre). Une des variétés d'arachide, ICGL-5 est non nodulante et a été utilisée comme témoin pour la fixation de l'azote. Les caractéristiques physico-chimiques du sol utilisé dans les expérimentations au champ et en pots sont entre autres: $\text{pH-H}_2\text{O}$ (5,28), capacité d'échange cationique ($1,91 \text{ cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$), matière organique (0,22%), azote total ($204,3 \text{ mg-N} \cdot \text{kg}^{-1}$), phosphore total ($26,25 \text{ mg-P} \cdot \text{kg}^{-1}$), phosphore assimilable ou P bray1 ($1,83 \text{ mg-P} \cdot \text{kg}^{-1}$). Au champ, un dispositif *alpha lattice* a été utilisé (pour tenir compte de l'hétérogénéité du sol), avec le régime hydrique en facteur principal, la fertilisation en facteur élémentaire et les variétés en facteur sous élémentaire complètement randomisées par niveau de fertilisation et répétées 4 fois. Pour chaque niveau de fertilisation, il y a 5 blocs et 40 parcelles pour l'essai d'arachide et 7 blocs avec 28 parcelles pour l'essai du niébé. Chaque parcelle (2 m^2) de l'arachide et du niébé comporte 2 lignes de 20 poquets. Pour l'essai en pots (remplis de sol comme décrit ci-dessus), le dispositif a été en blocs complet randomisé. Avant de remplir les pots (15 litres) avec le sol, 1 kg de gravier a été mis à la base pour faciliter le drainage. Les pots ont été arrosés à la capacité au champ et 3 graines par pot ont été semées, une plante par pot a été laissée après démariage. Au champ, avant le semis, l'irrigation a été de 30 mm à l'aide de système d'irrigation "*Linear move*" (*Valmont Irrigation Inc., Valley, Nebraska, États-Unis*). Il y a 4 répétitions pour l'essai au champ et en pots, deux traitements hydriques appliqués dont irrigation normale (*WW*) et sécheresse intermittente (*WS*) imposée en phase 50% floraison correspondant à 22 et 27 jours après semis pour l'arachide et le niébé respectivement. L'application de la sécheresse intermittente ou stress hydrique (*WS*) a consisté à interrompre l'irrigation jusqu'à ce que les plantes montrent un flétrissement de niveau 3 avant d'être arrosées puis l'irrigation est interrompue à nouveau, ce cycle se poursuivant jusqu'à la maturité de gousses. Une échelle de 1 à 5 (niveau 1= faible, niveau 5= sévère) est établie pour apprécier visuellement les symptômes de flétrissement (7). Au champ et en pots, 4 traitements de fertilisation, NP0 (aucun apport d'engrais), N1 (apport d'urée, 600 mg N/kg), P1 (apport de tri-superphosphate ou TSP, 6 mg P/kg) et NP1 (apport de di-ammonium phosphate ou DAP, 600 mg N/kg et 6 mg P/kg) ont été appliqués avant le semis. NP0 correspond au traitement témoin sans apport de N ni de P. Après la récolte des plants d'arachides en pots, une variété de mil (SOSAT-C88) a été semée dans tous les pots pour évaluer l'effet de la rotation arachide-mil. L'essai de mil était donc en blocs complet randomisé comme celui de l'arachide. Aussi, pour déterminer l'effet du précédent cultural de l'arachide sur le mil, la variété SOSAT-C88 a été semée dans 4 pots témoins où aucun plant d'arachide était cultivé.

Tableau 1
Caractéristiques des variétés d'arachide et du niébé étudiées.

Variétés	Origine	Cycle végétatif (Jours)	Réponse au déficit hydrique	Rendement (T ha ⁻¹)
Arachide				
55-437	Sénégal	85-90	tolérant	2
ICG 02290	ICRISAT	85	tolérant	2
ICG 1519	ICRISAT	85	tolérant	2,5
ICGV 00350	ICRISAT	90	tolérant	2,5
ICGV 02271	ICRISAT	90	intermédiaire	2
ICGV 86015	ICRISAT	90	tolérant	2,5
ICGV 91114	ICRISAT	90	tolérant	1,5
ICGVSM 87003	ICRISAT	95	sensible	2
J11	ICRISAT	85	intermédiaire	2,5
IGL 5	ICRISAT	95	sensible	1,5
Niébé				
IT90K-284-2	IITA	70	sensible	3
IT93K-503-1	IITA	80	tolérant	3
IT93K-693-2	IITA	70	tolérant	3
IT96D-610	IITA	75	tolérant	3
Mouride	Sénégal	75	tolérant	3
Suvita 2	Burkina	65	tolérant	3
UC-CB 46	USA	70	sensible	2,5

Mesures des paramètres agro-morpho-physiologiques

La température et l'humidité relative de l'air ont été relevées durant les essais. La phénologie (levée, floraison, maturité) a été observée. Au champ et en pots, 2 plants par ligne de chaque parcelle ont été prélevés avant et après l'imposition de stress hydrique afin de déterminer le nombre de nodules par plant et la surface foliaire (SF) à l'aide d'un *leaf area meter LI-3100c* (Licor Inc., Lincoln, Nebraska 68504-0425, USA). Trois prélèvements destructifs des plants (1 à 15 jours après semis, 1 à l'imposition de stress et l'autre à la fin de stress hydrique). Après avoir mesuré la surface foliaire, les feuilles ont été séchées à l'étuve à 70 °C pendant 48 heures pour déterminer leurs poids secs (PS). La SF et le PS ont été utilisés pour déterminer la surface foliaire spécifique ou SLA (SLA= SF/PS). Pour l'essai en pots, le dépotage a consisté à rincer le sol délicatement avec de l'eau pour extraire les racines. Au champ, ce sont les plants à l'extrémité des lignes qui ont été délicatement prélevés avec la terre puis soigneusement rincés pour extraire les racines. Le nombre de nodules par plant a été minutieusement compté. C'est le nombre de nodules formés qui est utilisé comme caractères indirect pour estimer la fixation d'azote (8). A l'imposition de WS, le SPAD *chlorophyll meter reading (SCMR)* qui estime la teneur en chlorophylle, le *leaf-area index* (à l'aide de LAI 2000), le nombre de feuilles et des rameaux ont été mesurés.

A la récolte, le nombre de gousses, le rendement gousses, le rendement fanes et l'indice de récolte (IR) ont été déterminées. La biomasse du mil cultivé en pots en rotation avec l'arachide a été mesurée.

Analyse statistiques

Les données ont été saisies sur le tableur Excel et les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel *GeneStat version 14*. Les analyses de variance (ANOVA) ont été réalisées, le test de Newman student Keuls au seuil de 5% ont permis de comparer les moyennes et évaluer les effets des traitements et les variations génotypiques.

Résultats

Effet du déficit hydrique (WS) et de la déficience en P et N au champ et/ou en pots

Nombre de nodules

Chez l'arachide

Dans les expérimentations au champ et en pots, une variation phénotypique significative ($P < 0,01$) a été observée. La variété ICGL-5 n'a formé aucun nodule en conditions de champ et en pots confirmant ainsi son caractère non nodulant (Figure 1). Au champ, le nombre de nodules par plante a varié de 0 (ICGL5) à 86 (ICGV-00350) alors qu'en pots il a varié de 0 (ICGL5) à 325 (ICGV-00350). Dans les deux expérimentations, les variétés ICGV-00350 et ICGV 86015 se révèlent performantes pour la formation de nodules du fait que leurs nombres de nodules sont plus élevés que ceux de la variété 55-437.

La sécheresse (*WS*) a réduit significativement ($P < 0,001$) le nombre de nodules formés (Figure 2). Au champ, la baisse du nombre de nodules due à *WS* est de 12% alors qu'elle est de 20% dans l'expérimentation en pots. La variation phénotypique observée En conditions de *WS* montre que les variétés ICGV 00350, ICGV 86015 et ICGVSM 87003 sont meilleures productrices de nodules au champ alors qu'en pots ce sont 55-437, ICGVSM 87003 et ICGV 97183 qui se révèlent meilleures en formation de nodules.

Chez le niébé

Les analyses statistiques du nombre de nodules formés révèlent une variation phénotypique significative ($P < 0,01$). Sous traitement NPO au champ, le nombre de nodules par plant a varié de 6 (IT93K-503-1) à 10 (Mouride). En pots, le nombre de nodules varie de 3 (IT90K-284-2) à 25 (UC-CB-46). Les variétés UC-CB46 et Mouride forment beaucoup de nodules au champ comme en pots alors que la variété IT93K-503-1 se révèle performante que dans l'expérimentation en pots.

Le déficit hydrique (*WS*) a significativement ($P < 0,001$) affecté le nombre de nodules formés (Figure 2). La baisse du nombre de nodules due à *WS* est de 40% au champ et 36% dans l'expérimentation en pots. Les variétés qui ont révélé le meilleur nombre de nodules en conditions *WS* au champ et en pots sont IT93K-503-1, Mouride et UC-CB 46.

La surface foliaire, la biomasse racinaire, les poids gousses et poids fanes

Au champ, la surface foliaire spécifique (*SLA*) en conditions *WS* a significativement diminuée (11%) chez le niébé alors qu'elle ne varie pas significativement (1%) chez l'arachide (Figure 3). En pots, le déficit hydrique n'a significativement pas affecté la surface foliaire.

Dans les 2 expérimentations, on a observé une variation phénotypique chez les 2 espèces. En conditions *WS* au champ, J11 et ICGV 86015 révèlent les meilleures *SLA* alors que ICGV 02271 présente la plus faible *SLA*. Chez le niébé Suivita2 et Mouride ont les *SLA* les plus élevées en *WS* et IT93-503-1 a la plus faible *SLA* au champ.

La biomasse des racines du niébé en pots a augmenté de 10% en moyenne en conditions de *WS*. Cette augmentation a été de 40 et 21% respectivement chez les variétés IT93K-503-1 et IT93K-693-2. Par contre, chez l'arachide *WS* a réduit la biomasse des racines de 27%. Avec une réduction de biomasse des racines de 46%, la variété ICGL-5 se révèle la plus sensible au *WS* alors que 55-437, ICGVSM-87003 et ICGV-00350 se révèlent tolérantes.

Le stress hydrique imposé en phase floraison (*WS*) a réduit significativement ($P < 0,001$) les poids gousses et fanes chez l'arachide et le niébé. La baisse est de 30% et 31% respectivement chez l'arachide et le niébé.

La variation phénotypique significative observée révèle que chez les variétés Mougne et Mouride, la baisse est très faible (2%) pendant qu'elle atteint 51 et 76% chez IT90K-284-2 et IT93K-593-1 respectivement. Chez l'arachide, ICGL5 a produit moins de gousses en conditions *WW* et *WS*. Cette variété non nodulante a produit 70% et 84% moins de gousses que les autres variétés respectivement en conditions *WW* et *WS*. Le poids gousses a été moins affecté par *WS* chez les variétés 55-437, ICGV-97183 et ICGVSM-87003. *WS* a réduit la biomasse des fanes de 13% chez le niébé et de 35% chez l'arachide. La variation phénotypique indique que les variétés UC-CB46, Mougne et IT90K-693-2 chez le niébé puis 55-437, ICGV-97183 et ICG-1519 chez l'arachide sont les moins affectées par le stress hydrique. La variété ICGL-5 montre aussi la plus petite biomasse de fanes en *WW* et en *WS*. Elle produit 50% et 36% moins de fanes que les autres variétés.

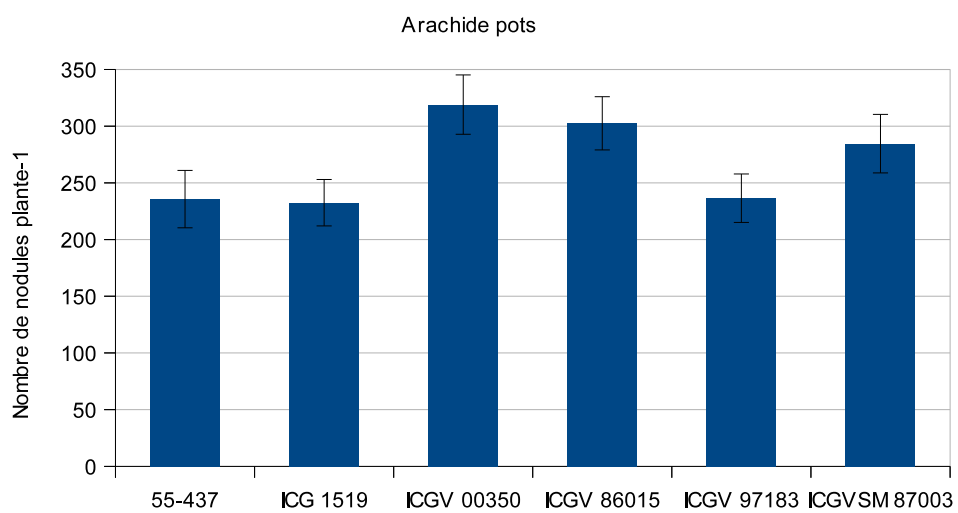
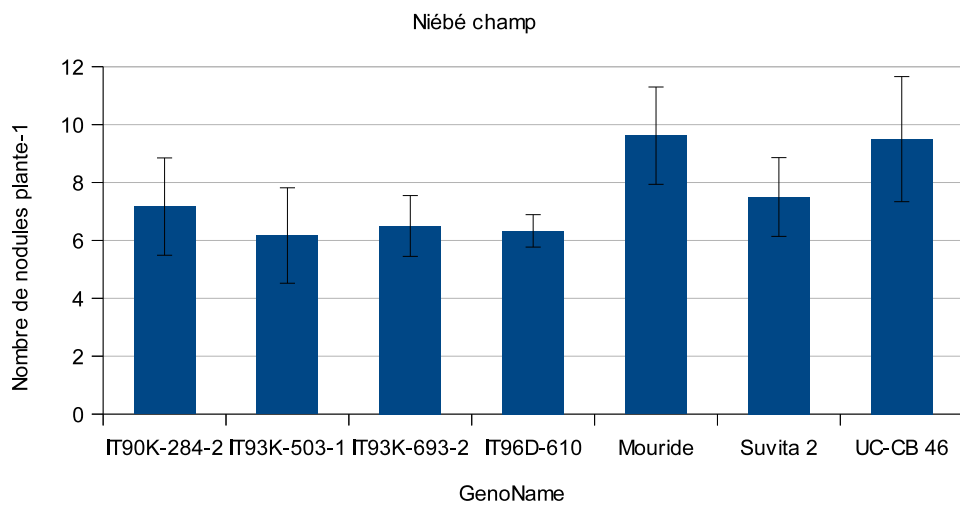
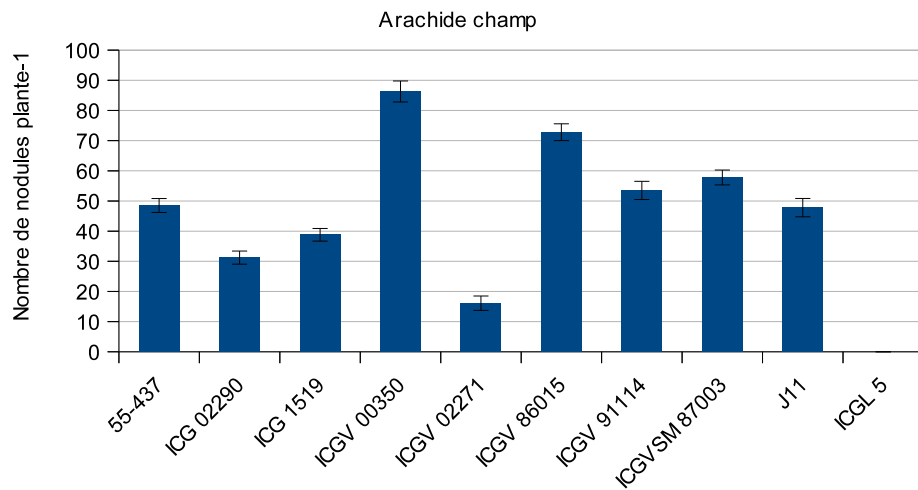
Effet de fertilisation minérale chez l'arachide et le niébé

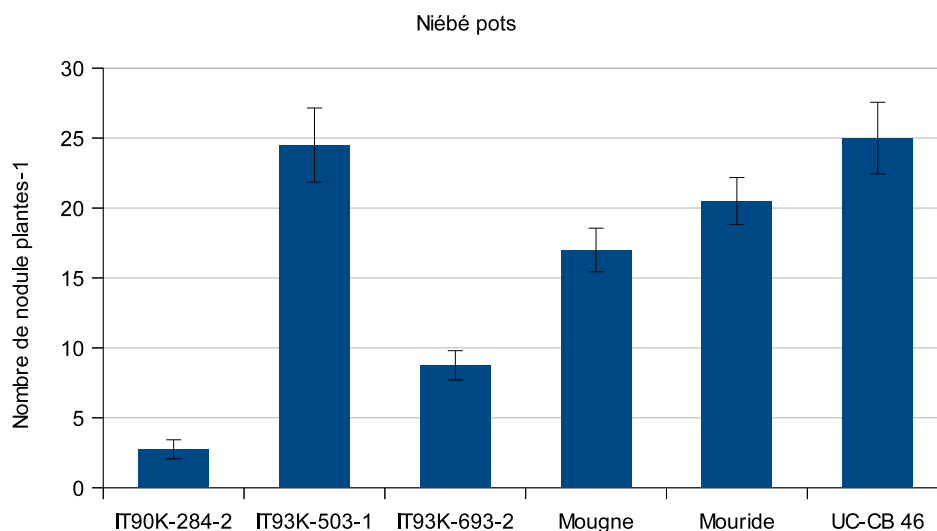
L'amendement du sol par l'urée, le DAP et le TSP a augmenté le poids gousses de 14, 76 et 81% respectivement et le poids fanes de 14, 68 et 70% chez l'arachide.

Cette augmentation est respectivement de 6, 12 et 40% pour les gousses et 1, 3 et 36% pour le poids fanes chez le niébé (Figure 4). Chez l'arachide, une forte corrélation a été observée entre le nombre de nodules et le poids gousses ($r^2 = 0,91$) et entre le nombre de nodules et le poids fanes ($r^2 = 0,88$). Chez le niébé, la corrélation est faible, $r^2 = 0,11$ et $r^2 = 0,14$ respectivement pour le poids gousses et le poids fanes (Figure 5). L'amendement en phosphore (TSP et DAP) a plus augmenté la production de gousses que celle de fanes chez l'arachide alors que chez le niébé, l'effet sur les gousses est similaire à l'effet sur les fanes (Figure 6). Sous fertilisation en DAP et TSP, la variété ICGV-00350 produit plus de gousses et de fanes que la 55-437 chez l'arachide alors que chez le niébé, ITK93-693-2 et IT93K-503-1 sont meilleures que Mouride pour la production en gousses.

Effet résiduel de la rotation légumineuse-céréales

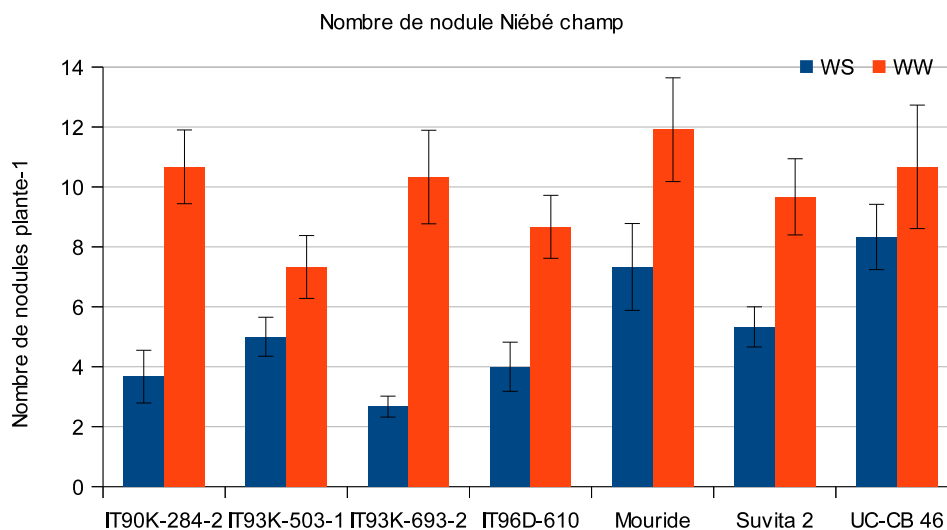
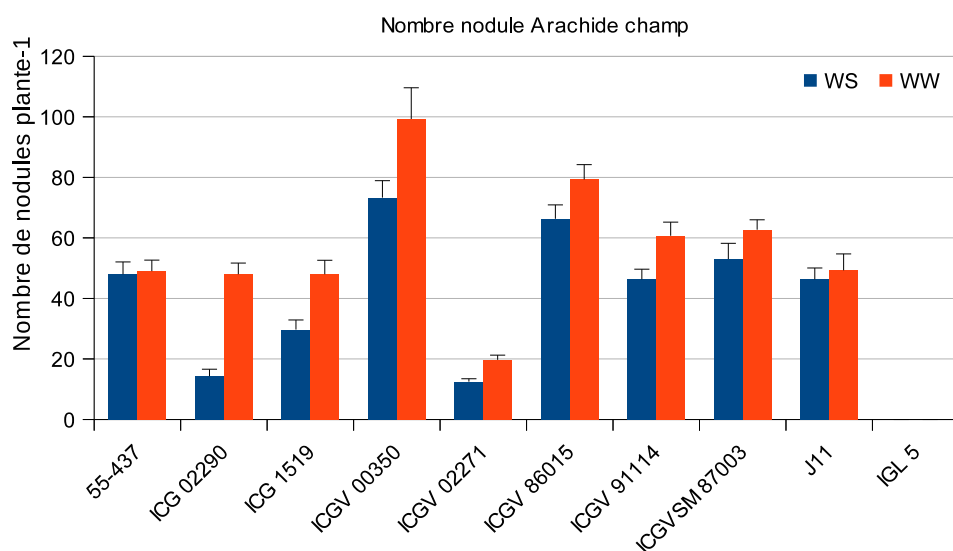
L'analyse de la biomasse aérienne sèche du mil (variété SOSAT-C88) cultivé en rotation avec l'arachide montre une augmentation de 20% par rapport au témoin (Figure 7). Une variation phénotypique révèle que l'augmentation de la matière aérienne sèche observée est plus importante chez ICGV-86015, ICGV-00350 et 55-437. La matière sèche de SOSAT-C88 récoltée après rotation avec la variété ICGL-5 est de 14 g comparée à 31 g (en moyenne) après rotation avec les autres variétés. La matière sèche des plants de SOSAT-C88 témoins (sans rotation) est similaire à celle récoltée après rotation avec ICGL-5.

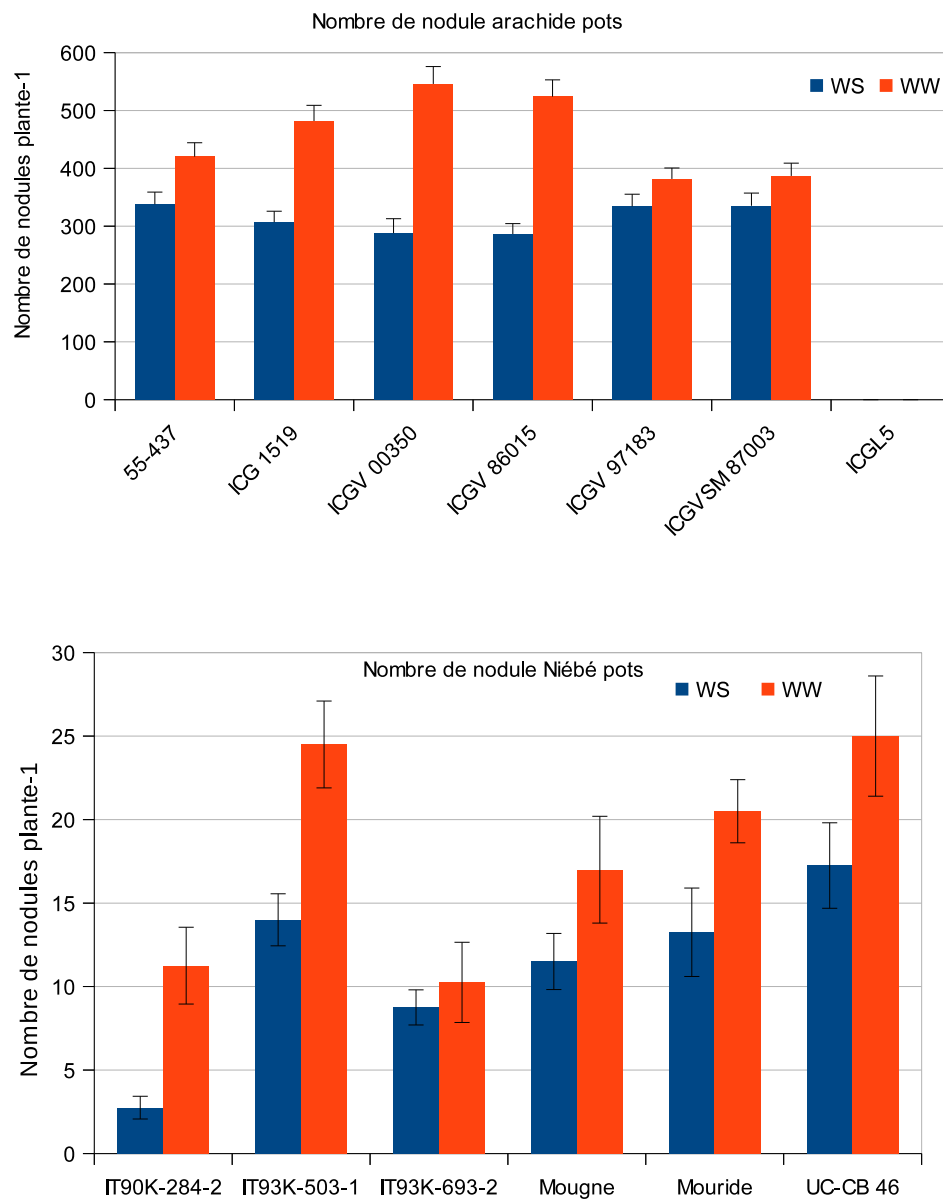




Signification auseuil de 5%, les barres représentent les écarts types

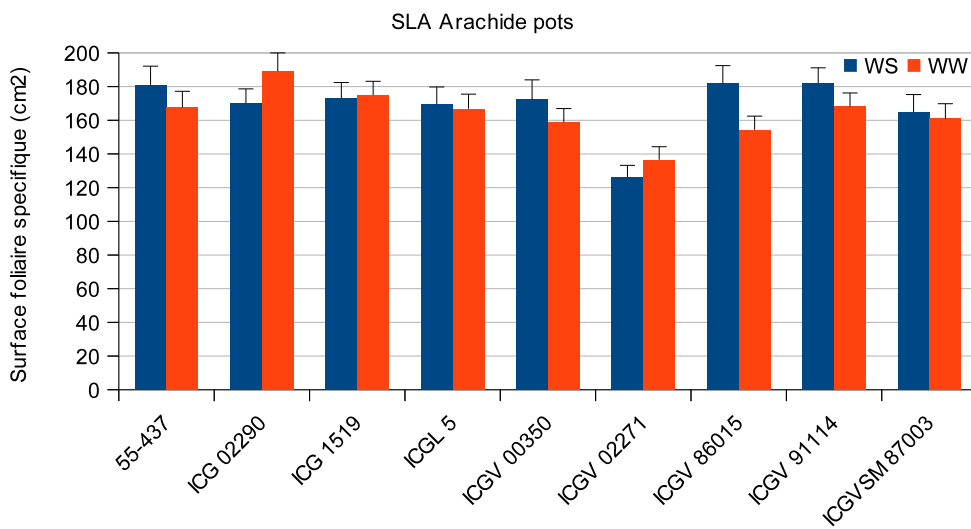
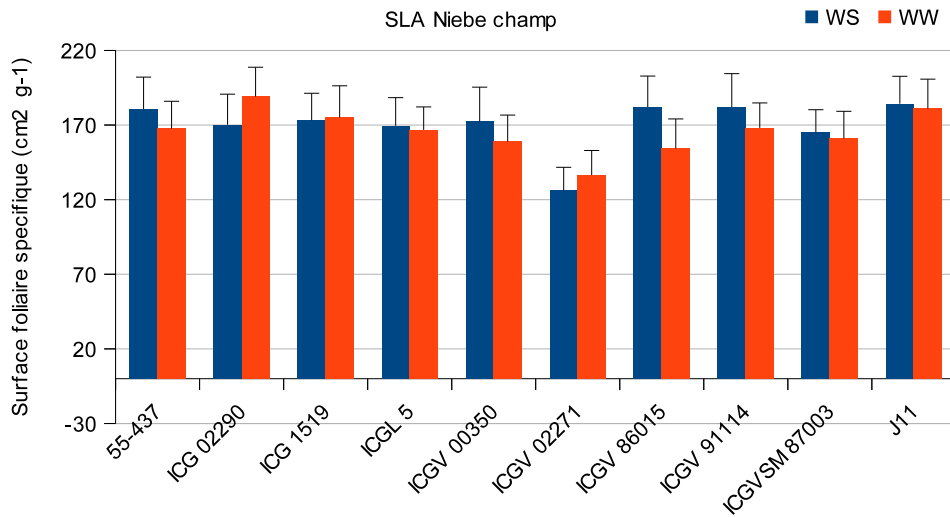
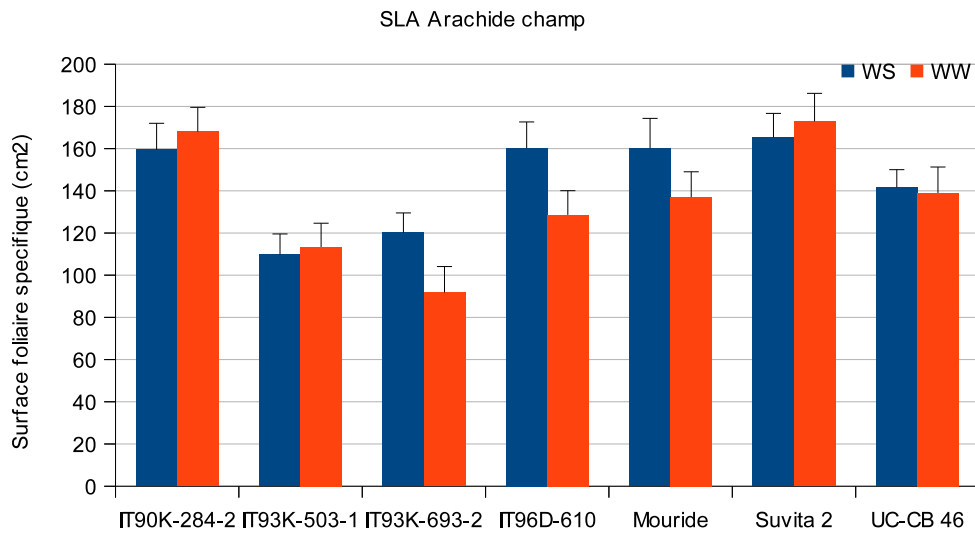
Figure 1: Nombre de nodules par plant chez l'arachide et le niébé au champ et en pots sous traitement NPO (sol déficient et sans apport d'engrais).

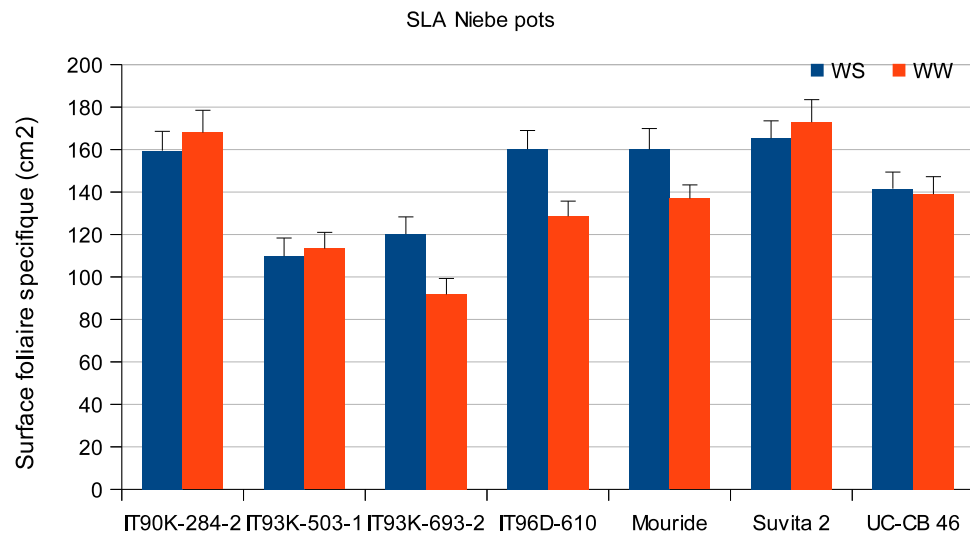




Signification a seuil de 5%, les barres représentent les écarts types.

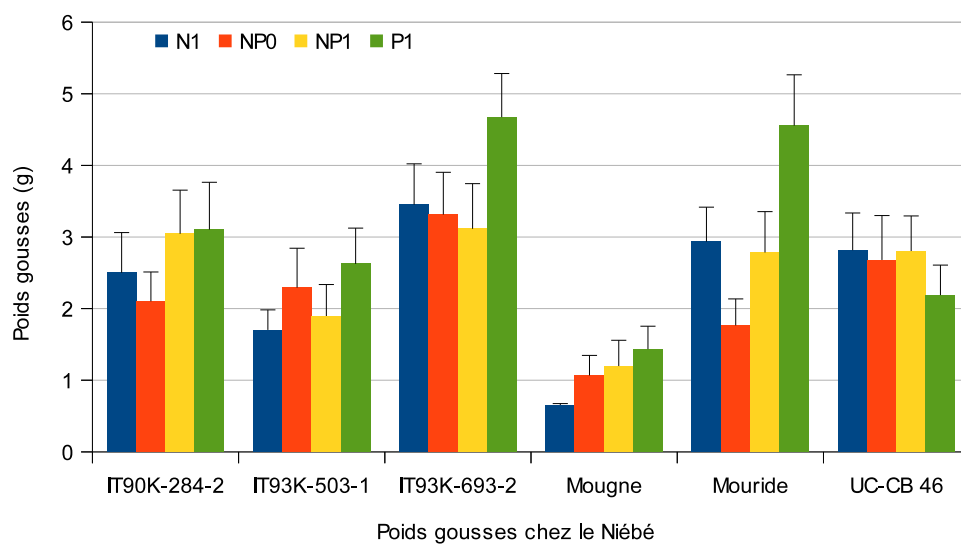
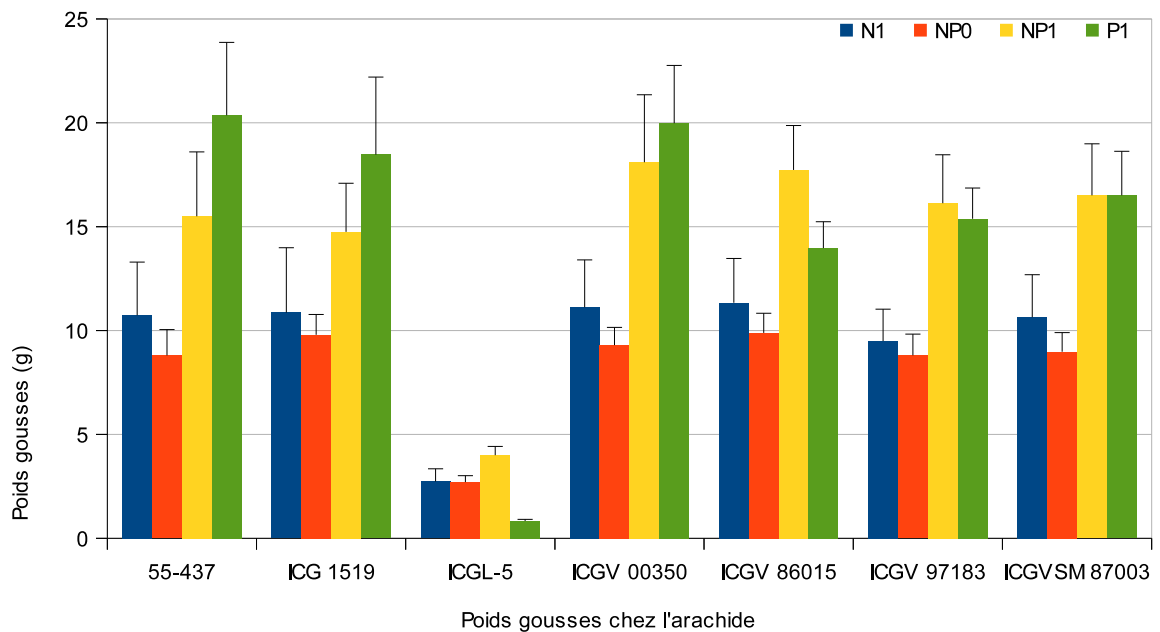
Figure 2: Nombre de nodules par plant chez l'arachide et le niébé au champ et en pots en conditions de stress (WS) et non stress hydrique (WW).

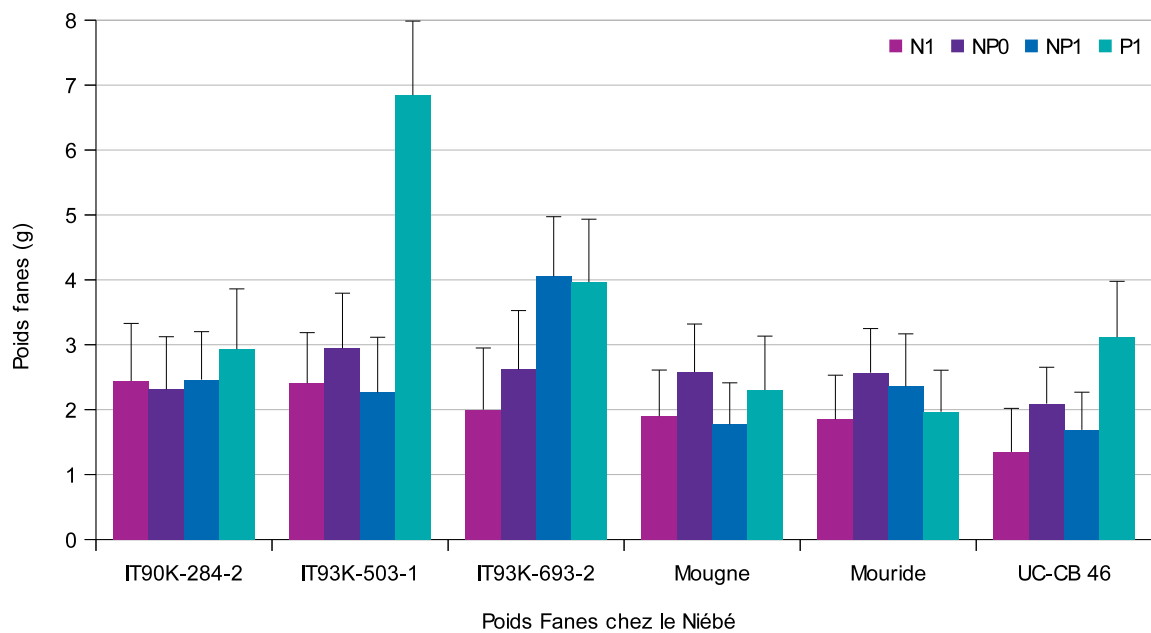
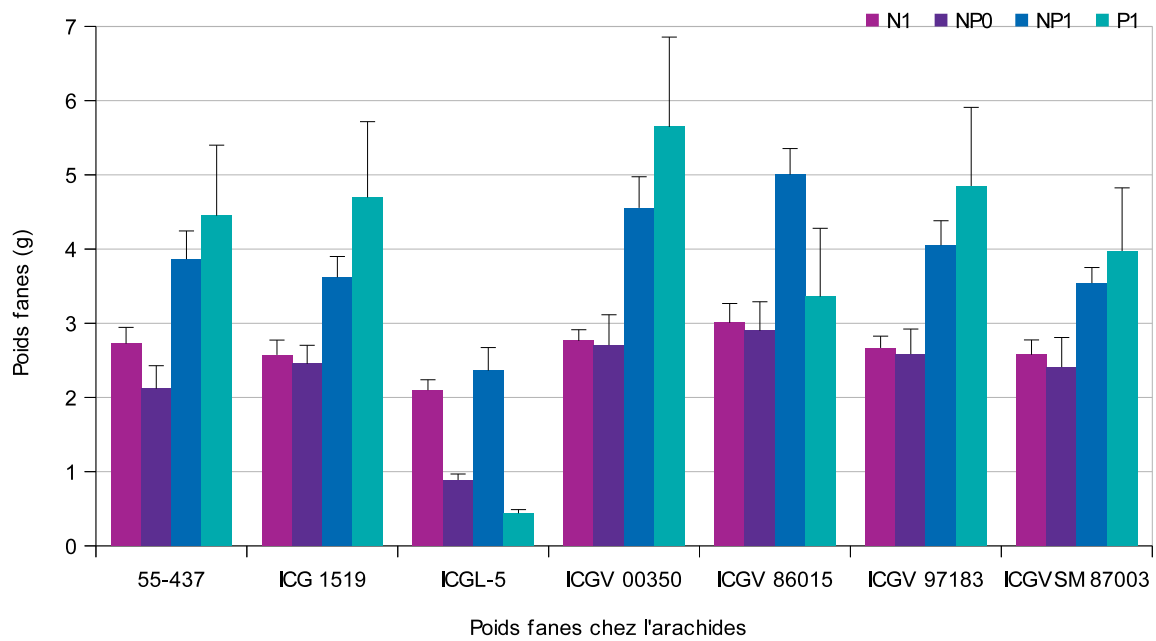




Signification au seuil de 5%, les barres représentent les écarts types

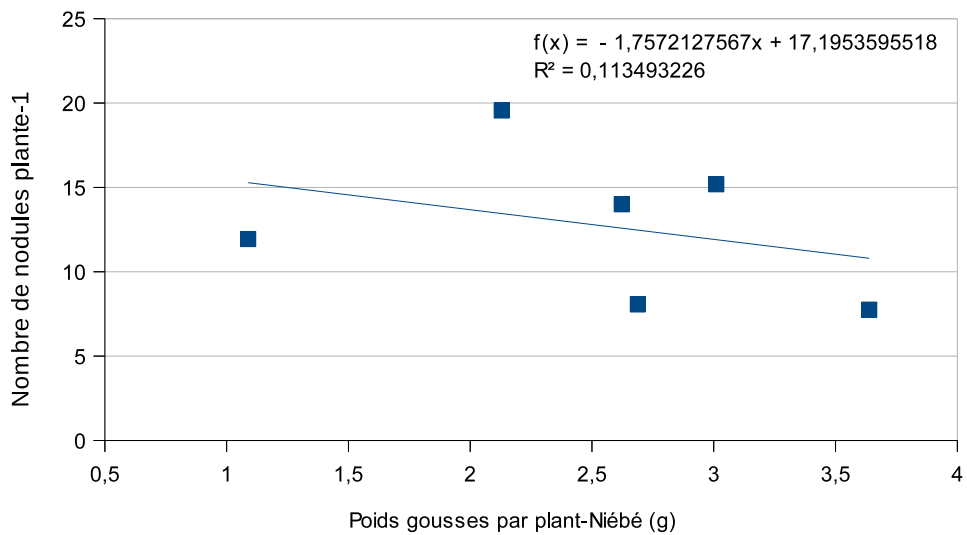
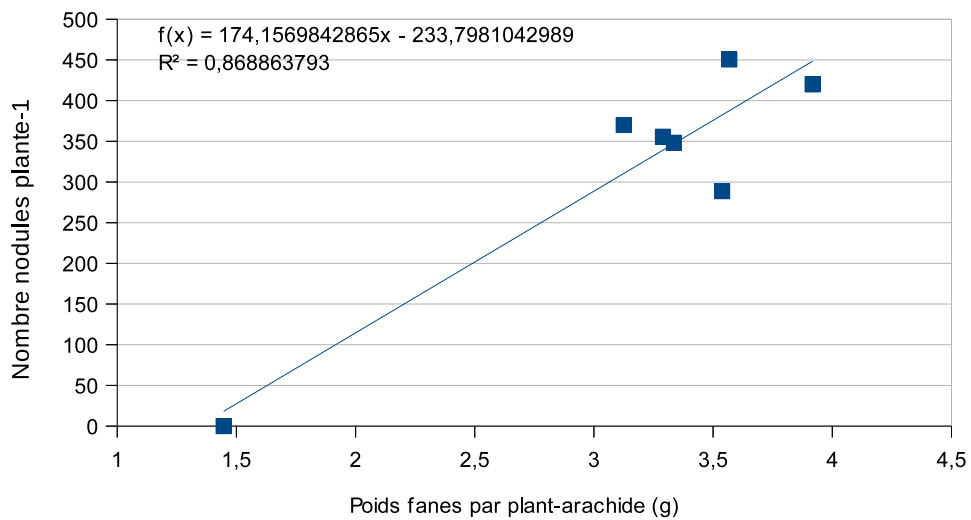
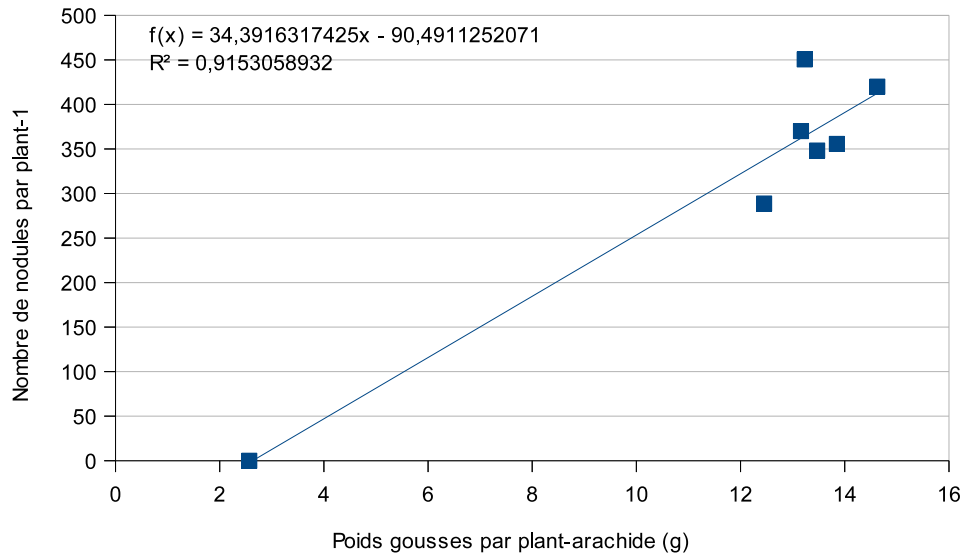
Figure 3: Surface foliaire spécifique chez l'arachide et le niébé en conditions de stress (WS) et non stress (WW) au champ et en pots.





Signification au seuil de 5%, les barres représentent les écarts types

Figure 4: Effet de l'amendement en urée (N1), Di-Amonium-phosphate (DAP=NP1) et fertilisant) sur le poids gousses et fanes des variétés de l'arachide et du niébé. NP0.



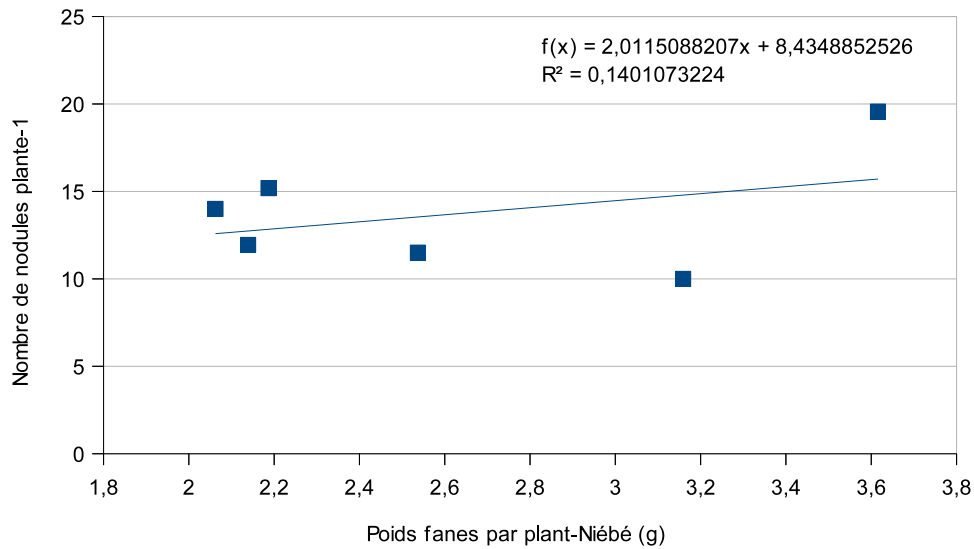
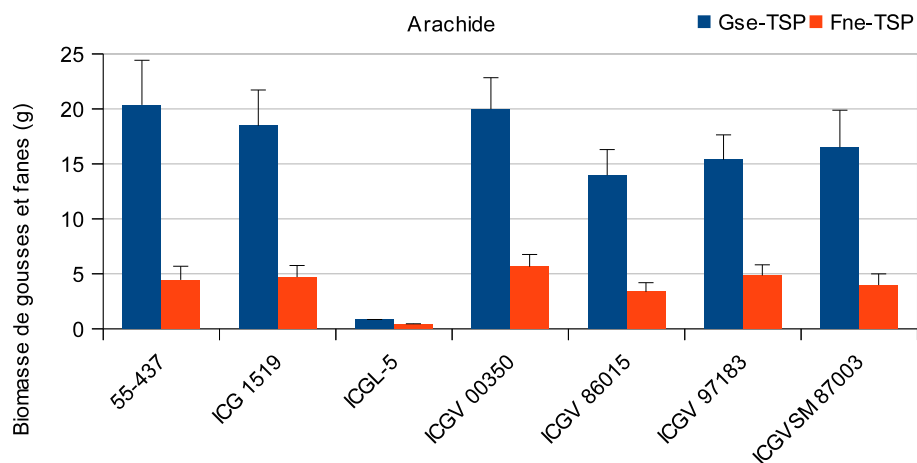
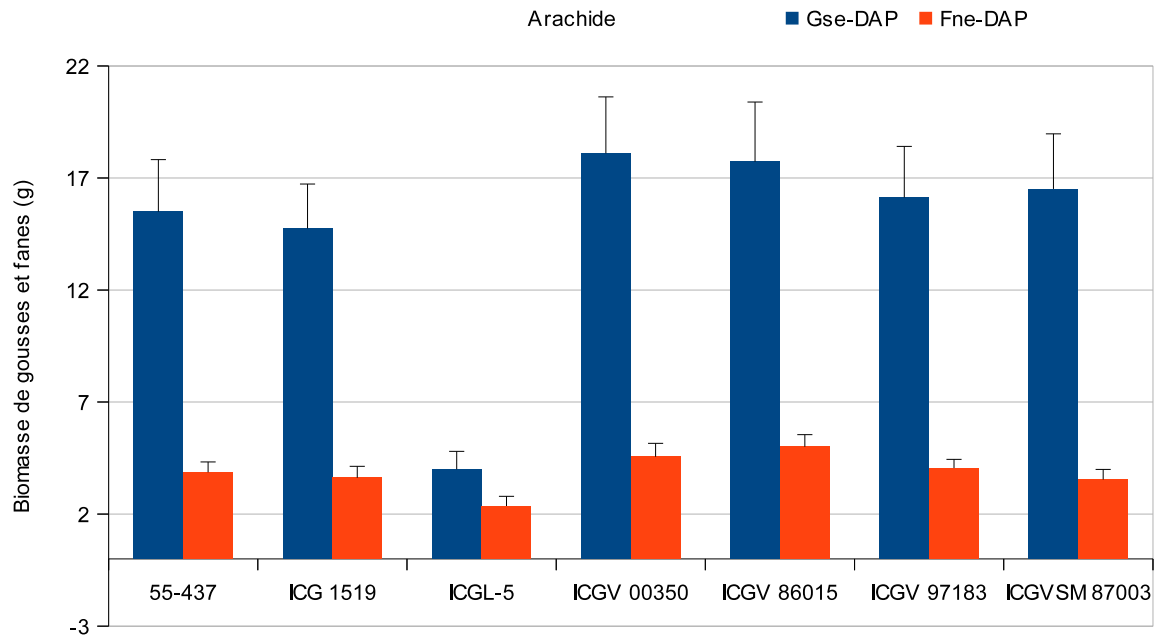
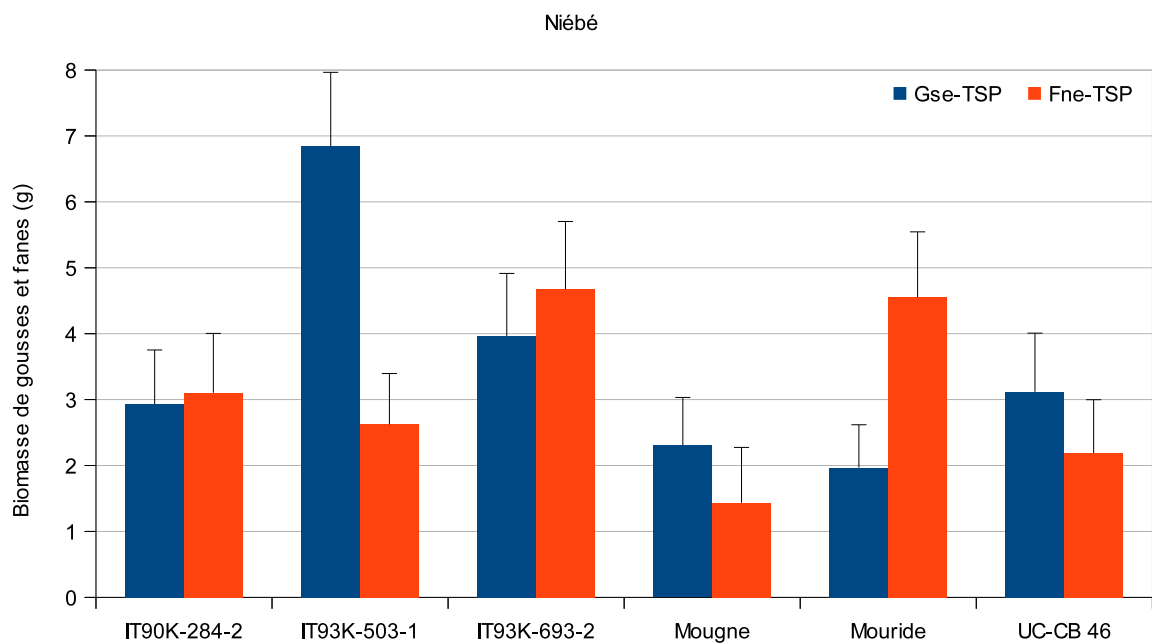
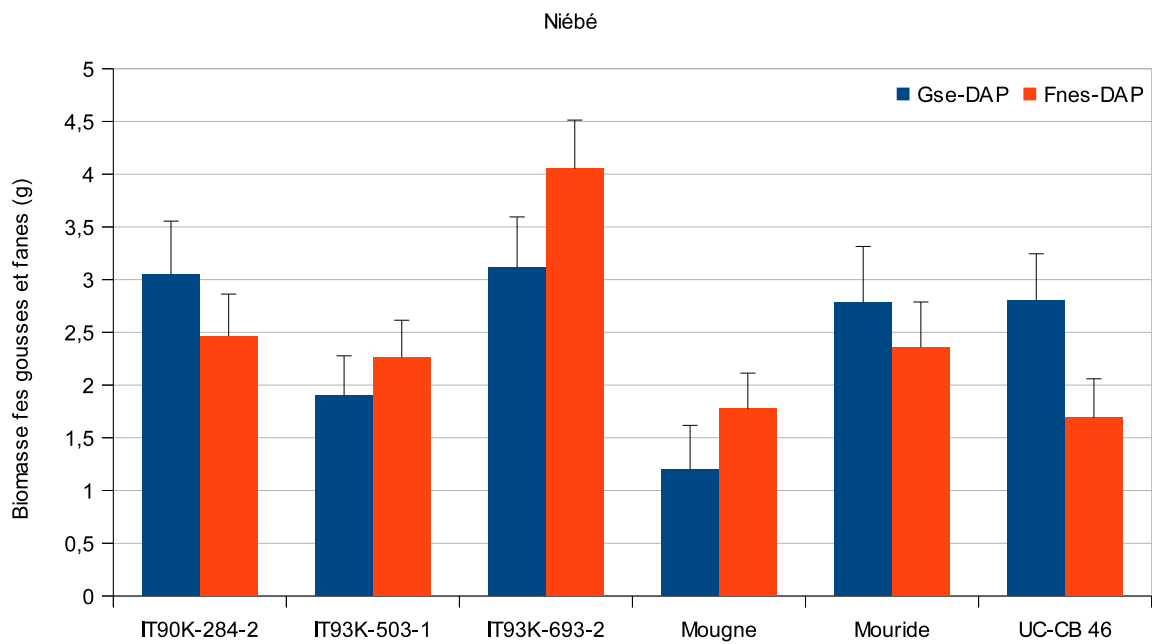


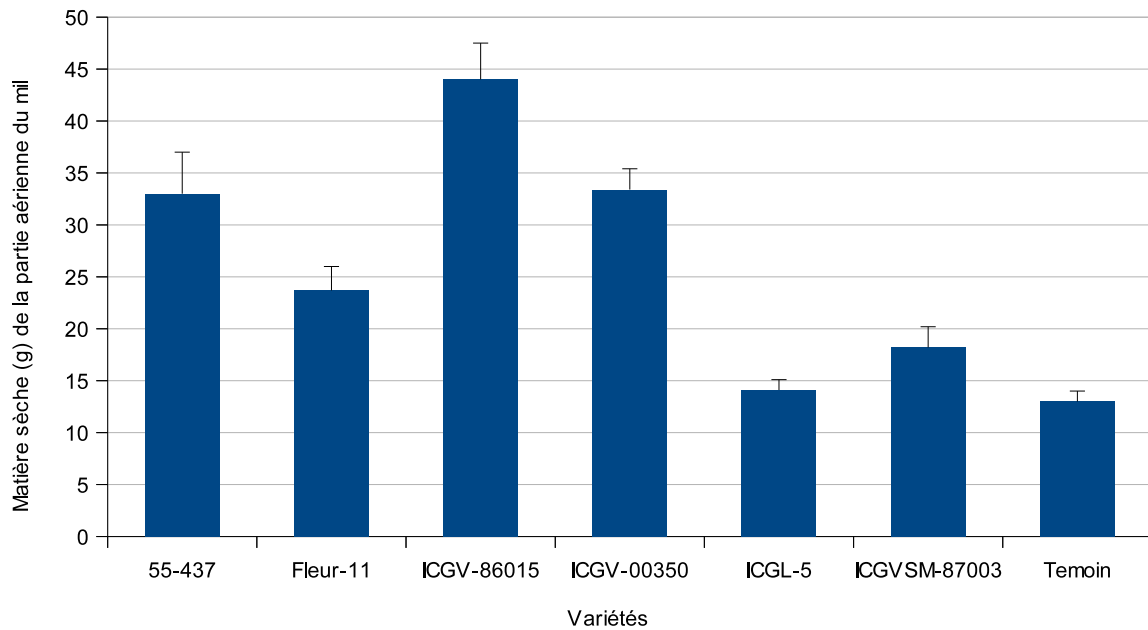
Figure 5: Correlation entre poids gousses (pds-gse), poids fanes(pds fne) et nombre de nodules par plant (nb nod) chez le niébé et l'arachide en conditions des pots.





Signification au seuil de 5%, les barres représentent les écarts types.

Figure 6: Production en gousses (Gse) et fanes (Fne) sous apport de l'azote et du phosphore sous formes de DAP et TSP chez l'arachide et le niébé.



Témoin = sans rotation. Signification au seuil de 5%, les barres représentent les écarts types

Figure 7: Matière sèche (g) aérienne du mil (variété SOSAT C88) cultivé en rotation avec les variétés d'arachide en conditions de pots.

Discussions

Chez les légumineuses, la fixation de l'azote atmosphérique se fait grâce à une symbiose avec les bactéries en formant des nodules. Les légumineuses sont donc connues comme espèces autonomes pour la nutrition azotée. Nos résultats montrent le nombre de nodules formés par l'arachide et le niébé en conditions de champ et en pots. Le nombre de nodules chez ces deux légumineuses a aussi été quantifié dans des travaux antérieurs (6). Une fixation élevée de l'azote (N) du fait de la formation d'un nombre élevé de nodules couvrirait le besoin en N de la plante et le surplus enrichirait le sol en N. Chez l'arachide et le niébé, une variation phénotypique a été observée pour le nombre de nodules formés indiquant qu'au sein d'une même espèce les variétés n'ont pas le même potentiel de fixation de l'azote. Ces résultats corroborent ceux observés dans d'autres travaux (2, 6, 9, 19). La variété d'arachide ICGL-5 n'a pas formé de nodules au champ comme dans l'expérimentation en pots et confirme qu'elle est non nodulante et se révèle un bon matériel témoin pour l'évaluation de la fixation d'azote. En conditions de champ et de pots, les variétés d'arachide ICGV-00350 et ICGV-86015 forment 40% de nodules plus que la 55-437 qui est une des variétés préférées des paysans et beaucoup cultivée au Sahel. Ces variétés montrent ainsi un intérêt agronomique plus important que la 55-437. Chez le niébé, les variétés UC-CB46, Mouride et IT93-503-1 nodulent mieux que Suivita-2 (variété locale).

La bonne aptitude de ICGV-00350, ICGV-86015, UC-CB46, Mouride et IT93-503-1 à fixer l'azote pourrait être exploitée au Sahel pour les cultures d'association et/ou de rotation avec les céréales pour restaurer la fertilité d'un sol dégradé. En effet, plusieurs travaux ont montré la forte relation entre la nodulation, la fixation de l'azote et l'enrichissement du sol en azote (N) par les légumineuses (10, 14, 18, 19). Dans cette étude une réduction significative du nombre de nodules a été observée en conditions de sécheresse chez l'arachide et le niébé. Des auteurs ont aussi montré que la sécheresse affecte la fixation de l'azote chez les légumineuses (11, 12, 18). Au champ et en pots, l'effet du stress hydrique sur le nombre de nodules formés a été plus important chez le niébé que l'arachide. Ces résultats pourraient indiquer que la fixation de l'azote est plus sensible à la sécheresse chez le niébé que chez l'arachide. Le déficit hydrique aurait affecté les souches de *Rhizobium* (différentes chez les 2 espèces) impliquées dans la nodulation et/ou le processus de formation de nodules. Des auteurs ont montré que la sécheresse affecte l'activité des nitrogénases, enzymes impliquées dans la fixation d'azote chez l'arachide (4). Aussi, les travaux de Vance (18) ont montré qu'en conditions de déficit hydrique, la nodulation est inhibée chez le niébé mais continue légèrement chez l'arachide. En utilisant la formation de nodules comme proxy (mesure indirecte) de la fixation de l'azote, nos résultats montrent que les variétés ICGV-00350, ICGV-86015 et ICGVSM-

87003 de l'arachide se révèlent bonnes fixatrices de l'azote en conditions de stress hydrique au champ alors qu'en pots ce sont 55-437, ICGVSM-87003 et ICGV-97183. La variété ICGV-86015 a une bonne fixation de l'azote et résiste au déficit hydrique (5). Chez le niébé, IT93K-503-1, Mouride et UC-CB 46 qui ont un nombre élevé de nodules formés en conditions de stress hydrique se révèlent tolérantes à la sécheresse au champ et en pots. Les caractères impliqués dans la tolérance à la sécheresse et la fixation de l'azote chez l'arachide et le niébé ont été investigués dans ce travail pour comprendre les stratégies de réponse. Nos résultats indiquent que la surface foliaire spécifique, la teneur des feuilles en chlorophylle (SCMR) et l'indice de surface foliaire (résultats non montrés), le poids des gousses et le poids des fanes ont été affectés par le stress hydrique imposé en pots et/ou au champ. Cependant, la variation phénotypique observée indique que l'effet varie selon le génotype et l'espèce. Le déficit hydrique a augmenté de 10% la biomasse racinaire chez le niébé mais il l'a réduite de 27% chez l'arachide. L'augmentation de la biomasse des racines atteint 40 et 21% chez IT93K-503-1 et IT93K-693-2 respectivement. Ces résultats révèlent une différence de réponse adaptative au déficit hydrique entre l'arachide et le niébé. En effet, face au dessèchement graduel du sol, le niébé favoriserait le développement racinaire pour explorer le sol et extraire de l'eau alors que l'arachide ralentirait la croissance racinaire pour économiser l'eau du sol. Sur la base de cette réponse, la comparaison entre les deux espèces suggère que le niébé utilise le mécanisme d'évitement à la déshydratation pendant que l'arachide, qui conserverait de l'eau dans ses tissus, utilise le mécanisme de tolérance à la sécheresse. Chez l'arachide, en régimes hydriques WW et WS la variété non nodulante ICGL-5 a produit moins de gousses et de fanes que les autres variétés et a été la plus affectée par le stress hydrique. Ces résultats traduiraient l'importance de la nodulation notamment dans la tolérance à la sécheresse. Par le processus de fixation de l'azote à travers la nodulation, les légumineuses couvrent leur besoin en N qui joue un rôle dans plusieurs processus notamment physiologiques comme la photosynthèse et l'absorption d'autres éléments minéraux (2, 12, 21). De l'analyse des résultats de la biomasse des gousses et fanes produites, il ressort que la baisse due au stress hydrique est de 30% en moyenne chez le niébé et l'arachide. Les variétés IT93-503-1, Mouride et UC-CB46 chez le niébé, ICGVSM 87003, ICGV 97183 et 55-437 chez l'arachide se révèlent les variétés tolérantes à la sécheresse. Nos résultats montrent aussi que le nombre de nodules est fortement corrélé au poids gousses ($r^2= 0,91$) et au poids fanes ($r^2= 0,88$) chez l'arachide alors que chez le niébé la corrélation au poids gousses et poids fanes est faible ($r^2=0,11$, $r^2= 0,14$ respectivement).

Ceci indiquerait que la production en gousses et en fanes est plus dépendante du nombre de nodules formés chez l'arachide que chez le niébé. Aussi, le nombre de nodules formés pourrait expliquer la variation phénotypique en poids gousses et en poids fanes chez l'arachide mais pas chez le niébé. Ces résultats corroborent ceux rapportés antérieurement (5, 8, 9, 22). En outre, le nombre de nodules chez l'arachide est significativement corrélé au poids des racines et à la surface foliaire. Ces paramètres contribueraient donc dans la fixation de l'azote. Le maintien de la fixation d'azote malgré le dessèchement du sol est un caractère de tolérance au déficit hydrique (5). Chez le niébé, le nombre de nodules est positivement corrélé qu'au poids de racines mais négativement corrélé à la surface foliaire. Il existe une association significative entre la nodulation et la croissance des racines chez le niébé. L'étude de l'effet de l'amendement en urée, DAP et TSP sur la productivité de l'arachide et du niébé a révélé une forte augmentation (70 à 80%) de poids gousses et poids fanes. Plusieurs auteurs ont montré le rôle de la fertilisation minérale sur un sol pauvre pour accroître la production des cultures (2, 8, 19). Nos résultats ont montré que non seulement l'effet de fertilisation est beaucoup plus important chez l'arachide par rapport au niébé mais aussi l'amendement en TSP a eu plus d'effet que l'amendement en DAP et en urée. Ces résultats confirment que chez les légumineuses le besoin en phosphore est plus crucial que celui en azote. Il est connu (2, 16, 17) que le phosphore joue un rôle déterminant dans la production des légumineuses et des céréales. La comparaison entre l'arachide et le niébé montre que l'arachide aurait plus besoin de phosphore que le niébé. Cette étude a révélé que chez l'arachide la variété ICGV-00350 produit plus de gousses que la 55-437 sous amendement DAP et TSP pendant que chez le niébé IT93K-503-1 et IT93K-693-2 se révèlent plus productrices en gousses que la variété Mouride.

En conditions de déficience en P et N du sol (NP0), nos résultats révèlent que la culture de l'arachide enrichit le sol au profit des céréales. En effet, la variété du mil SOSAT C88 cultivée en rotation avec l'arachide a produit plus de biomasse (20%) qu'en culture sans rotation. L'augmentation de la biomasse de la variété de mil cultivé en rotation avec l'arachide indique l'enrichissement du sol notamment en N par l'arachide. De par l'effet sur la biomasse du mil cultivé en rotation, les variétés ICGV 86015, ICGV 00350 et 55-437 se révèlent les plus fertilisantes du sol. D'ailleurs, ces variétés ont produit plus de nodules que les autres aussi bien en condition de stress (WS) et de non stress (WW).

Conclusion

La sécheresse affecte la fixation de l'azote chez l'arachide et le niébé. Chez ces deux légumineuses, une variation phénotypique a été révélée aussi bien pour la fixation de l'azote que pour la tolérance au déficit hydrique appliqué en phase floraison. Il ressort ainsi que les variétés ICGV-00350 et ICGV-86015, ICGVSM-87003, ICGV-97183 et 55-437 pour l'arachide et les variétés UC-CB46, Mouride, IT93-503-1 et IT93-693-2 pour le niébé seraient tolérantes à la sécheresse et/ou bonnes fixatrices de l'azote.

La forte corrélation entre le nombre de nodules et les poids gousses et fanes indiquerait que le nombre de nodules serait un critère indirect pour l'évaluation de la fixation de l'azote surtout chez l'arachide. Ce travail révèle aussi que l'apport en phosphore (TSP ou DAP) serait crucial pour la production notamment en gousses chez le niébé et l'arachide. Sur un sol déficient en phosphore et en azote, la culture de l'arachide enrichirait le sol au profit des céréales comme le mil dont la production augmenterait de 20%.

Références bibliographiques

- Adu-Gyamfi J.J., Myaka F.A., Sakala W.D., Odgaard R., Vesterager J.M. & Høgh-Jensen H., 2007, Biological nitrogen fixation and nitrogen and phosphorus budgets in farmer-managed intercrops of maize–pigeon pea in semi-arid southern and eastern Africa, *Plant Soil*, **295**, 127-136.
- Dakora F.D. & Keya S.O., 1997, Contribution of legume nitrogen fixation to sustainable agriculture in Sub-Saharan Africa. *Soil Biol. Biochemi.*, **29**, 809-817.
- Dakora F.D. & Phillips D. A., 1996, Diverse functions of isoflavonoids in legumes transcend anti-microbial definitions of phytoalexins, *Physiol. Mol. Plant Pathol.*, **49**, 1-20.
- Devi M.J., Sinclair T.R. & Vadez V., 2010, Genotypic variability among peanut (*Arachis hypogaea* L.) in sensitivity of nitrogen fixation to soil drying, *Plant soil*, **330**, 139-148.
- Devi M.J., Sinclair T.R., Vadez V. & Krishnamurthy L., 2009, Peanut genotypic variation in transpiration efficiency and decreased transpiration during progressive soil drying, *Field Crops Res.*, **114**, 280-285.
- Gweyi J.O., Akwee P., Onyango C. & Tsehaye T., 2011, Genotypic Responses of Cowpea (*Vigna unguiculata*) to Sub-Optimal Phosphorus Supply in Alfisols of Western Kenya: A Comparative Analysis of Legumes, *J. Agric. Sci.*, **2**, 1–8.
- Hamidou F., Ratnakumar P., Halilou O., Mponda O., Kapewa T., Monyo E., Faye I., Ntare B.R., Nigam S.N., Upadhyaya H. D. & Vadez, V., 2012, Selection of intermittent drought tolerant lines across years and locations in the reference collection of groundnut (*Arachis hypogaea* L.), *Field Crops Res.*, **126**, 189-199.
- Neera G., 2007, Symbiotic nitrogen fixation in legume nodules: process and signaling, *A rev. Agron. Sust. Dev.*, **27**, 59–68.
- Okito A., Alves B.J. , Urquiaga S., & Boddey R.M., 2004, Nitrogen fixation by groundnut and velvet bean and residual benefit to a subsequent maize crop, *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **39**, 1183-1190.
- Pimratch S., Jogloy S., Vorasoot N., Toomsan B., Patanothai A. & Holbrook C.C., 2008, Relationship between biomass production and nitrogen fixation under drought stress conditions in Peanut genotypes with different levels of drought resistance, *J. Agron. Crop Sci*, **194**, 15-25.
- Ramos M.L.G., Gordon A.J., Minchin F.R., Sprent J.I. & Parsons, R., 1999, Effect of Water Stress on Nodule Physiology and Biochemistry of a Drought Tolerant Cultivar of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.), *Ann. Bot.*, **83**, 57-63.
- Sinclair T.R. & Vadez V., 2002, Physiological traits for crop yield improvement in low N and P environments, *Plant Soil*, **245**, 1-15.
- Sinclair T.R., Leilah A.A. & Schreffler A.K., 1995, Peanut nitrogen fixation (C_2H_2 reduction) response to soil dehydration, *Peanut Sci.*, **22**, 162-166.
- Sinclair T.R., Purcell L.C., King C.A., Sneller C.H., Chen P. & Vadez V., 2007, Drought tolerance and yield increase of soybean resulting from improved symbiotic N_2 fixation, *Field Crops Res.*, **101**, 68-71.
- Toomsan B., McDonagh J.F., Limpinuntana V.J.H.A. & Giller K.E., 1995, Nitrogen fixation by groundnut and soyabean and residual nitrogen benefits to rice in farmers' fields in Northeast Thailand, *Plant soil*, **175**, 45-56.
- Twomlow S. J., 2004, *Increasing the role of legumes in smallholder farming systems—the future challenge*. In: Serraj R. (ed) *Symbiotic nitrogen fixation: prospects for application in tropical agroecosystems*. Science Publishers, NH, USA, 29-46.
- Valluru R.A.V.I., Vadez V., Hash C.T. & Karanam P., 2010, A minute P application contributes to a better establishment of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) seedling in P deficient soils, *Soil use manage.*, **26**, 36-43.
- Vance C.P., 2001, Symbiotic nitrogen fixation and phosphorus acquisition. Plant nutrition in a world of declining renewable resources, *Plant physiol.*, **127**, 390-397.
- Venkateswarlu B., Saharan N. & Maheswari M., 1990, Nodulation and N_2 (C_2H_2) fixation in cowpea and groundnut during water stress and recovery, *Field Crops Res.*, **25**, 223-232.
- Vesterager J.M., Nielsen N.E. & Hoslash H., 2007, Nitrogen budgets in crop sequences with or without phosphorus-fertilized cowpea in the maize-based cropping systems of semi-arid eastern Africa, *Afri. J. Agric. Res.* **2**, 261-268.
- Wani S.P., Rupela O.P. & Lee K.K., 1995, Sustainable agriculture in the semi-arid tropics through biological nitrogen fixation in grain legumes, *Plant Soil*, **174**, 29-49.
- Zahran H.H., 1999, Rhizobium-legume symbiosis and nitrogen fixation under severe conditions and in an arid climate, *Microbiol. mol. biol. rev.*, **63**, 968-989.

F. Hamidou, Nigérien, Chercheur, Institut International de Recherche sur les Cultures des zones Tropicales et Semi-Arides, Centre Sahélien, Niamey; Maitre de conférences, Université Abdou Moumouni, Faculté des Sciences et Techniques, Niamey, Niger.

A. Harou, Nigérien, Doctorant, Université Abdou Moumouni, Faculté des Sciences et Techniques, Département de biologie, Niamey, Niger.

B.F. Achirou, Nigérien, Technicien de recherche, Institut International de Recherche sur les Cultures des zones Tropicales et Semi-Arides. Centre Sahélien, Niamey, Niger.

O. Hallou, Nigérien Postdoc, Institut International de Recherche sur les Cultures des zones Tropicales et Semi-Arides, Centre Sahélien, Niamey, Niger.

Y. Bakasso, Nigérien, PhD, Doyen, Université Abdou Moumouni, Faculté des Sciences et Techniques, Niamey, Niger.