

Rendement de l'arachide et du sorgho en rotation sous différents itinéraires techniques au Burkina Faso

Philippe Cattan, Philippe Letourmy, Bertin Zagre, Amos Minougou, Emmanuel Compaoré

Des changements intervenus dans les conditions de production agricole (accentuation des défriches, réduction de la durée des jachères, saturation de l'espace agricole) ou dans les conditions climatiques (diminution de la pluviométrie) suscitent une inquiétude quant à la pérennité des systèmes de culture pratiqués dans les pays en développement et à leur capacité à assurer une production suffisante [1]. Il n'y a plus d'adéquation entre la production tirée du milieu physique et la satisfaction des besoins primordiaux des populations [2], besoins que l'extension des surfaces agricoles sans intensification n'a pu combler. Localement, on note une régression globale des rendements, un déficit céréalier et une accentuation de la dégradation des sols [3]. À l'échelle du champ, diverses expérimentations [2] montrent que les pratiques des agriculteurs, fondées sur la

quasi-absence de restitution organominérale, conduisent à une baisse des rendements sur le long terme.

L'intensification est donc une voie obligée. Les modalités en sont connues : rotations culturales (en particulier avec les légumineuses [4]), apport d'engrais minéraux et de matière organique [4-6], travail du sol [7]. Les techniques utilisées doivent être compatibles avec la réalité paysanne et assurer effectivement le maintien de rendements élevés dans le temps. Le premier aspect n'a pas toujours été pris en compte dans les dispositifs expérimentaux antérieurs [2], les idées prévalant à l'époque s'orientant d'avantage vers la promotion d'une agriculture à l'image des pays développés. Par ailleurs, l'effet des paramètres climatiques a été le plus souvent confondu avec celui du nombre d'années de culture après défriche ou jachère, tandis que les résultats sont restés spécifiques des zones et spéculations étudiées. En dernier lieu, l'incidence de la durée de culture a été le plus souvent appréciée sur les paramètres physico-chimiques des sols ainsi que, globalement, sur le rendement de la plante. Or, le rendement (variable synthétique qui dépend de l'ensemble des contraintes subies par la culture durant son cycle) présente un intérêt réduit, de par sa valeur trop globale, pour analyser les changements survenus dans les processus de croissance et de développement de la culture au cours des cycles culturaux. Une analyse plus fine de variables intermédiaires, représentatives des différentes étapes conduisant à la production finale de graines, peut être

entreprise et s'appuie sur la décomposition du rendement en composantes formées à des époques successives au cours du cycle de la plante [8]. Pour l'arachide [9], le rendement graines peut s'écrire : nombre de gousses \times (1 \pm % bigraines) \times % remplissage \times poids d'1 graine. Le nombre de gousses et le % de gousses bigraines (chez la variété considérée, les gousses contiennent 1 ou 2 graines) sont représentatifs des conditions de croissance et de développement entre la floraison et le début de croissance des graines ; le % de remplissage traduit le taux d'avortement des graines dans les gousses. La décomposition classique du rendement des céréales en nombre de grains et poids moyens d'un grain est généralement adoptée [10]. Le nombre de grains est lui-même le produit d'un nombre de tiges, d'un nombre d'épis par tige et d'un nombre de grains par épi, trois composantes qui sont relatives aux périodes d'installation de la culture, d'épiaison, de mise en place des grains [11].

L'objectif de la recherche a été d'analyser l'incidence de la culture ininterrompue d'arachide en rotation avec le sorgho après jachère, sur l'élaboration des rendements et de leurs composantes, et d'évaluer différentes techniques de culture, utilisables par les paysans, susceptibles de contrebalancer ces effets. Les techniques étudiées sont relatives au labour ainsi qu'à la fertilisation minérale et organique, et plus particulièrement au compost dont l'intérêt et les possibilités de fabrication ont fait l'objet de travaux avancés au Burkina Faso [5, 12].

P. Cattan, CIRAD, station de Neufchâteau-Sainte-Marie, 97130 Capesterre-Belle-Eau, France.

P. Letourmy, CIRAD, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France.

B. Zagre, A. Minougou, Inera, Inera/Creaf de Kamboinsé, 01 BP 476 Ouagadougou 01, Burkina Faso.

E. Compaoré, Inera, station de Farako Ba, BP 910 Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.

Tirés à part : P. Cattan

Thèmes : Agronomie phytotechnique ; Sciences des sols ; Systèmes agraires.

Matériel et méthode

Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental a été conçu pour permettre l'évaluation des effets du nombre d'années de culture en interaction avec les techniques de labour et de fertilisation organo-minérale. Deux essais ont été implantés en 1988 sur la station de Saria (région Centre Nord, zone soudanienne, 800 mm de précipitations annuelles, 12° 16'N et 2° 9'O) après une jachère de 6 ans sur deux types de sol appartenant aux sols ferrugineux (voir analyses granulométriques (tableau 1) : l'un gravillonnaire présente une cuirasse latéritique à faible profondeur (40 cm) et l'autre est sablo-limoneux plus profond. Les parcelles ont été cultivées dans une rotation arachide/sorgho utilisant les variétés actuellement vulgarisées dans la zone, CN 94 C pour l'arachide et ICSV 1049 pour le sorgho. Les cultures ont été pratiquées à plat avec des écartements de 40 x 15 cm pour l'arachide et de 40 x 80 cm pour le sorgho. Le dispositif de chaque essai est un *split-plot* factoriel à 6 répétitions comportant, au niveau des parcelles principales, 6 traitements principaux combinant 3 traitements de tra-

vail du sol (manu = préparation manuelle ; lab = labour ; comp = labour + compost) et 2 traitements de fertilisation (E0 = sans engrais ; E1 = avec engrais). Au niveau des sous-parcelles, 4 traitements secondaires correspondent à l'année de mise en culture des sous-parcelles, de 38,4 m², respectivement en 1988, 1989, 1990, 1991. Ce calendrier d'implantation des cultures permet de disposer, durant 4 années successives, de sous-parcelles ayant des nombres d'années de culture après défriche équivalents (par exemple de 1990 à 1993 on dispose toujours, pour chaque parcelle principale, d'une sous-parcelle cultivée après 2 années de culture ; tableau 2). Les labours sont effectués en traction animale en début de saison de culture. Une dose de 3 tonnes par ha (compost ayant les caractéristiques suivantes : 33 % de matière organique ; C/N14 ; pH eau 7,6 ; 13,7 0/00 N total ; 1 % Ca ; 0,28 % Mg ; 0,29 % K ; 0,026 % Na ; 0,13 % P) est apportée sur les parcelles compostées (sur le sorgho uniquement, une année sur deux), ce qui correspond à une récolte théorique de 6 tonnes de paille et 50 % de perte de matière sèche lors du compostage. Des engrais phosphatés, issus de l'acidulation partielle de phosphates naturels, ont été utilisés de

1988 à 1990 sur sorgho et arachide à la dose de 20 unités de P par ha. L'arrêt de fabrication de ces engrais a conduit à modifier le protocole en 1991 et à apporter une dose de 150 kg/ha d'engrais ternaire (12N 24P 12K) par parcelle. Le sorgho reçoit 50 kg/ha d'urée à la montaison en complément de la fumure phosphatée de base. Les niveaux d'intrants, bien que faibles, correspondent cependant à des améliorations des itinéraires techniques actuellement pratiqués par les agriculteurs.

Variables mesurées

Sur arachide, les poids de gousses et fanes ont été mesurés sur chaque sous-parcelle. Les pourcentages de gousses bigraines et de gousses attaquées par les agents du sol (termites essentiellement) ainsi que le poids de 100 graines ont été déterminés à partir d'un échantillon de 500 g de gousses à la récolte, prélevé sur chaque sous-parcelle. Sur sorgho, les poids des tiges, d'épis et de grains ainsi que les poids de 1 000 grains ont été déterminés pour chaque sous-parcelle. Des échantillons de sol ont été prélevés en 1988 sur les sous-parcelles de 4 blocs dans chaque essai, portant sur les traitements de préparation manuelle et de compost associé ou non à la fertilisation. Une seconde série de prélèvement a été réalisée en 1992 sur les sous-parcelles d'arachide relatives aux mêmes traitements qu'en 1988. Les teneurs en N, C, P assimilable (méthode Bray), la somme des bases échangeables et la capacité d'échange de cations ont été déterminées. De plus, huit échantillons par essai ont été utilisés pour des analyses granulométriques et un échantillon de compost a été prélevé pour analyse.

Analyses

Le logiciel SAS [13] a été utilisé pour le traitement statistique des données portant sur les effets du nombre d'années de culture et des techniques. Les deux essais ont fait l'objet d'analyses séparées portant sur les moyennes parcellaires des années 1990-1991, 1992-1993, 1994-1995 et 1996-1997 pour l'arachide, 1991-1992, 1993-1994 et 1995-1996 pour le sorgho, afin de tester, par période de deux ans, l'effet des traitements principaux ainsi que l'effet d'un décalage de deux années dans la mise en culture (respectivement 0 et 2 ans après défriche, 2 et 4 ans, 4 et 6 ans, 6 et 8 ans pour

Tableau 1

Analyse granulométrique des sols des essais de Saria

| | Analyse sur terre fine | | | | | Éléments grossiers |
|----------------|------------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|--------------------|
| | Argile | Limons fins | Limons grossiers | Sables fins | Sables grossiers | |
| Gravillonnaire | 9,6 | 6,1 | 18,7 | 22,0 | 43,6 | 20,0 |
| Sablo-limoneux | 13,5 | 7,0 | 18,0 | 32,0 | 29,5 | 2,5 |

Soil granulometric analyses in the trials at Saria

Tableau 2

Calendrier d'implantation des cultures sur une parcelle principale

| | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Ss-parc 1 | A0 | S1 | A2 | S3 | A4 | S5 | A6 | S7 | A8 | S9 |
| Ss-parc 2 | | A0 | S1 | A2 | S3 | A4 | S5 | A6 | S7 | A8 |
| Ss-parc 3 | | | A0 | S1 | A2 | S3 | A4 | S5 | A6 | S7 |
| Ss-parc 4 | | | | A0 | S1 | A2 | S3 | A4 | S5 | A6 |

A : arachide ; S : sorgho ; 1 à 9 : nombre d'années de culture sous la sous-parcelle. Les dates de mise en culture des sous-parcelles ont été tirées au hasard dans chaque parcelle principale.

Schedule for crop planting in a main plot

l'arachide – 1 et 3 ans, 3 et 5 ans, 5 et 7 ans pour le sorgho). L'analyse statistique (les moyennes sur deux ans étant considérées comme des mesures répétées) a permis de tester la somme des effets dus à ce décalage, en contrôlant l'effet de l'année climatique, qui représente donc pour l'arachide celui de 8 années de culture : effet(2-0) + effet(4-2) + effet(6-4) + effet(8-6) = effet(8-0). On a vérifié par ailleurs, par un calcul de régression de la pluviométrie en fonction du temps (année), que les variations pluviométriques annuelles sur la période d'étude ne s'inscrivent pas dans une tendance à l'augmentation ou à la diminution des hauteurs d'eau au cours du temps. Les analyses de sol ont fait l'objet de deux traitements statistiques séparés : le premier à partir des échantillons réalisés à 5 ans d'intervalle (analyse en mesures répétées),

le second à partir des échantillons prélevés en 1992 sur les parcelles du dispositif en préparation manuelle ou recevant du compost (analyse *split-plot*) et permettant d'estimer la variation sur 2 années. Les termes du bilan minéral ont été évalués sur une période de 8 ans comportant 4 années d'arachide et 4 années de sorgho. Les rendements en arachide retenus sont, pour chaque traitement, les moyennes de 2, 4, 6 et 8 ans après culture et ceux de sorgho les moyennes de 1, 3, 5 et 7 ans après culture. Les exportations minérales des cultures ont été calculées à partir des travaux de Pouzet [14] pour l'arachide et d'Arrivets [15] pour le sorgho. Seules les restitutions relatives aux engrais minéraux et aux apports de compost ont été considérées. Les besoins en azote de l'arachide ont été supposés satisfaits à 75 % par la fixation symbiotique [2].

Résultats

Arachide

Effet du nombre d'années de culture et des techniques sur le rendement

L'effet du nombre d'années de culture est apprécié sur 8 années de successions culturales. Celui des techniques de labour et de fertilisation est évalué annuellement. Sur sol gravillonnaire, 8 ans de culture n'ont pas d'effet significatif sur la biomasse végétative mais affectent la production de graines (tableau 3). Sur sol sablo-limoneux (tableau 4), l'effet de 2 ans de culture supplémentaires (traitements année et année + 2) mesuré annuellement sur les poids de fanes et graines diminue au

Tableau 3

Poids de fanes et graines de l'arachide en kg/ha sur sol gravillonnaire

| Nb d'années de culture testées | 1990-1991 | 1992-1993 | 1994-1995 | 1996-1997 | Moyenne des traitements | Cumul des écarts annuels |
|--------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------------|--------------------------|
| | 2-0 | 4-2 | 6-4 | 8-6 | | |
| Fanes | | | | | | |
| Comp | 1 010 | 1 033 ^b | 1 230 | 1 260 | 1 133 | |
| Lab | 1 022 | 936 ^{ab} | 1 252 | 1 321 | 1 133 | |
| Manu | 927 | 886 ^a | 1 117 | 1 198 | 1 032 | |
| E0 | 808 ^a | 694 ^a | 946 ^a | 936 ^a | 846 ^{a*} | |
| E1 | 1 155 ^b | 1 197 ^b | 1 441 ^b | 1 565 ^b | 1 340 ^{b*} | |
| <i>ETR 1</i> | 280 | 198 | 277 | 325 | 192 | |
| Année | 993 | 983 ^b | 1 211 | 1 224 | 1 103 | 25 |
| Année + 2 | 980 | 921 ^a | 1 189 | 1 297 | 1 097 | |
| <i>ETR 2</i> | 201 | 144 | 173 | 271 | 124 | |
| Graines | | | | | | |
| Comp | 547 | 643 ^b | 635 ^b | 483 ^b | 577 ^{b*} | |
| Lab | 622 | 569 ^{ab} | 564 ^{ab} | 424 ^{ab} | 545 ^{ab*} | |
| Manu | 507 | 491 ^a | 506 ^a | 339 ^a | 461 ^{a*} | |
| E0 | 455 ^a | 447 ^a | 446 ^a | 315 ^a | 416 ^a | |
| E1 | 656 ^b | 684 ^b | 686 ^b | 512 ^b | 634 ^b | |
| <i>ETR 1</i> | 158 | 130 | 105 | 142 | 101 | |
| Année | 584 ^b | 598 ^b | 586 ^b | 423 | 548 ^b | 161 |
| Année + 2 | 532 ^a | 538 ^a | 552 ^a | 409 | 508 ^a | |
| <i>ETR 2</i> | 111 | 81 | 73 | 75 | 52 | |

Les lettres différentes indiquent l'existence de différences significatives (ppds au seuil de 5%). L'astérisque (*) indique l'existence d'une interaction des traitements avec les années de mesures. Manu : préparation manuelle ; lab : labour ; comp : labour + compost ; E0 : sans engrais minéraux ; E1 : avec engrais minéraux ; ETR 1 et 2 : écarts types résiduels de niveaux 1 et 2.

Groundnut stem and seed weight (kg/ha) on gravel soil

Tableau 4

Poids de fanes et graines de l'arachide en kg/ha sur sol sablo-limoneux

| Nb d'années de culture testées | 1990-1991 | 1992-1993 | 1994-1995 | 1996-1997 | Moyenne des traitements | Cumul des écarts annuels |
|-----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------------|--------------------------------|
| | 2-0 | 4-2 | 6-4 | 8-6 | | |
| Fanes | | | | | | |
| Comp | 1 553 | 1 705 ^c | 1 972 ^b | 1 910 | 1 785 ^c | |
| Lab | 1 452 | 1 565 ^b | 1 733 ^a | 1 863 | 1 653 ^b | |
| Manu | 1 380 | 1 429 ^a | 1 703 ^a | 1 655 | 1 542 ^a | |
| E0 | 1 343 ^a | 1 281 ^a | 1 505 ^a | 1 486 ^a | 1 404 ^{a*} | |
| E1 | 1 581 ^b | 1 851 ^b | 2 101 ^b | 2 133 ^b | 1 916 ^{b*} | |
| <i>ETR 1</i> | <i>289</i> | <i>205</i> | <i>343</i> | <i>372</i> | <i>238</i> | |
| Année | 1 541 ^b | 1 607 ^b | 1 851 | 1 799 | 1 699 ^{b*} | 316 |
| Année + 2 | 1 382 ^a | 1 525 ^a | 1 755 | 1 820 | 1 621 ^{a*} | |
| <i>ETR 2</i> | <i>158</i> | <i>136</i> | <i>210</i> | <i>203</i> | <i>97</i> | |
| Graines | | | | | | |
| Comp | 1 095 | 897 ^c | 897 ^b | 942 ^c | 957 ^{b*} | |
| Lab | 1 041 | 832 ^b | 800 ^{ab} | 820 ^b | 873 ^{ab*} | |
| Manu | 1 014 | 735 ^a | 734 ^a | 711 ^a | 799 ^{a*} | |
| E0 | 983 ^a | 724 ^a | 682 ^a | 645 ^a | 758 ^{a*} | |
| E1 | 1 117 ^b | 919 ^b | 938 ^b | 1 004 ^b | 994 ^{b*} | |
| <i>ETR 1</i> | <i>169</i> | <i>116</i> | <i>144</i> | <i>174</i> | <i>126</i> | |
| Année | 1 123 ^b | 865 ^b | 841 ^b | 848 ^b | 919 ^{b*} | 342 |
| Année + 2 | 977 ^a | 778 ^a | 779 ^a | 801 ^a | 834 ^{a*} | |
| E0 année | 1 057 | 773 | 726 | 685 ^b | 810 | 413 |
| E1 année | 1 188 | 958 | 957 | 1 010 ^c | 1 028 | 272 |
| E0 année + 2 | 909 | 674 | 639 | 605 ^a | 707 | |
| E1 année + 2 | 1 045 | 881 | 919 | 997 ^c | 960 | |
| Comp année | 1 163 | 937 | 930 | 951 ^d | 995 | 301 |
| Comp année + 2 | 1 027 | 856 | 863 | 932 ^d | 920 | |
| Lab + année | 1 104 | 867 | 826 | 831 ^c | 907 | 273 |
| Lab année + 2 | 977 | 798 | 773 | 808 ^c | 839 | |
| Manu année | 1 100 | 793 | 768 | 761 ^b | 855 | 453 |
| Manu année + 2 | 927 | 678 | 700 | 662 ^a | 742 | |
| <i>ETR 2</i> | <i>146</i> | <i>49</i> | <i>69</i> | <i>62</i> | <i>54</i> | |

Les lettres différentes indiquent l'existence de différences significatives (ppds au seuil de 5 %). L'astérisque (*) indique l'existence d'une interaction des traitements avec les années de mesures. Manu : préparation manuelle ; lab : labour ; comp : labour + compost ; E0 : sans engrais minéraux ; E1 : avec engrais minéraux ; ETR 1 et 2 : écarts types résiduels de niveaux 1 et 2.

Groundnut stem and seed weight (kg/ha) on the sandy loan soil

cours du temps. Pour la production de graines des deux dernières années (1996-1997), il n'apparaît significatif que sur les parcelles travaillées manuellement ou non fertilisées (respectivement - 99 et - 80 kg/ha de graines). Cette interaction correspond à une baisse des rendements sur les parcelles non fertilisées.

Les traitements « labour » et « compost » sur sol gravillonnaire n'influent significati-

vement sur la production de graines qu'à partir des années 1992-1993 (tableau 3). Sur sol sablo-limoneux, l'effet du compost associé au labour par rapport à la préparation manuelle se renforce avec le temps et passe de 81 kg/ha à 231 kg/ha de graines (tableau 4). L'effet moyen annuel de la fertilisation minérale est en moyenne de 218 et de 236 kg/ha de graines respectivement sur sol gravillonnaire et sablo-limoneux.

Élaboration du rendement

Le nombre de gousses élaborées est le principal déterminant du rendement graines (figure 1) selon trois relations distinctes que discriminent le nombre d'années de culture et le type de sol : la première correspond aux années 8-6 sur sol gravillonnaire ; la deuxième correspond aux 4 dernières années de mesure (6-4 et 8-6 soit 1994 à 1997) exceptées

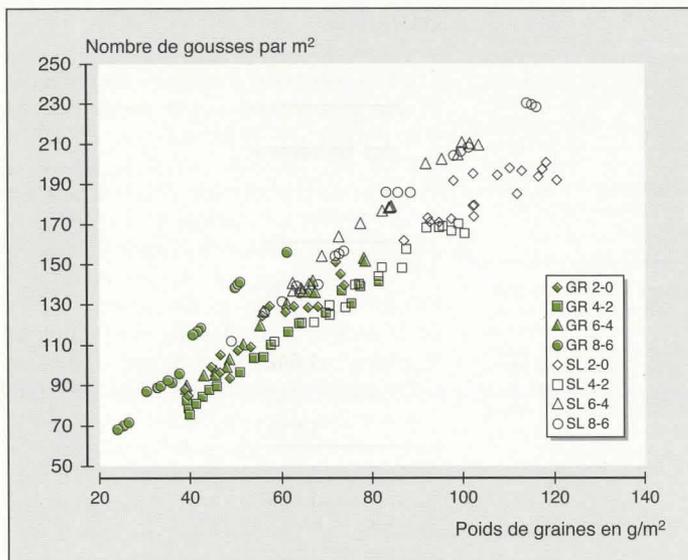


Figure 1. Relation entre le rendement graines de l'arachide et le nombre de gousses sur l'ensemble des essais (GR : sol gravillonnaire ; SL : sol sablo-limoneux) et années de culture (2-0 ; 4-2 ; 6-4 ; 8-6).

Figure 1. Relation between groundnut seed yield and number of pods for all trials (GR : gravel soil ; SL : sandy loam soil) and the number of years of cultivation (2-0 ; 4-2 ; 6-4 ; 8-6).

les années 8-6 sur sol gravillonnaire ; la troisième correspond aux 4 premières années de mise en culture (2-0 et 4-2). Le nombre de gousses nécessaire à l'obtention d'un poids de graines donné diminue quand on passe de la première à la troisième relation. La première s'explique en raison d'un faible pourcentage

de gousses bigraines (54 % contre 65 % en moyenne sur le reste des données) et du fort pourcentage de gousses attaquées (17 % contre 12 % sur le reste des données). Elle correspond à l'effet, prédominant sur sol gravillonnaire, du nombre d'années de culture observé sur ces deux variables (tableau 5). Les diffé-

rences entre les deux dernières relations s'expliquent par les variations du poids de 100 graines qui s'établit en moyenne à 33,8 g pour les années 2-0 et 4-2 et à 30,3 g pour les dernières années, et qui correspondent à l'effet du nombre d'années de culture sur cette composante (tableau 5). Le pourcentage de remplissage demeurant inchangé, le nombre de gousses et le pourcentage de gousses bigraines définissent entièrement le nombre de graines élaborées. Les variations de rendement graines engendrées par les techniques de travail du sol et de fertilisation s'expliquent principalement par l'effet de ces techniques sur le nombre de gousses et, à un niveau moindre, sur le % de gousses bigraines et le % de gousses attaquées (tableau 5).

L'appréciation du rendement par rapport à la croissance végétative de la plante fait apparaître des dysfonctionnements (figure 2). Les deux premières années (2-0 soit les années 1990 et 1991) sur sol sablo-limoneux et les deux dernières années (8-6 soit les années 1996 et 1997) sur sol gravillonnaire s'écartent de la relation générale reliant le reste des données, une même production de fanes

Tableau 5

Effet de la mise en culture et des techniques sur le rendement de l'arachide et ses composantes

| | Nombre gousses par m ² | Gousses bigraines (%) | Gousses attaquées (%) | Poids 100 graines (g) | Nb graines/poids de fanes | Poids gousses/poids de fanes |
|---------------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------|------------------------------|
| <i>Sol gravillonnaire</i> | | | | | | |
| Année 0 | 113 | 63,5 | 13,1 | 32,1 | 1,95 | 0,93 |
| Effet 8 ans | - 7,8 | - 17,2* | + 8,8* | - 3,6* | - 0,45* | - 0,21* |
| Moy manu | 101 | 61,0 | 15,0 | 30,2 | 1,57 | 0,72 |
| Effet compost | + 19* | + 1,7* | - 2,0* | + 1,2 | + 0,11 | + 0,07 |
| Effet labour | + 15* | + 0,4 | - 1,6* | + 0,8 | + 0,11 | + 0,06 |
| Moy E0 | 91 | 60,0 | 13,9 | 30,6 | 1,70 | 0,78 |
| Effet engrais | + 43* | + 1,2* | - 0,3 | + 0,5 | - 0,12* | - 0,05 |
| <i>Sol sablo-limoneux</i> | | | | | | |
| Année 0 | 188 | 70,8 | 11,4 | 37,6 | 2,06 | 1,08 |
| Effet 8 ans | - 49*/- 6,6# | - 8,6* | + 2,1 | - 4,1* | - 0,06 | - 0,08* |
| Moy manu | 158 | 68,0 | 12,0 | 33,0 | 1,63 | 0,78 |
| Effet compost | + 23* | + 3,5* | - 2,0* | + 0,6 | + 0,05 | + 0,02 |
| Effet labour | + 10 | + 1,5 | - 1,5* | + 0,3 | + 0,03 | + 0,01 |
| Moy E0 | 148 | 67,9 | 11,3 | 33,2 | 1,68 | 0,80 |
| Effet engrais | + 42* | + 3,4* | - 1,0* | + 0,1 | - 0,04 | - 0,01 |

Année 0 : résultats moyens obtenus en première année de culture ; Moy manu : résultats moyens obtenus de 90 à 97 pour les traitements de préparation manuelle ; Moy E0 : résultats moyens obtenus de 90 à 97 pour les traitements sans engrais.

* Effet significativement différent de 0 (ppds au seuil de 5 %).

Interaction significative de l'effet des années suivant la fertilisation des parcelles : 49 gousses de baisse sur parcelles non fertilisées, 6,6 sur les autres.

Effects of the number of years of cultivation and techniques on groundnut yield and its components

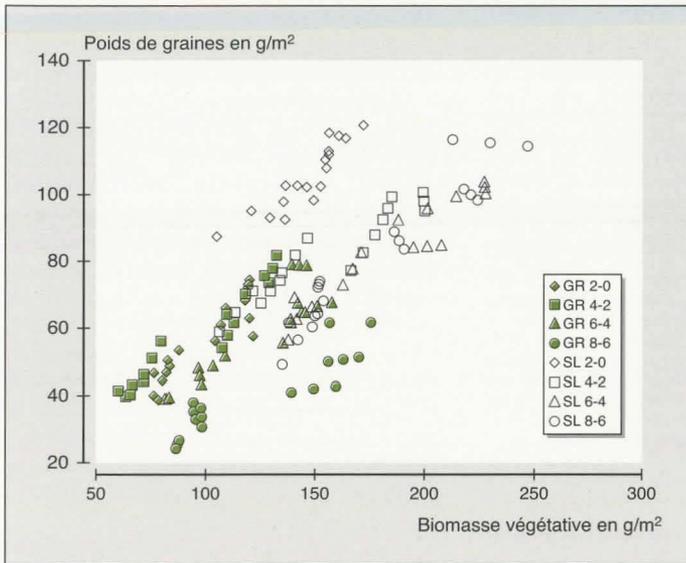


Figure 2. Relation entre la biomasse végétative et le rendement graines de l'arachide sur l'ensemble des essais (GR : sol gravillonnaire ; SL : sol sablo-limoneux) et années de culture (2-0 ; 4-2 ; 6-4 ; 8-6).

Figure 2. Relation between groundnut vegetative biomass and seed yield for all trials (GR : gravel soil ; SL : sandy loam soil) and the number of years of cultivation (2-0 ; 4-2 ; 6-4 ; 8-6).

pouvant conduire à des rendements graines très variables. Ces différences trouvent leur origine en partie dans la variation d'efficacité de la croissance (nombre de graines par unité de biomasse végétative), qui diminue avec le nombre d'années de culture (tableau 5), et du poids de 100 graines (38 g en 1990 et 1991 sur sol sablo-limoneux, 28 g en 1996 et 1997 sur sol gravillonnaire, 32 g en moyenne pour le reste des données). Il en résulte une diminution du rapport de la partie reproductrice à la partie végétative. Un effet significatif du compost sur ce rapport est observé

durant les deux dernières années de mesures 1996-1997 (non représenté) et procure une augmentation de 0,15 et 0,08 par rapport à la préparation manuelle (moyennes de 0,48 et 0,64), respectivement sur sols gravillonnaire et sablo-limoneux. L'effet marqué du compost durant les dernières années de mesure suggère que la baisse du rapport gousses/fanes est davantage liée à la diminution du taux de matière organique du sol qu'à celle des éléments minéraux, alors que l'effet des engrais apparaît variable d'une période de mesure à l'autre.

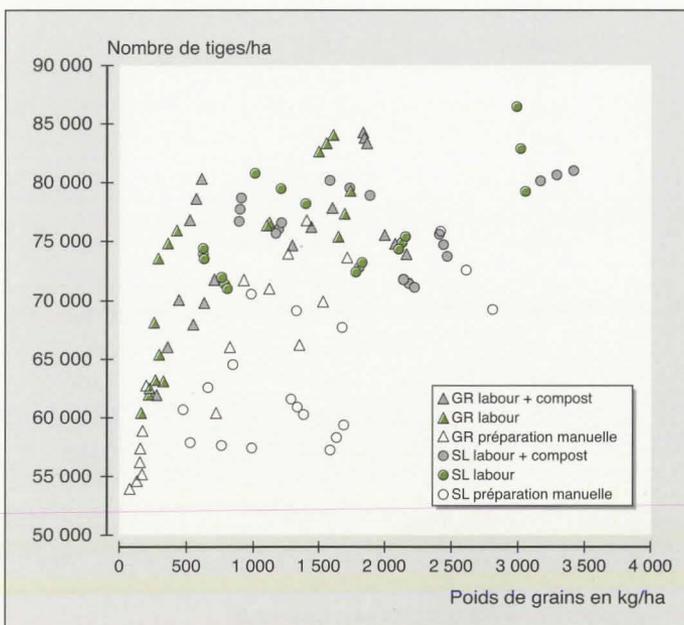


Figure 3. Relation entre le rendement grains du sorgho et le nombre de tiges sur l'ensemble des essais (GR : sol gravillonnaire ; SL : sol sablo-limoneux) et années de culture.

Figure 3. Relation between sorghum seed yield and number of stems for all trials (GR : gravel soil ; SL : sandy loam soil) and the number of years of cultivation.

Sorgho

Effet du nombre d'années de culture et des techniques sur le rendement

Une diminution de la biomasse végétative (poids de tige/ha) avec le nombre d'années de culture est observée sur les deux types de sol (tableau 6). Cet effet est d'autant plus prononcé, durant les années 1995 et 1996 sur sol gravillonnaire, que les parcelles ne sont pas fertilisées. L'effet de la fertilisation minérale prédomine et se traduit par une forte augmentation de la biomasse végétative produite. Il existe une contradiction apparente entre, d'une part, l'effet limité du nombre d'années de culture mesuré annuellement (différence entre année et année + 2), l'accroissement de l'effet de la fertilisation suivant le nombre d'années de culture enregistré en 1995-1996 sur sol gravillonnaire, et, d'autre part, les fortes diminutions de rendements et d'effet des engrais entre les années 1991-1992, 1993-1994 et 1995-1996. De fait, les années climatiques sont en partie confondues avec le nombre d'années de culture, les écarts enregistrés ne pouvant être imputables uniquement à une diminution du potentiel de production des parcelles ni à une baisse d'efficacité de la fertilisation. En l'occurrence, le dispositif expérimental permet de contrôler ces effets et autorise à ne considérer que l'effet du nombre d'années de culture mesuré annuellement.

Les effets enregistrés sur la matière sèche végétative se retrouvent pour la production de grains (tableau 7). Globalement, l'effet du nombre d'années de culture mesuré annuellement diminue avec le temps. Sur sol sablo-limoneux, il est d'autant plus prononcé que les parcelles sont travaillées manuellement, labour et compost limitant la baisse de production. La fertilisation minérale occasionne les plus fortes augmentations de rendements par rapport aux autres facteurs testés. Les rendements grains sont ainsi multipliés par 4,4 sur sol gravillonnaire (pour une production très faible des parcelles non fertilisées de 335 kg de grains/ha en moyenne) et par 2,2 sur sol sablo-limoneux.

Élaboration du rendement

L'évaluation du poids de chacune des composantes du rendement dans l'explication du rendement final indique que le nombre de tiges (figure 3) est peu explicatif des rendements grains obtenus dans le cadre des essais. Les plus fortes productions apparaissent liées à l'acquisition d'une densité

Tableau 6

Poids des tiges du sorgho en kg/ha

| | 1991-1992 | 1993-1994 | 1995-1996 | Moyenne des traitements | Cumul des écarts annuels |
|--------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------|
| Nb d'années de culture testées | 3-1 | 5-3 | 7-5 | | |
| <i>Sol gravillonnaire</i> | | | | | |
| Comp | 6 731 ^b | 5 295 ^b | 3 243 ^b | 5 090 ^b | |
| Lab | 5 665 ^{ab} | 4 440 ^{ab} | 2 720 ^{ab} | 4 275 ^{ab} | |
| Manu | 5 276 ^a | 3 758 ^a | 2 215 ^a | 3 750 ^a | |
| E0 | 2 847 ^a | 1 998 ^a | 1 418 ^a | 2 088 ^{a*} | |
| E1 | 8 788 ^b | 6 880 ^b | 3 976 ^b | 6 548 ^{b*} | |
| <i>ETR 1</i> | <i>2 056</i> | <i>1 437</i> | <i>1 069</i> | <i>1 429</i> | |
| Année | 6 111 ^b | 4 738 ^b | 2 749 | 4 532 ^{b*} | 932 |
| Année + 2 | 5 682 ^a | 4 266 ^a | 2 717 | 4 222 ^{a*} | |
| E0 année | 2 955 | 2 129 | 1 617 ^b | 2 234 [*] | 932 |
| E1 année | 9 266 | 7 347 | 3 880 ^c | 6 831 [*] | 1 699 |
| E0 année + 2 | 2 726 | 1 851 | 1 193 ^a | 1 923 [*] | |
| E1 année + 2 | 8 310 | 6 413 | 4 072 ^c | 6 265 [*] | |
| <i>ETR 2</i> | <i>979</i> | <i>917</i> | <i>610</i> | <i>701</i> | |
| <i>Sol sablo-limoneux</i> | | | | | |
| Comp | 11 394 ^b | 7 958 ^b | 5 151 | 8 168 ^{b*} | 370 ^a |
| Lab | 9 432 ^{ab} | 6 450 ^{ab} | 4 282 | 6 721 ^{ab*} | |
| Manu | 8 384 ^a | 5 173 ^a | 4 122 | 5 893 ^{a*} | |
| E0 | 7 448 ^a | 4 558 ^a | 3 442 ^a | 5 149 ^{a*} | |
| E1 | 12 025 ^b | 8 496 ^b | 5 595 ^b | 8 706 ^{b*} | |
| <i>ETR 1</i> | <i>3 819</i> | <i>3 032</i> | <i>2 353</i> | <i>2 986</i> | |
| Année | 10 021 | 6 840 ^b | 4 545 | 7 136 ^b | 1 250 |
| Année + 2 | 9 452 | 6 214 ^a | 4 491 | 6 719 ^a | |
| <i>ETR 2</i> | <i>1 588</i> | <i>851</i> | <i>673</i> | <i>841</i> | |

Les lettres différentes indiquent l'existence de différences significatives (ppds au seuil de 5%). L'astérisque (*) indique l'existence d'une interaction des traitements avec les années de mesures. Manu : préparation manuelle ; lab : labour ; comp : labour + compost ; E0 : sans engrais minéraux ; E1 : avec engrais minéraux ; ETR 1 et 2 : écarts types résiduels de niveaux 1 et 2.

Sorghum stem weight (kg/ha)

té d'environ 80 000 tiges par ha, alors que les rendements grains ne dépassent pas 1 750 kg en deçà de 65 000 tiges par ha. La préparation manuelle est responsable en majeure partie des variations du nombre de tiges, la fertilisation minérale ayant un rôle notable sur sol gravillonnaire (tableau 8).

La grande partie (91 %) de la variation des rendements grains est expliquée par celle du nombre de grains/m² que déterminent la capacité d'épiaison et le nombre de grains par épi. Le poids de grains par ha est lié à la capacité d'épiaison (figure 4), une valeur seuil de 0,8 épi par tige étant nécessaire à l'obtention de hauts rendements. La fertilisation organo-minérale apparaît à ce niveau comme un facteur déterminant (tableau 8). Le nombre de grains par épi est également lié

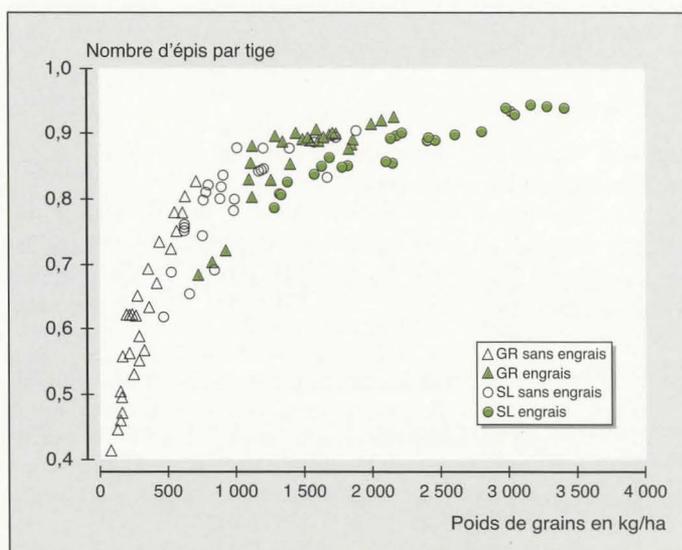


Figure 4. Relation entre le rendement grains du sorgho et le nombre d'épis par tige sur l'ensemble des essais (GR : sol gravillonnaire ; SL : sol sablo-limoneux) et années de culture.

Figure 4. Relation between seed yield and number of ears per stem of sorghum for all trials (GR : gravel soil ; SL : sandy loam soil) and the number of years of cultivation.

Tableau 7

Poids des grains de sorgho en kg/ha

| Nb d'années de culture testées | 1991-1992 | 1993-1994 | 1995-1996 | Moyenne des traitements | Cumul des écarts annuels |
|--------------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|-------------------------|--------------------------|
| | 3-1 | 5-3 | 7-5 | | |
| <i>Sol gravillonnaire</i> | | | | | |
| Comp | 1 356 ^b | 1 211 ^b | 906 ^b | 1 158 ^b | |
| Lab | 1 024 ^{ab} | 985 ^{ab} | 689 ^{ab} | 900 ^{ab} | |
| Manu | 877 ^a | 769 ^a | 496 ^a | 714 ^a | |
| E0 | 371 ^a | 392 ^a | 242 ^a | 335 ^{a*} | |
| E1 | 1 768 ^b | 1 558 ^b | 1 132 ^b | 1 486 ^{b*} | |
| <i>ETR 1</i> | 444 | 399 | 337 | 376 | |
| Année | 1 134 ^b | 1 024 ^b | 707 | 955 ^b | 172 |
| Année + 2 | 1 042 ^a | 958 ^a | 692 | 897 ^a | |
| <i>ETR 2</i> | 225 | 212 | 177 | 170 | |
| <i>Sol sablo-limoneux</i> | | | | | |
| Comp | 2 514 | 1 822 | 1 545 | 1 960 | |
| Lab | 2 117 | 1 460 | 1 218 | 1 598 | |
| Manu | 1 974 | 1 202 | 1 003 | 1 393 | |
| E0 | 1 426 ^a | 918 ^a | 734 ^a | 1 026 ^{a*} | |
| E1 | 2 978 ^b | 2 072 ^b | 1 776 ^b | 2 275 ^{b*} | |
| <i>ETR 1</i> | 1 024 | 864 | 896 | 907 | |
| Année | 2 375 ^b | 1 551 ^b | 1 306 ^b | 1 744 ^{b*} | 561 |
| Année + 2 | 2 029 ^a | 1 438 ^a | 1 205 ^a | 1 557 ^{a*} | |
| Comp année | 2 651 | 1 845 | 1 570 | 2 022 | 370 ^a |
| Comp année + 2 | 2 377 | 1 799 | 1 520 | 1 898 | |
| Lab année | 2 230 | 1 463 | 1 229 | 1 641 | 253 ^a |
| Lab année + 2 | 2 004 | 1 457 | 1 207 | 1 556 | |
| Manu année | 2 244 | 1 345 | 1 120 | 1 570 | 1 059 ^b |
| Manu année + 2 | 1 705 | 1 060 | 887 | 1 217 | |
| <i>ETR 2</i> | 334 | 220 | 191 | 202 | |

Les lettres différentes indiquent l'existence de différences significatives (pds au seuil de 5%). L'astérisque (*) indique l'existence d'une interaction des traitements avec les années de mesures. Manu : préparation manuelle ; lab : labour ; comp : labour + compost ; E0 : sans engrais minéraux ; E1 : avec engrais minéraux ; ETR 1 et 2 : écarts types résiduels de niveaux 1 et 2.

Sorghum seed weight (kg/ha)

à la capacité d'épiaison (*figure 5*) et reste à des valeurs faibles pour une épiaison inférieure au seuil déterminé précédemment (0,8 épi par tige). Dans le cadre des essais, l'accroissement du nombre de grains/m² est donc déterminé par l'augmentation du nombre d'épis à nombre de grains par épi constant puis par l'augmentation du nombre de grains par épi pour des nombres d'épis par tige constants. Le nombre d'années de culture n'a d'effet marqué sur le nombre de grains/m² que sur sol sablo-limoneux (*tableau 8*), effet contrebalancé par ceux de l'engrais, pré-

dominant sur les deux types de sol, et du compost.

La relation entre le poids moyen de 1 000 grains et le rendement est moins étroite (la régression du rendement grains en fonction du poids de 1 000 grains explique 55 % de la variance des rendements grains). Les très faibles rendements (inférieurs à 500 kg de grains/ha), liés aux faibles taux d'épiaison, sont associés à un faible poids de 1 000 grains (16,9 g au 1 000 grains contre 21 pour le reste des données). L'effet de la fertilisation minérale sur le poids de 1 000 grains compense celui du

nombre d'années de culture (*tableau 8*) pour les deux types de sol.

L'analyse de la production de graines par rapport à la croissance végétative montre que ce rapport diminue avec le nombre d'années de culture en raison de son effet sur le poids de 1 000 grains, alors qu'il influe peu sur l'efficacité de la croissance (*tableau 8*). Compost et fertilisation minérale compensent ces effets, en particulier sur sol gravillonnaire, alors qu'en leur absence le rapport poids de grains sur tiges diminue fortement sur ce dernier type de sol.

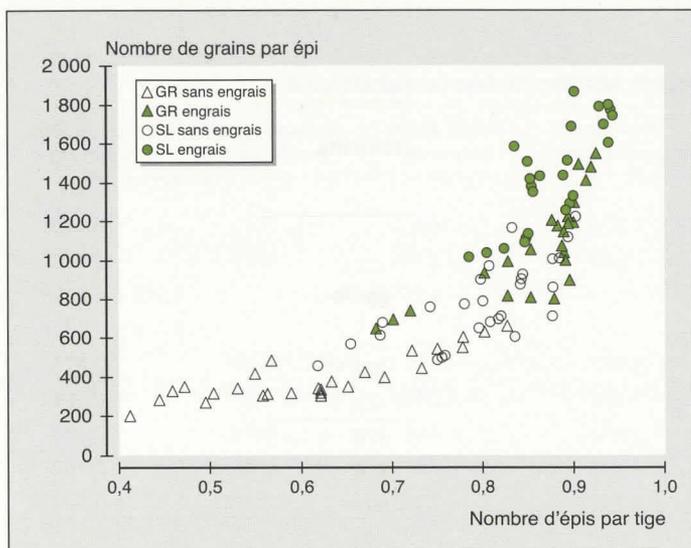


Figure 5. Relation entre le nombre d'épis de sorgho par tige et le nombre de grains par épi sur l'ensemble des essais (GR : sol gravillonnaire ; SL : sol sablo-limoneux) et années de culture.

Figure 5. Relation between number of ears per stem and number of seeds per ear of sorghum for all trials (GR : grave soil ; SL : sandy loam soil) and the number of years of cultivation.

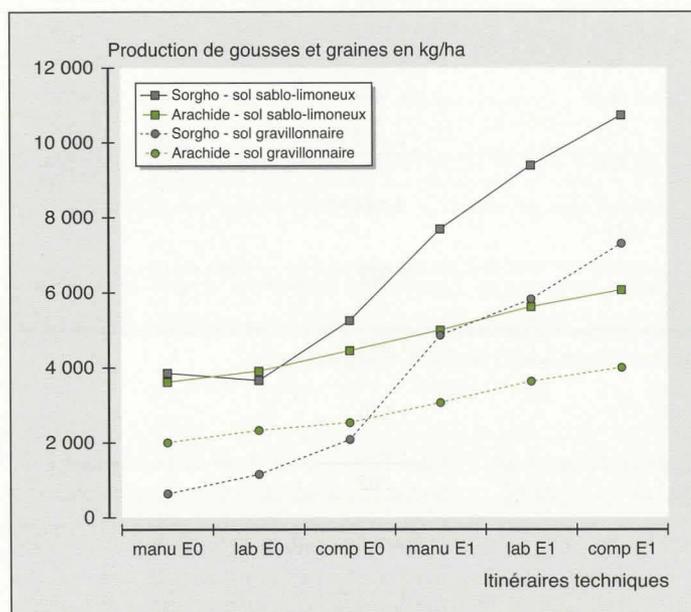


Figure 6. Production (kg/ha), cumulée sur 4 années, de gousses d'arachide et de grains de sorgho, suivant les itinéraires techniques appliqués. Manu : préparation manuelle ; lab : labour ; comp : labour + compost ; E0 : sans engrais minéraux ; E1 : avec engrais minéraux.

Figure 6. Cumulated production (kg/ha) over 4 years of groundnut pods and sorghum seeds according to cultural practices. Manu : manual tillage ; lab : ploughing ; comp : ploughing + compost ; E0 : without mineral fertilizers ; E1 : with mineral fertilizers.

Évolution des caractéristiques chimiques des sols

Les analyses de sol (tableau 9) montrent une baisse de la matière organique du sol avec le nombre d'années de culture, bien que les taux de départ soient déjà très bas. Respectivement, 17 et 14 % de la matière organique sont perdus sur deux années de culture (année 5 par rapport à année 3) sur sol gravillonnaire et sablo-limoneux tandis que, sur 5 successions culturales (année 5 par rapport à année 0), 25 et 9 % sont perdus. Les taux de perte annuels correspondant sont de 8,7 et 5,6 % sur sol gravillonnaire et de 7,5 et 1,9 % sur sol

sablo-limoneux, soit des valeurs sensiblement plus élevées que celles déjà notées [2] (2 % pour les sols ferrugineux tropicaux et 4 % pour des sols très sableux soumis à une culture permanente). L'apport de compost ne permet pas de maintenir le taux de matière organique initial, spécialement sur sol gravillonnaire. Les teneurs en P sont accrues sur les parcelles recevant la fertilisation minérale. L'effet du nombre d'années de culture se traduit par une baisse du pH sur sol gravillonnaire et l'apport d'engrais minéraux accentue cette diminution sur les deux types de sols (année 5 pour les sols gravillonnaires et 3 pour les sols sablo-limoneux). Enfin, la somme des bases échangeables diminue sur sol sablo-limoneux.

La baisse du taux de matière organique sur l'ensemble des parcelles (y compris celles compostées) laisse supposer que le compost a été entièrement minéralisé. Sur sol sablo-limoneux (tableau 10), le bilan azoté est négatif pour la majeure partie des traitements. Sur sol gravillonnaire (où les exportations sont moindres), le bilan azoté est particulièrement négatif pour les parcelles ne recevant pas de fertilisation organo-minérale, alors que les pertes par volatilisation et lixiviation ne sont pas prises en compte et que les analyses de sol montrent une baisse du stock de matière organique du sol. La fertilisation minérale compense les exportations en phosphore. Le bilan de la potasse est globalement déficitaire, cette situation s'accroissant avec les techniques de labour et de fertilisation alors que les surplus d'exportation qu'elles engendrent ne sont pas compensés par les restitutions. Le bilan de Ca et Mg est déficitaire essentiellement pour les parcelles non compostées, l'apport d'engrais minéraux accentuant le déficit, et, dans le cas de Mg, le compost ne compense pas les exportations. L'ensemble des effets enregistrés sur K, Ca et Mg s'accorde avec la diminution de la somme des bases échangeables des analyses de sol, enregistrée surtout sur sol sablo-limoneux en raison d'exportations plus importantes par les cultures que sur sol gravillonnaire.

Bilan de huit années de culture

Les techniques de fertilisation organo-minérales associées au labour procurent, quel que soit le type de sol, environ 34 500 kg/ha de biomasse supplémentaire sur 8 ans (tableau 11) par rapport à la préparation manuelle sans engrais, pour un apport de 12 t de compost et de 1,4 t d'engrais (1,2 t NPK ; 0,2 t urée). Le sorgho répond mieux aux traitements que l'arachide (figure 6), concernant les productions de grains et gousses. En l'absence de fertilisation minérale, l'arachide valorise mieux les sols pauvres (gravillonnaires) que le sorgho, en raison du rapport grain sur paille favorable pour cette culture. Ceci explique que l'arachide apparaît en milieu paysan sur sol épuisé ; dans ces conditions de culture minimum, les exportations de matière sèche totale sont supérieures pour le sorgho qui apparaît alors comme une culture épuisant les ressources du sol. L'intensification par le labour et par des apports organo-minéraux permet le maintien d'une production de 1 à 1,5 t/ha de

Tableau 8

Effets de la mise en culture et des techniques sur le rendement sorgho et ses composantes

| | Nombre tiges par ha | Nombre épis/ tige | Nombre grains/ épis | Nombre de grains par m ² | Poids 1 000 grains (g) | Nombre grains/ poids de tige | Poids grains/ poids tige |
|---------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|----------------------------------------|---------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| <i>Sol gravillonnaire</i> | | | | | | | |
| Année 0 | 69 615 | 0,76 | 924 | 5 571 | 18,5 | 8,91 | 0,170 |
| Effet 7 ans | - 5 418* | - 0,05* | - 53 | - 299 | - 1,7* | - 0,41 | - 0,031* |
| | | | | | - 3,27/- 0,8# | | - 0,069/- 0,009# |
| | | | | | | | - 0,048/- 0,008# |
| Moy manu | 64 294 | 0,67 | 649 | 3 581 | 18,3 | 9,40 | 0,175 |
| Effet compost | + 10 559* | + 0,15* | + 260* | + 2 450* | + 0,83* | + 2,96* | + 0,056* |
| Effet labour | + 9 152* | + 0,07 | + 62 | + 1 012 | + 0,08 | 0,88 | + 0,018 |
| Moy E0 | 65 813 | 0,62 | 405 | 1 904 | 16,9 | 9,46 | 0,162 |
| Effet engrais | + 9 933* | + 0,24* | + 686* | + 5 540* | + 3,28* | 2,42* | + 0,074* |
| <i>Sol sablo-limoneux</i> | | | | | | | |
| Année 0 | 75 720 | 0,90 | 1 480 | 10 375 | 22,3 | 10,77 | 0,240 |
| Effet 7 ans | - 1 880 | - 0,05* | - 312* | - 2 000* | - 1,7* | - 0,64 | - 0,038* |
| Moy manu | 63 486 | 0,79 | 1 092 | 6 145 | 21,5 | 10,57 | 0,228 |
| Effet compost | + 13 171* | + 0,09* | + 116 | + 2 361 | + 0,92 | + 0,38 | + 0,017 |
| Effet labour | + 12 385* | + 0,05 | - 49 | + 1 000 | + 0,09 | + 0,66 | + 0,015 |
| Moy E0 | 71 920 | 0,80 | 787 | 4 972 | 20,3 | 10,13 | 0,204 |
| Effet engrais | + 168 | + 0,08* | + 654* | + 4 585* | + 3,11* | + 1,57* | + 0,070* |

Année 0 : résultats moyens obtenus en première année de culture ; Moy manu : résultats moyens obtenus de 90 à 97 pour les traitements de préparation manuelle ; Moy E0 : résultats moyens obtenus de 90 à 97 pour les traitements sans engrais.

* Effets significativement différent de 0 (ppds au seuil de 5 %).

Interaction significative avec effet 7 ans : - 3,2 g au 1 000 graines de baisse sur parcelles non fertilisées, - 0,8 sur les autres ; - 0,069 de baisse du rapport gains/tige sur parcelles non fertilisées, 0,009 sur les autres ; - 0,048 de baisse du rapport grains/tige sur parcelles non compostées, - 0,008 sur celles recevant du compost.

Effects of the number of years of cultivation and techniques on sorghum yield and its components

gousses et de 1,8 à 2,7 t/ha de grains annuellement. Le surcroît de production compense cependant à peine le coût des intrants. Les gains moyens de production de + 6 750 kg de grains et + 2 200 kg de gousses obtenus sur 8 ans, par rapport à la préparation manuelle sans engrais, correspondent à des rentrées brutes de 513 500 F CFA (sur la base des prix du marché de 50 et 80 F CFA le kg de grains et gousses), pour des investissements correspondant à 329 000 F CFA pour les engrais (1,4 t à 235 F CFA par kg), à 96 000 F CFA pour le compost (8 000 F CFA la tonne-prix du marché) et à 96 000 F CFA pour le labour (12 000 F CFA par ha et par an-prix du marché).

Discussion

Le nombre d'années de culture affecte les rendements de l'arachide et du sorgho en rotation [4, 16, 17]. Ses effets en interac-

tion avec les techniques de fertilisation et de travail du sol se déclinent de la manière suivante.

Arachide

Le nombre d'années de culture influe surtout sur la production de la partie reproductrice. On note plus particulièrement son effet sur les variables % de bigraines, % de gousses attaquées et poids de 100 graines qui se traduit par une diminution de la biomasse reproductrice élaborée par gramme de matière sèche végétative. L'augmentation du % de gousses bigraines serait en liaison avec des carences minérales en K [18]. Le bilan défavorable pour cet élément enregistré sur les essais pourrait traduire une telle carence. La diminution du poids de 100 graines peut être liée à une déficience en azote ainsi qu'aux faibles teneurs en Ca, alors que la relation entre les apports de calcium et le remplissage des gousses est avérée [19].

Globalement, les engrais compensent en partie la baisse de fertilité des terres mais n'agissent pas sur les mêmes composantes du rendement que celles affectées par le nombre d'années de culture. La fertilisation minérale agit principalement sur le nombre de gousses, le % de gousses bigraines - qui dans l'hypothèse d'une influence de la nutrition potassique permettrait d'améliorer celle-ci - et donc sur le nombre de graines, parallèlement à son action sur la croissance végétative, sans qu'une baisse d'efficacité des engrais soit constatée au cours du temps. Elle ne conserve pas un rapport du poids de gousses au poids de fanes équivalent aux conditions initiales. L'opposition, au cours des dernières années de culture, entre, d'une part, les effets de la fertilisation minérale sur le rapport gousses/fanes et, d'autre part, les effets des apports de compost met en évidence le rôle essentiel des apports de matière organique. Un effet des apports de compost sur l'amélioration de la fixation

Tableau 9

Résultats des analyses de sol avant mise en culture (année 0) ainsi qu'après 3 et 5 années de successions culturales (année 3 et année 5). Moyenne par année et pour les traitements de fertilisation minérale (M : moyenne ; E0 : sans engrais ; E1 : avec engrais)

| | | Matière organique % | N ppm | Phosphore assimilable ppm | Somme des bases me/100 g | Capacité d'échange de cations me/100 g | pH eau |
|---------------------------|----|---------------------|-------|---------------------------|--------------------------|----------------------------------------|-------------------|
| <i>Sol gravillonnaire</i> | | | | | | | |
| Année 0 | M | 0,60 ^b | 460 | 4,88 | 0,81 | 1,84 | 6,09 ^b |
| | E0 | 0,58 | 457 | 5,50 | 0,85 | 1,86 | 6,06 |
| | E1 | 0,62 | 463 | 4,26 | 0,77 | 1,83 | 6,11 |
| Année 3 | M | 0,54 ^b | 536 | 5,6 | 1,08 | 2,60 | 5,90 ^a |
| | E0 | 0,52 | 523 | 4,89 | 1,14 | 2,24 | 5,98 |
| | E1 | 0,56 | 550 | 6,31 | 1,01 | 2,95 | 5,83 |
| Année 5 | M | 0,45 ^a | 608 | 7,31 | 0,95 | 2,28 | 5,88 ^a |
| | E0 | 0,44 | 625 | 3,86 ^a | 1,05 | 2,65 | 5,91 ^b |
| | E1 | 0,45 | 591 | 10,76 ^b | 0,85 | 1,92 | 5,84 ^a |
| <i>Sol sablo-limoneux</i> | | | | | | | |
| Année 0 | M | 0,65 ^b | 575 | 6,31 | 1,97 ^b | 2,86 | 5,83 |
| | E0 | 0,62 | 525 | 7,89 | 2,24 | 3,04 | 5,86 |
| | E1 | 0,68 | 625 | 4,73 | 1,71 | 2,68 | 5,79 |
| Année 3 | M | 0,69 ^b | 768 | 9,47 | 1,45 | 2,89 | 5,72 |
| | E0 | 0,67 | 716 | 6,17 ^a | 1,57 | 2,78 | 5,94 ^a |
| | E1 | 0,70 | 814 | 12,35 ^b | 1,35 | 2,98 | 5,53 ^b |
| Année 5 | M | 0,59 ^a | 705 | 10,07 | 1,35 ^a | 2,47 | 5,67 |
| | E0 | 0,56 | 685 | 8,21 ^a | 1,38 | 2,34 | 5,73 |
| | E1 | 0,62 | 724 | 11,93 ^b | 1,31 | 2,60 | 5,61 |

Les lettres majuscules indiquent des différences entre années ; les lettres minuscules les différences entre traitements pour chaque année (test d'analyse de la variance au seuil de 5 %).

Soil analysis results before cultivation and after 3 and 5 years of cultivation. Average per year, and for treatments with or without mineral fertilization

symbiotique de l'azote atmosphérique [20] peut expliquer en partie ce résultat. Enfin l'effet du labour s'inscrit ici principalement dans l'amélioration de l'installation de la culture et agit relativement peu sur le poids total de matière sèche élaborée [21]. Cependant, son influence sur l'amélioration de la porosité du sol et de l'infiltration des eaux de pluie ainsi que sur la fixation symbiotique de l'arachide [22] peut expliquer l'effet, toutefois limité, observé sur le nombre de gousses sur sol gravillonnaire ainsi que sur la diminution du pourcentage de gousses attaquées.

Sorgho

De façon générale, le nombre d'années de culture affecte le nombre de grains du sorgho et leur poids moyen. L'effet sur cette dernière composante est à l'origine

d'une diminution du rapport poids de grain/poids de paille. Il est en partie inattendu alors que différents auteurs notent sur céréale l'effet tampon joué par les tiges en cas de déficit minéral durant la période de remplissage [23, 24], et la faible influence des apports minéraux sur cette composante [25]. On avait noté [26] cependant sur mil, dans certaines situations en culture paysanne, des effets positifs des apports organiques sur le poids de 1 000 grains qui vont dans le sens de nos résultats. Cet effet pourrait être lié à l'épuisement des réserves glucidiques des tiges en l'absence de fertilisation [24]. L'existence de carence en éléments minéraux n'est cependant pas à écarter [27], alors que le compost a une influence notable sur le bilan du calcium.

Sur sol gravillonnaire, la fertilisation minérale et organique contrebalance les

effets du nombre d'années de culture. L'absence de fertilisation sur ce sol perturbe fortement l'épiaison et peut être reliée à un fort déficit azoté pendant la montaison [25]. L'existence d'un tel déficit azoté expliquerait également l'effet du compost plus constant sur ce sol. Enfin, la diminution de la production sur les parcelles sans restitutions s'accélère par rapport à celles fertilisées avec un effet accru sur le remplissage des grains et sur le rapport poids de grains/poids de paille. Sur sol sablo-limoneux, la préparation manuelle accélère également la diminution de rendement grains des parcelles. L'effet du compost apparaît de façon moins évidente que sur sol gravillonnaire. Le labour intervient essentiellement sur l'installation de la culture et sur le nombre de tiges qui n'apparaissent être des facteurs limitants que pour les hauts rendements.

Tableau 10

Bilan minéral (kg/ha) sur 8 années de culture pour les différents traitements de fertilisation et de travail du sol

| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | MgO |
|---------------------------|-------|-------------------------------|------------------|-------|-------|
| <i>Sol gravillonnaire</i> | | | | | |
| Compost engrais | 123 | 199 | - 141 | 33 | - 89 |
| Labour engrais | - 4 | 178 | - 153 | - 131 | - 134 |
| Manuelle engrais | 26 | 191 | - 124 | - 118 | - 121 |
| Compost | 54 | - 19 | - 110 | 98 | - 17 |
| Labour | - 79 | - 42 | - 114 | - 63 | - 60 |
| Manuelle | - 60 | - 34 | - 93 | - 54 | - 51 |
| <i>Sol sablo-limoneux</i> | | | | | |
| Compost engrais | 4 | 144 | - 270 | - 27 | - 150 |
| Labour engrais | - 119 | 25 | - 268 | - 182 | - 187 |
| Manuelle engrais | - 70 | 146 | - 224 | - 165 | - 169 |
| Compost | - 76 | - 78 | - 270 | 32 | - 85 |
| Labour | - 183 | - 90 | - 245 | - 118 | - 117 |
| Manuelle | - 173 | - 84 | - 219 | - 106 | - 106 |

Mineral balance (kg/ha) over 8 years of cultivation for the different fertilization and soil tillage treatments
Caractéristiques chimiques des sols

Le nombre d'années de culture altère les caractéristiques chimiques du sol (baisse du taux de matière organique, du pH, de la somme des bases échangeables), ce qui correspond à l'évolution habituellement constatée des sols sous culture [2]. Globalement, la préparation manuelle sans restitution apparaît destructrice du milieu. Les apports de matière organique tempèrent l'effet du nombre d'années de culture bien qu'ils ne permettent pas de maintenir le stock organique du sol [6]. Le rapport C/N relativement élevé du compost utilisé peut expliquer ce fait en favorisant le processus de minéralisation et la consommation de carbone par les micro-organismes du sol et amenant un bilan de carbone négatif [28]. La différence de comportement entre sol gravillonnaire et sol sablo-limoneux (plus forte baisse du taux de matière organique sur le premier type de

Tableau 11

Productions cumulées (kg/ha) de 8 ans de culture (4 ans d'arachide et 4 ans de sorgho sur sol gravillonnaire et sablo-limoneux)

| | | Comp E1 | Lab E1 | Manu E1 | Comp E0 | Lab E0 | Manu E0 | Comp E1 Manu E0 |
|---------------------------|-----------------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|--------------------|
| <i>Sol gravillonnaire</i> | | | | | | | | |
| Sorgho 4 ans | Grains | 7 258 | 5 785 | 4 854 | 2 067 | 1 130 | 631 | 6 627 |
| | Tiges | 28 975 | 26 003 | 23 962 | 11 804 | 7 347 | 5 588 | |
| | Grains/tiges | 0,25 | 0,22 | 0,20 | 0,18 | 0,15 | 0,11 | |
| | MS totale | 36 234 | 31 788 | 28 815 | 13 871 | 8 476 | 6 219 | |
| Arachide 4 ans | Gousses | 3 994 | 3 638 | 3 064 | 2 530 | 2 344 | 2 000 | 1 994 |
| | Graines | 2 101 | 1 947 | 1 662 | 1 362 | 1 294 | 1 078 | |
| | Fanes | 5 792 | 5 770 | 5 202 | 3 622 | 3 504 | 3 171 | |
| | Gousses/fanes | 0,69 | 0,63 | 0,59 | 0,70 | 0,67 | 0,63 | |
| | MS totale | 9 786 | 9 408 | 8 266 | 6 152 | 5 848 | 5 171 | |
| Arachide + sorgho | MS totale 8 ans | 46 019 | 41 196 | 37 081 | 20 023 | 14 324 | 11 390 | 34 629 |
| <i>Sol sablo-limoneux</i> | | | | | | | | |
| Sorgho 4 ans | Grains | 10 704 | 9 377 | 7 650 | 5 228 | 3 651 | 3 841 | 6 862 |
| | Tiges | 38 796 | 34 843 | 31 246 | 26 923 | 19 589 | 16 833 | |
| | Grains/tiges | 0,28 | 0,27 | 0,24 | 0,19 | 0,19 | 0,23 | |
| | MS totale | 49 500 | 44 220 | 38 896 | 32 150 | 23 240 | 20 675 | |
| Arachide 4 ans | Gousses | 6 049 | 5 605 | 4 966 | 4 452 | 3 899 | 3 619 | 2 430 |
| | Graines | 3 236 | 3 010 | 2 703 | 2 508 | 2 228 | 2 088 | |
| | Fanes | 8 591 | 7 912 | 7 324 | 6 038 | 5 655 | 5 154 | |
| | Gousses/fanes | 0,70 | 0,71 | 0,68 | 0,74 | 0,69 | 0,70 | |
| | MS totale | 14 640 | 13 518 | 12 290 | 10 491 | 9 554 | 8 773 | |
| Arachide + sorgho | MS totale 8 ans | 64 140 | 57 738 | 51 186 | 42 641 | 32 794 | 29 448 | 34 692 |

Comp : compost ; lab : labour ; manu : préparation manuelle ; E1 : avec engrais ; E0 : sans engrais ; MS : matière sèche.

Total production (kg/ha) over 8 years of cultivation (4 years with groundnut and 4 years with sorghum) on gravel soil and sandy loam soil

Summary

Evolution of groundnut and sorghum yields in rotation according to different cultural practices in the Centre North of Burkina Faso

P. Cattan, P. Letourny, B. Zagre, A. Minougou, E. Compaoré

Maintaining crop production over time while using different cultural practices was studied in the Center North zone of Burkina Faso in two trials where the evolution of groundnut and sorghum yields in rotation was observed for 8 years. The trials compared 6 types of cultural practices (manual tillage, plowing, plowing + compost supply, associated or not with mineral fertilization). The plots in which these cultural practices were applied were split into 4 sub-plots which were sown successively for 4 years (Table 2) after fallow. Annual measurements were made of yield gap resulting from the differing numbers of years of cultivation. One of the trials was set up on a gravel soil with a shallow hardpan, the other on a deeper sandy loam soil. The effects of techniques and of cultivation were observed on some variables representative of the different stages which lead to final production of seeds (number of pods, percentage of two-seeded pods, average weight of one seed for groundnut – number of stems, number of ears per stem, number of seeds per ear and average weight of one seed for sorghum).

Results show that cultivating reduces groundnut and sorghum yields (Tables 4, 7 and 8). Groundnut yield variations are caused mainly by variations in pod number (Figure 1), which is linked to the vegetative growth of the plant. Overall, the percentage of two-seeded pods and the weight of a hundred seeds are affected mainly by cultivation (Table 6). In addition, the number of years of cultivation affects the rate of damaged pods on gravel soils. Mineral fertilization partly offsets these effects, but it does not maintain the same ratio of pod weight to vegetative biomass as in the initial conditions. The contrast in the effect on this ratio of mineral fertilization and compost supplies during the last years of cultivation shows the essential function of these supplies.

Generally, the number of years of cultivation affects the number of sorghum seeds and their average mean weight negatively (Table 9). The result is a decrease in the ratio of seed weight to straw weight. On gravel soils, lack of fertilization on soil disrupts ear setting (Figure 4). The decrease in production in plots without organic or mineral fertilizers is increasingly apparent in comparison to fertilized plots, with a main effect on seed filling and on the ratio of seed weight to straw weight (Table 9). On sandy loam soils, manual tillage also speeds up the decrease in seed yield. Plowing mainly affects crop installation and the number of stems and, thus, appears to be a limiting factor only for high yield (Figure 3).

Cultivating alters the chemical characteristics of the soil (decrease in the level of organic matter, in pH, in total exchangeable bases – Table 10). Less intensive cultural practices, without organic and mineral restitution, produce the largest N and P deficits (Table 11) while inducing smaller K, Ca and Mg losses than mineral fertilization. Compost supplies correct the balance for Ca and Mg (Table 11) but cannot maintain the stock of organic matter in the soil. Mineral fertilization improves the phosphorus balance (Table 11) but has adverse effects on the calcium balance as it increases exports without compensation. Mineral fertilization reduces pH (Table 10). The response to cultural practices, hence their profitability, is comparable for both soils (Table 12).

In conclusion, the lack of organic and mineral fertilization tends to increase the negative effect of the number of years of cultivation and appears to be environmentally destructive. Intensification is a necessity, nutritional concerns aside, to maintain soil fertility. Current farmer strategies take into account the specificity of the crops by cultivating sorghum during the first years after fallow, then continuing with groundnut which makes a better use of exhausted soil because of its favorable ratio of marketable weight to total biomass. This approach represents a mining strategy of soil use, aimed at total use followed by field abandonment. The production costs of intensification are high and should be supported by an efficient policy of fertilizer distribution.

Cahiers Agricultures 2001 ; 10 : 159-72.

sol) pourrait s'expliquer par la moindre teneur en éléments fins de ce premier type de sol qui pourrait assurer une protection des composés organiques [2]. Enfin, l'apport de compost améliore sensiblement les termes du bilan calcique comme le note également Sédogo [6]. La fertilisation minérale améliore le bilan du phosphore, ce qui s'accorde avec les résultats obtenus par Sarr [29] au Sénégal. En revanche, le bilan du calcium est d'autant plus déficitaire que l'engrais est apporté (augmentation des exportations sans restitutions). Enfin, une accentuation de la baisse de pH du sol est observée avec les apports d'engrais, les taux très bas de matière orga-

nique n'empêchant pas qu'une réponse importante à la fertilisation minérale soit observée, ce qui corrobore l'assertion de Pieri [2] notant que les valeurs seuils en deçà desquelles la production décroche fortement sont très rarement atteintes en Afrique. Aucun des types de sol prospectés ne résiste à ce phénomène « d'usure » bien que les différences de potentialités soient importantes d'un sol à l'autre. Globalement, l'effet de deux années de culture d'écart tend à diminuer au fil du temps et pourrait traduire l'évolution des parcelles vers un état d'équilibre, atteint après 5 à 6 ans de culture [30].

Conclusion

L'intensification des cultures est une nécessité (en dehors du point de vue alimentaire) pour le maintien de la fertilité des terres. Les stratégies actuelles des agriculteurs s'appuient de fait sur les caractéristiques des cultures qui conduisent à cultiver la céréale les premières années après défriche et à poursuivre par des cultures d'arachide valorisant mieux les sols épuisés du fait de leur rapport favorable de la partie commercialisable à la biomasse totale. On se situe alors dans une stratégie minière d'exploitation des

sols cherchant une valorisation ultime jusqu'à l'abandon de la parcelle. Les coûts de production pour sortir de cet engrenage ne sont pas négligeables et doivent s'appuyer sur une politique efficace de diffusion des engrais ■

Références

1. Sebillotte M. *Fertilité et systèmes de production*. Paris : Inra, 1989 ; 369 p.
2. Pieri C. *Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara*. Paris : ministère de la Coopération et du Développement/Cirad, 1989 ; 444 p.
3. Milleville P. *Étude d'un système agro-pastoral sahélien de Haute-Volta. Première partie : le système de culture*. Ouagadougou, Burkina Faso : Orstom, multigr., 1980 ; 64 p.
4. Pichot J, Sedogo MP, Poulain JF, Arrivets J. Évolution de la fertilité d'un sol ferrugineux tropical sous l'influence de fumures minérales et organiques. *Agron Trop* 1981 ; 36 : 122-33.
5. Dugué P. *Possibilités et limites de l'intensification des systèmes de culture vivriers en zone soudano-sahélienne. Le cas du Yatenga (Burkina Faso)*. Montpellier : Thèse, École nationale supérieure agronomique de Montpellier, 1989.
6. Sedogo MP. *Évolution des sols ferrugineux lessivés sous culture : incidence des modes de gestion sur la fertilité*. Abidjan (RCI) : Thèse de docteur ès-sciences, Faculté des Sciences et Techniques de l'Université nationale de Côte d'Ivoire, 1993 ; 285 p.
7. Nicou R, Le Moigne M. Efficacité agronomique de la mécanisation des opérations culturales. In : Ministère de la Coopération et du Développement/Cirad. *Savanes d'Afrique, terres fertiles ? Actes des Rencontres internationales, Montpellier, 10-14 déc. 1990*. Paris : La documentation française, 1990 : 475-506.
8. Meynard JM, David G. Diagnostic de l'élaboration du rendement des cultures. *Cahiers Agricultures* 1992 ; 1 : 9-19.
9. Cattan P. Les composantes du rendement de l'arachide. *Agriculture et Développement* 1996 ; 11 : 33-8.
10. Meynard JM, Ribeyre C, Boudon O, Laurent E. Pour mieux connaître les variétés de blé : analyser l'élaboration du rendement. *Perspectives Agricoles* 1988 ; 131 : 17-24.
11. Fleury A, Limaux F. Comment la comparaison globale de nombreux essais a pu conduire à des références régionales pour le blé en Lorraine. *BTI* 1987 ; 417 : 95-110.
12. Bazie Y. *Valorisation des résidus culturaux dans la zone du plateau Mossi : amélioration de la qualité des composts (station agronomique de Saria)*. Ouagadougou, Burkina Faso : Mémoire d'ingénieur de l'Université de Ouagadougou, 1984 ; 199 p.
13. SAS. Cary, NC, USA. SAS Institute Inc., 1996.
14. Pouzet D. *Quelques données sur les mobilisations minérales de l'arachide au Sénégal*. Bambeby : CNRA-Irat, 1974 ; 23 p.
15. Arrivets J. Exigences minérales du sorgho. Étude d'une variété voltaïque à grande tige. *Agron Trop* 1976 ; 31 : 29-46.
16. Picasso C. Évolution des rendements et de ses composantes pour l'arachide et quelques cultures en rotation dans le sud du Burkina Faso. *Oléagineux* 1987 ; 42 : 469-74.
17. Cattan P, Schilling R. Évaluation expérimentale de différents systèmes de culture incluant l'arachide en Afrique de l'Ouest. *Oléagineux* 1992 ; 47 : 635-44.
18. Gillier P, Gautreau J. Dix ans d'expérimentation dans la zone à carence potassique de Patar au Sénégal. *Oléagineux* 1971 ; 26 : 33-8.
19. Adams F, Hartzog DL. The nature of yield of Florunner peanuts to lime. *Peanut Science* 1980 ; 7 : 120-3.
20. Cisse L. Influence d'apports de matière organique sur la culture de mil et d'arachide sur un sol sableux du Nord Sénégal. II. Développement des plantes et mobilisations minérales. *Agronomie* 1988 ; 8 : 411-7.
21. Chopart JL. *Le travail du sol au Sénégal : analyse des contraintes techniques et propositions actuelles de la recherche*. Bambeby (Sénégal) : ISRA-CNRA, 1981 ; 36 p.
22. Wey J, Obaton M. Incidence de quelques techniques culturales sur l'activité fixatrice d'azote et le rendement de l'arachide. *Agron Trop* 1978 ; 33 : 129-36.
23. Siband P. *Croissance, nutrition et production du mil. Essai d'analyse du fonctionnement du mil en zone sahélienne*. Montpellier : Thèse de doctorat d'État de l'USTL, 1981 ; 302 p.
24. Ruget F. Élaboration du rendement chez le maïs. In : Combe L, Picard D, eds. *Élaboration du rendement des principales cultures annuelles*. Paris : Inra, 1994 : 73-83.
25. Diouf M. *Analyse de l'élaboration du rendement du mil. Mise au point d'une méthode de diagnostic en parcelles paysannes*. Paris : Thèse INA-PG, 1990 ; 227 p.
26. Diouf M. Diagnostic agronomique en parcelles paysannes. Une méthode d'amélioration des systèmes de culture. In : Ministère de la Coopération et du Développement/Cirad. *Savanes d'Afrique, terres fertiles ? Actes des Rencontres internationales, Montpellier, 10-14 déc. 1990*. Paris : La documentation française, 1990 : 123-43.
27. Bado BV, Sedogo MP, Cescas MP, Lompo F, Bationo A. Effet à long terme des fumures sur le sol et les rendements du maïs au Burkina Faso. *Agricultures* 1997 ; 6 : 571-5.
28. Feller C, Bernhardt-Reversat F, Garcia JL, Pantier JJ, Roussos S, Van Vliet-Lanoe B. Étude de la matière organique de différentes fractions granulométriques d'un sol sableux tropical. Effet d'un amendement organique (compost). *Cah Orstom, Sér. Pédol* 1983 ; 20 : 223-38.
29. Sarr PL. *Analyse des effets induits par l'intensification des cultures sur quelques caractéristiques physico-chimiques d'un sol ferrugineux tropical du Sénégal (Nioro du Rip)*. Montpellier : Thèse, Université des sciences et techniques du Languedoc, 1981 ; 100 p.
30. Taonda SJB. *Évolution de la fertilité des sols sur un front pionnier en zone nord-soudanienne (Burkina Faso)*. Nancy : Thèse Ensaia, 1995 ; 126 p.

Résumé

Le maintien du potentiel de production des cultures au cours du temps en fonction de divers itinéraires techniques a été abordé au Burkina Faso sur deux essais où l'évolution des rendements de l'arachide et du sorgho en rotation a été suivie durant 8 années. Les essais comparent 6 modes de conduite des cultures (préparation manuelle, labour, labour + compost, associant ou non la fertilisation minérale). Les résultats montrent que la culture ininterrompue après jachère réduit dans le temps les rendements de l'arachide et du sorgho en rotation. Son incidence sur les processus d'élaboration du rendement (diminution du taux de bigraines et augmentation de l'attaque des gousses chez l'arachide, difficulté d'épiaison chez le sorgho) et plus particulièrement sur le remplissage des grains de sorgho et graines d'arachide explique en majeure partie la baisse du rapport partie reproductrice/partie végétative enregistrée sur les deux types de culture. L'absence de fertilisation organo-minérale tend à accroître l'effet négatif du nombre d'années de culture avec le temps. Les systèmes les moins intensifs, sans restitution organo-minérale, présentent les bilans les plus déficitaires en N et P. L'apport de compost ne suffit pas à maintenir le stock organique du sol. La fertilisation minérale améliore le bilan de P mais rend déficitaire celui de Ca et accentue la baisse de pH du sol. Le bilan de huit années de culture plaide en faveur de l'intensification des systèmes de production par une politique adéquate d'accès aux engrais.