

MINISTERE DE L'AGRICULTURE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

présenté pour l'obtention du DIPLOME D'AGRONOMIE APPROFONDIE

spécialisation : AGRO-ENVIRONNEMENT

option : Production Végétale Durable

**Modifications du bilan hydrique par les systèmes
de culture sur couverture végétale :
Cas du cotonnier et du sorgho dans l'Extrême-
Nord du Cameroun**

par

Guilhem SOUTOU

**Organisme d'accueil :
CIRAD-CA
SODECOTON**

Année universitaire : 2003/2004

MINISTERE DE L'AGRICULTURE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

présenté pour l'obtention du DIPLOME D'AGRONOMIE APPROFONDIE

spécialisation : AGRO-ENVIRONNEMENT

option : Production Végétale Durable

**Modifications du bilan hydrique par les systèmes
de culture sur couverture végétale :
Cas du cotonnier et du sorgho dans l'Extrême-
Nord du Cameroun**

par

Guilhem SOUTOU

**Mémoire préparé sous la direction de :
Jacques Wery**

Présenté le 25/10/2004 devant le jury :

- A. CAPILLON
- F. FOREST
- L. GUILIONI
- J. WERY

**Organisme d'accueil :
CIRAD-CA
SODECOTON**

**Maître de stage :
Krishna NAUDIN**

Résumé

Dans l'Extrême-Nord du Cameroun, les systèmes de culture conventionnels du sorgho et du cotonnier impliquent des travaux du sol ainsi que l'absence de restitution de la matière organique. On constate depuis plusieurs années un processus de dégradation des sols. Cela se traduit entre autre par une intensification du ruissellement qui diminue une ressource en eau déjà limitée. Des enquêtes imputent cette dégradation aux pratiques conventionnelles. Ainsi, la Sodécoton teste et diffuse depuis 2001 des systèmes de culture avec semis sur couverture végétale (SCV). Les systèmes SCV sont un ensemble de systèmes techniques dans lesquels on pratique le semis direct de la culture, sans travail du sol ni sarclage mécanique, avec une couverture par des résidus végétaux (Seguy *et al.*, 1996). Dans la province, le cotonnier est paillé avec les résidus du sorgho et d'une plante associée. Ces systèmes sont connus pour lutter efficacement contre le ruissellement, grâce à l'action mécanique de la paille (sur le court terme) et grâce à la stabilisation de la structure du sol (sur le long terme). Une augmentation des rendements est observée avec ces systèmes. Certains chercheurs pensent que cet accroissement de la production provient entre autres des effets positifs des systèmes SCV sur le ruissellement, l'offre en eau et finalement sur la consommation du couvert. Cette étude a donc pour objectif de tester cette hypothèse. Il s'agit alors de mesurer les modifications des termes du bilan hydrique par les systèmes SCV et d'apprécier le poids du facteur hydrique dans l'explication des rendements. L'étude se concentre sur la rotation cotonnier/sorgho et étudie l'effet de plusieurs types de paillis sur le cotonnier. Elle se déroule en milieu paysan et en milieu contrôlé afin d'explorer une gamme assez large de contextes de production. Au total, 35 parcelles sont suivies. Elles sont réparties sur 5 sites.

Nous mesurons le ruissellement sur 5 parcelles afin d'observer les effets directs des systèmes SCV. Nous mesurons l'offre en eau à la parcelle et nous nous servons de ces données pour caler un modèle de bilan hydrique afin qu'il rende compte de la consommation du couvert. Enfin, nous estimons le poids du facteur hydrique sur les rendements et ses composantes.

- Nous vérifions tout d'abord que les rendements des parcelles SCV sont stables pour le sorgho et augmentent pour le cotonnier, pourvu qu'elles soient techniquement bien conduites. Nous identifions les composantes explicatrices des rendements et quantifions l'effet des systèmes SCV sur chacune d'elles.

- Sur la base des expériences de ruissellement, nous posons les hypothèses suivantes : A2) la modalité de cotonnier paillé avec brachiaria est la plus efficace et A3) les effets à long terme ont un rôle important dans cette amélioration.

- L'analyse des mesures de l'offre en eau démontre qu'elle est meilleure en SCV, vérifie l'hypothèse A2) et conforte l'hypothèse A3).

- Une surestimation de la réserve utile nous empêche de conclure sur la consommation du couvert. Nous illustrons néanmoins quels peuvent être les effets d'un paillage sur celle-ci. Les résultats des simulations du bilan hydrique montrent que la consommation du couvert est meilleure en SCV pour le cotonnier et est stable pour le sorgho.

- Enfin, nous montrons que la consommation du couvert de cotonnier est corrélée au rendement grâce à un accroissement de la biomasse. Pour le sorgho, nous ne trouvons pas de corrélation.

Les systèmes SCV permettent donc d'améliorer l'offre en eau grâce à une augmentation de l'infiltration. L'étude de la consommation du couvert et du poids du facteur hydrique dans l'explication des rendements nécessite la prise en compte de valeurs de réserves utiles plus réalistes. Nous avons illustré néanmoins que cette consommation peut être meilleure en SCV ce qui peut se répercuter sur les rendements.

Mots-clés : semis direct sur couverture végétale, bilan hydrique, Extrême-Nord du Cameroun, coton, sorgho.

Remerciements

De très nombreuses personnes m'ont accompagné durant mon stage. J'aimerais remercier chacune d'elles avec le même enthousiasme que celui qu'elles m'ont témoigné. Pour réaliser ce projet, il me faudrait probablement autant de pages de remerciement qu'en contient ce rapport. Il me faut donc me restreindre et je m'excuse d'avance auprès des personnes que je n'aurais pas citées. Qu'elles sachent que je ne les oublie pas pour autant, loin de là.

En premier lieu, je remercie Nicolas, alias « le Kik », qui m'a accueilli chez lui avec une telle hospitalité qu'à peine arrivé je me sentais déjà chez moi. J'ai appris à le connaître au fur et à mesure que s'écoulaient les soirées et je dois bien avouer que son ouverture d'esprit m'a étonnée jusqu'à la fin du séjour. Le rencontrer fut une aventure humaine des plus riches et des plus agréables. S'il m'a offert sa confiance et son amitié, son premier geste a été de me présenter à ses amis. J'ai retrouvé chez eux la même convivialité et la même amabilité. Ils m'ont fourni le confort inestimable de se savoir bien entouré. Sans eux, mon séjour n'aurait certainement pas eu la même saveur. Qu'ils viennent de Mokolo, de France, du Sénégal ou du quartier, je leurs dis avec un espoir sincère « A bientôt ! ».

Je voudrais ensuite remercier Krishna Naudin. Il s'est non seulement investi pour me fournir un cadre de travail le plus confortable possible mais m'a également accordé sa confiance pour mener mon étude de bout en bout. Son investissement personnel m'a procuré dès le départ le sentiment que mon travail répond à une véritable attente. Et le fait qu'on compte sûr vous est à la fois très valorisant et très motivant.

Mr Scopel a été d'un grand secours pour la finalisation de la méthodologie : La semaine passée avec lui nous a permis, Adoum et moi, de transformer nos intuitions premières en une démarche concrète et efficace. Loin de nous oublier, il nous a ensuite accompagné tout au long du stage. Son soutien permanent nous a conféré l'assurance nécessaire pour faire face aux inattendus. Je le remercie donc pour le temps qu'il nous a consacré malgré son emploi du temps que je sais chargé.

Adoum Oumarou ainsi que Pierre Abolgo et Alioum m'ont accueilli sans les préjugés qu'un nazarha peut parfois redouter. Notre amitié a permis un véritable échange, et si je ne connais pas véritablement le Cameroun, je connais trois camerounais terriblement sympas. Lorsque je reviendrais, ce sera avant tout pour les voir tous deux.

J'aimerais remercier le personnel de la Sodécoton, à commencer par Oumarou Balarabe, qui m'a constamment aidé et appuyé. L'organisation de mon travail aurait été très pénible s'il n'y avait consacré autant de temps. Ce fut un plaisir de côtoyer les autres membres de la Sodécoton, comme Mr Boukar et d'autres membres du projet ESA.

Enfin, un grand merci aux familles avec qui j'ai travaillé, et particulièrement à celle de Amin et Youssoufa Dairou. Ce fut à chaque fois un immense plaisir que d'aller leurs rendre visite. Si j'ai tant aimé mon travail, c'est entre autre grâce à eux.



Sommaire

INTRODUCTION	p. 9
1 PROBLEMATIQUE ET OBJECTIFS	p. 10
1.1 CONTEXTE DE L'ETUDE	p. 10
1.1.1 Une pluviométrie irrégulière (E-N)	p. 10
1.1.2 Des sols variés mais instables (E-N)	p. 11
1.1.3 Economie rurale (N-C)	p. 11
1.2 DEUX CULTURES EN ROTATION : LE SORGHO ET LE COTON	p. 12
1.2.1 Ecophysiologie des plantes	p. 12
1.2.2 Systèmes de culture conventionnels (3 zones)	p. 13
1.3 DYNAMIQUE DE LA DEGRADATION DU MILIEU	p. 15
1.3.1 La baisse de la productivité et les causes avancées (E-N)	p. 15
1.3.2 Le projet ESA	p. 16
1.4 LE SEMIS DIRECT SUR COUVERTURE VEGETALE	p. 16
1.4.1 Les systèmes de culture SCV étudiés dans l'E-N	p. 16
1.4.2 Une amélioration de l'offre en eau	p. 17
1.4.3 Un bilan hydrique plus généreux ?	p. 18
1.5 OBJECTIFS DU STAGE	p. 18
2. MATERIELS ET METHODES	p. 19
2.1 DEMARCHE ADOPTEE	p. 19
2.1.1 Démarche générale	p. 19
2.1.2 Indicateurs retenus	p. 20
2.1.3 Modélisation du bilan hydrique	p. 20
2.2 CADRE EXPERIMENTAL	p. 21
2.3 OBSERVATIONS	p. 25
2.3.1 Mesures des propriétés physiques du sol	p. 25
2.3.1.1 <i>Taux de couverture du paillis</i>	p. 25
2.3.1.2 <i>Densité apparente</i>	p. 25
2.3.1.3 <i>Texture et réserve utile</i>	p. 25
2.3.2 Mesures de l'offre en eau	p. 26
2.3.2.1 <i>Suivi du front d'humectation du début de cycle</i>	p. 26
2.3.2.2 <i>Mesures de profils hydriques</i>	p. 26
2.3.2.3 <i>Mesures de ruissellement</i>	p. 27
2.3.3 Observation du peuplement végétal	p. 28

2.4 UTILISATION DU MODELE DE BILAN HYDRIQUE	p. 29
2.4.1 Obtentions des variables d'entrée du modèle	p. 29
2.4.2 Paramétrage	p. 30
2.4.3 Méthode de calage	p. 33
3. ANALYSE DES RESULTATS	p. 34
3.1 CONTEXTE DE L'ETUDE	p. 34
3.1.1 Les sols	p. 34
3.1.2 Climat et pluviométrie	p. 35
3.1.3 Les itinéraires techniques	p. 36
3.2 LES COMPOSANTES DU RENDEMENT	p. 39
3.2.1 Le cotonnier : Une augmentation en conditions optimales	p. 40
3.2.2 Le sorgho : une stabilisation de la production	p. 43
3.3 MODIFICATION DE L'OFFRE EN EAU PAR LES SYSTEMES SCV	p. 45
3.3.1 Effet des systèmes SCV sur le ruissellement	p. 45
3.3.2 L'offre en eau du début de campagne	p. 47
3.3.2.1 <i>Le cotonnier</i>	p. 48
3.3.2.2 <i>Le sorgho</i>	p. 49
3.3.3. La phase de croissance et le début de la floraison	p. 49
3.3.3.1 <i>Le cotonnier</i>	p. 50
3.3.3.2 <i>Le sorgho</i>	p. 51
3.4 MODIFICATION DE LA CONSOMMATION EN EAU	p. 52
3.4.1 Adéquation du modèle	p. 52
3.4.2 La consommation du couvert	p. 52
3.4.2.1 <i>Le cotonnier</i>	p. 53
3.4.2.2 <i>Le sorgho</i>	p. 54
3.4.3 Poids de l'eau dans l'explication des composantes du rendement	p. 54
CONCLUSION	p. 56
LISTE DES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	p. 59
ANNEXES	p. 63

Liste des figures

- Figure 1 : Analyse fréquentielle de la pluviométrie de 1970 à 2001 (E-N).
- Figure 2 : Violence des pluies. Moyennes sur 6 ans (E-N).
- Figure 3 : Evolution des rendements en coton et sorgho (N-C).
- Figure 4 : Part relative des surfaces des principales cultures vivrières (N-C).
- Figure 5 : Elaboration des composantes du rendement du cotonnier.
- Figure 6 : Elaboration des composantes du rendement du sorgho.
- Figure 7 : Principales opérations culturales sur le sorgho et le cotonnier (3 zones).
- Figure 8 : Fréquence des différentes opérations culturales sur le cotonnier (3 zones).
- Figure 9 : Couples de parcelles constitués à Zouana.
- Figure 10 : Expérience de ruissellement.
- Figure 11 : Réserve utile en fonction de la texture
- Figure 12 : Réserve utile moyenne par site.
- Figure 13 : Pluviométrie totale sur chaque site.
- Figure 14 : Rendements en coton en fonction de BM/pied.
- Figure 15 : Comparaison de rendements de cotonnier par couple de parcelles.
- Figure 16 : Rendement en sorgho en fonction de grains/panicule.
- Figure 17 : Rendement en sorgho en fonction de BM/talle.
- Figure 18 : Comparaison de rendements de sorgho par couple de parcelle.
- Figure 19 : Régressions linéaires donnant les seuils et les coefficients de ruissellement
- Figure 20 : Adéquation du modèle avec les mesures de profondeur de front d'humectation
- Figure 21 : Adéquation du modèle avec les mesures de %age de remplissage de la RU sur 1m.
- Figure 22 : Cotonnier : Modifications des flux hydriques par les systèmes SCV
- Figure 23 : Cotonnier : Modifications du taux de satisfaction par les systèmes SCV
- Figure 24 : Corrélations obtenues pour le cotonnier.

Liste des tableaux

- Tableau 1 : La Sodecoton, principal acteur du développement rural.
- Tableau 2 : Principales différences entre les systèmes SCV et les systèmes conventionnels.
- Tableau 3 : Avantages et inconvénients de chaque milieu étudié
- Tableau 4 : Parcellaire
- Tableau 5 : Nomenclature des cultures et des systèmes.
- Tableau 6 : Les sols étudiés.
- Tableau 7 : Couples de parcelles constitués à Zouana
- Tableau 8 : Couples créés pour comparer les différentes modalités de cotonnier SCV.
- Tableau 9 : Itinéraire technique des parcelles
- Tableau 10 : Composantes du rendements estimées
- Tableau 11 : Méthodologie et résultats des étapes intermédiaires pour estimer la croissance du couvert
- Tableau 12 : Provenance des paramètres du modèle
- Tableau 13 : Test de student pour les RU
- Tableau 14 : Comparaison de la pluviométrie avec l'analyse fréquentielle
- Tableau 15 : Violence relatives des pluies
- Tableau 16 : Comparaison des itinéraires techniques des parcelles témoins avec les tendances de la zone.
- Tableau 17 : Paillage et maîtrise technique de chaque parcelle.
- Tableau 18 : Autres facteurs de divergence entre les parcelles SCV et les parcelles témoins.
- Tableau 19 : Bilan du contexte de l'étude par site.
- Tableau 20 : Composantes du rendement du cotonnier étudiées.
- Tableau 21 : Bilan des tests de Student pour l'analyse des rendements en cotonnier.
- Tableau 22 : Composantes du rendements pour chaque modalité du cotonnier SCV
- Tableau 23 : Composantes du rendement du sorgho étudiées.
- Tableau 24 : Bilan des tests de Student pour l'analyse des rendements en sorgho.
- Tableau 25 : Seuils et coefficients de ruissellement pour chaque parcelle.
- Tableau 26 : Cotonnier : Résultats de l'analyse 1 sur PFH
- Tableau 27 : Cotonnier : Résultats de l'analyse 2 sur PFH
- Tableau 28 : Sorgho : Résultats de l'analyse 1 sur PFH
- Tableau 29 : Cotonnier : Résultats de l'analyse 1 sur Hv
- Tableau 30 : Cotonnier : Résultats de l'analyse 2 sur Hv
- Tableau 31 : Cotonnier : Résultats de l'analyse 3 sur Hv
- Tableau 32 : Sorgho : Résultats de l'analyse 1 sur Hv
- Tableau 33 : Cotonnier : Résultats des tests de Student sur les simulations
- Tableau 34 : Cotonnier : Résultats des tests de Student sur les simulations pour les parcelles maîtrisées.
- Tableau 35 : Sorgho : Résultats des tests de Student sur les simulations
- Tableau 36 : Correspondances entre les composantes et les variables hydriques.

INTRODUCTION

La province de l'Extrême-Nord du Cameroun évolue sous un climat de type soudano-sahélien. La pluviométrie, limitée en moyenne à 800 mm, est répartie sur la saison des pluies, définissant ainsi la période des cultures. Les événements sont de type orageux et donc caractérisés par leurs violences. Les habitants de la province sont majoritairement des agriculteurs. Ils vivent notamment de la culture de sorgho et des rentes qu'ils gagnent grâce à la culture cotonnière. Cette dernière est sous le contrôle de la Sodecoton (Société de développement du coton au Cameroun), qui a permis son intensification depuis 1974.

Malgré l'intensification de la culture de cotonnier, les rendements baissent depuis plusieurs décennies. Plusieurs diagnostics ont révélé une dégradation rapide des sols qui est due en partie aux conséquences des systèmes de culture : l'absence de restitution de la matière organique affaiblit la structure déjà fragile du sol. Les labours, buttages autres travaux du sol accentuent cette déstructuration. Les sols exposés à la pluviométrie se compactent en surface sous l'impact des gouttes de pluie. Ce « glaçage de surface » diminue de la capacité d'infiltration, ce qui se traduit par des phénomènes de ruissellement. Ces pertes en eau deviennent telles que cette ressource peut devenir un facteur limitant les rendements des cultures. La Sodecoton, principal acteur du développement rural, a mis en place un projet visant à trouver des solutions pratiques à ces contraintes. Le projet Eau-Sol-Arbre en est l'aboutissement.

Les systèmes de culture avec semis sur couverture végétale (SCV) font partie des solutions étudiées. Dans ces systèmes, les résidus de la culture précédente sont préservés pour pailler la parcelle qui ne fait l'objet d'aucun travail du sol. Ces systèmes ont été développés dans d'autres pays par le CIRAD, notamment au Brésil, et ont montré des capacités à augmenter la part de l'eau infiltrée. Des études ont montré que cette amélioration provient de l'effet mécanique du paillis, qui protège le sol et freine les coulées de ruissellement. La restitution de la matière organique permet de régénérer les sols et assure la pérennisation de leurs capacités sur le long terme. Dans les systèmes SCV étudiés en Extrême-Nord, la parcelle de cotonnier est paillée avec les résidus d'une culture vivrière, généralement une céréale, et d'une plante qui lui est associée. Ils sont testés dans la province de l'Extrême-Nord sur le site expérimental de Zouana depuis 2002 et la Sodecoton appuie leurs expérimentation en milieu paysan. Ces systèmes génèrent manifestement des améliorations du rendement, en milieu contrôlé comme en milieu paysan.

Cette étude a donc pour objectif de mesurer les modifications des termes du bilan hydrique par les systèmes SCV et d'apprécier le poids du facteur hydrique dans l'explication des rendements. Elle se concentre sur la rotation cotonnier/sorgho et étudie l'effet de plusieurs types de paillis sur le cotonnier. Elle se déroule en milieu paysan et en milieu contrôlé afin d'explorer une gamme assez large de contextes de production.

1. PROBLEMATIQUE ET OBJECTIFS

1.1 CONTEXTE DE L'ETUDE

La région du Nord-Cameroun (N-C) comprend la province de l'Extrême-Nord (E-N). Cette dernière est composée de «régions Sodecoton» que nous appellerons des zones. 3 nous intéressent particulièrement : Maroua Nord, Maroua Sud et Kaele (annexe 1). Dans cette partie, les statistiques mentionnées se réfèrent à des échelles différentes selon la précision des données : la région N-C, la province E-N ou les 3 zones. Nous mentionnerons cette échelle au niveau du titre de la section et entre parenthèses.

1.1.1 La pluviométrie (E-N)

La province E-N présente les caractéristiques climatiques d'une bordure sud du Sahel. La saison des pluies dure de mai à octobre. La pluviométrie annuelle est comprise entre 400 et 1100 mm (voir annexe 1). De 1970 à 2003, elle est en moyenne de 782 mm à Maroua et est de 805 mm à Kaele¹. Elle est très irrégulière, notamment en début et fin de saison des pluies. Elle présente également des variations interannuelles importantes (voir figure 1). L'écartype des pluviométries annuelles de 1970 à 2001 est de 164 mm.

Figure 1 : Analyse fréquentielle de la pluviométrie de 1970 à 2001 (E-N). (Données : IRAD).

Pluviométrie décadaire minimum (mm) observée
2 ans sur 10 ; 5 ans sur 10 et 8 ans sur 10.

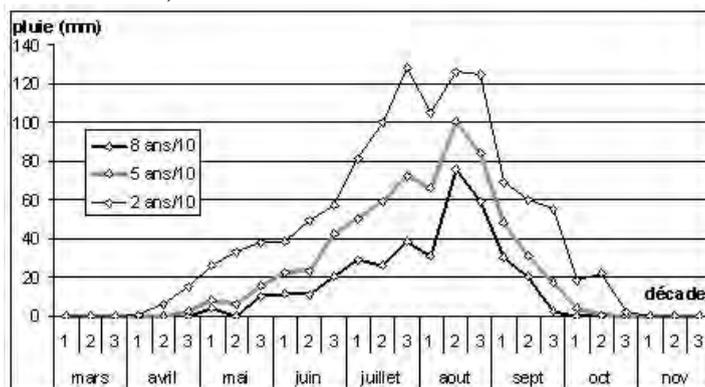
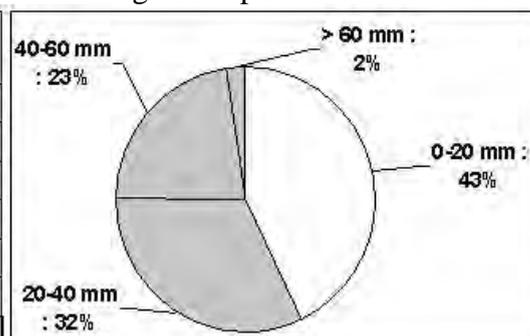


Figure 2 : Violence des pluies sur l'année. Moyenne sur 6 ans (E-N). (Données : Sodecoton)

(Données : Sodecoton)

En % age de la pluviométrie annuelle.



De plus, la province connaît une baisse sensible de la pluviométrie depuis au moins un demi-siècle : La moyenne pluviométrique à Maroua était de 879 mm de 1944 à 1970 contre 782 mm pour la période 1970-2003². Enfin, elle est marquée par le **caractère orageux** des événements pluvieux (voir figure 2).

P La pluviométrie de la province présente donc un faisceau de caractéristiques contraignantes qui sont principalement sa limitation quantitative, son irrégularité inter et intra annuelle et la brutalité des événements pluvieux.

¹ Chiffres calculés à partir de données provenant de l'IRAD, Institut de Recherche Agricole pour le Développement.

² La moyenne des pluviométries annuelles de Maroua de 1944 à 1995 provient de Olivry, 1986 ; et Olivry et al., 1996 cité dans Seignobos et al., 2000. Les moyennes annuelles de 1970 à 2003 proviennent des relevés de l'IRAD. Ce chiffre a été déduit des précédents.

1.1.2 Des sols variés mais instables (E-N)

Les sols de la province sont à dominance sablo-argileuse. On trouve majoritairement 4 types de sols : (Raunet, 2003) :

- Sol 1) : Les sols peu évolués sur arène (« régisol ») dans les situations de piémonts où la pente avoisine les 2-4 %. L'érosion est active et se manifeste souvent par des ravinements. Le sol y est riche, sableux et non-structuré, et possède une faible capacité de stockage de l'eau.

- Sol 2) : Les sols ferrugineux tropicaux lessivés hydromorphes, sont souvent à dominance limono-sableuse à limono-argilo-sableuse sur les 50 premiers cm (15 % à 20 % d'argile), passant progressivement à argilo-sableuse (20 % à 40 % d'argile). Leurs structures sont souvent massives du fait du ciment argileux à base de kaolinite et d'illite non-gonflants. Lorsqu'ils sont cultivés, ces sols présentent souvent des « glaçages » de la surface (ou colmatage).

- Sol 3) : Une variante de ce type de sol est son équivalent sur une zone carapacée ou gravillonnaire dont la manifestation se situe entre 20 et 80 cm. Ce type de sol semble cependant assez peu répandu.

- Sol 4) : Les sols fersiallitiques, ou « sols rouges » sont d'étendue très limitée et se trouvent sur le glacis de piémonts. Ils ont très argileux (30 à 55 %) et très peu sableux. Ils possèdent une bonne fertilité, sans doute la meilleure parmi la gamme des sols existants dans la région (Raunet, 2003).

P De prime abord, et de part leurs natures souvent sableuses, les sols de l'E-N ne peuvent se structurer efficacement. Ils ont tendance à se dégrader facilement.

Ce qu'on appelle la « dégradation » est caractérisée en surface par une déstructuration due à une perte de matière organique (MO), ainsi qu'un départ des argiles (Roose E., 1994). L'impact violent des gouttes de pluie entraîne un glaçage de surface et donc **une augmentation du ruissellement** (Raunet, 2003 ; Roose, 1999 ; Scopel, 2004).

1.1.3 Economie rurale (N-C)

La pression démographique de la province entraîne depuis longtemps une pression sur l'agriculture. Il a fallu faire appel à des techniques de production intensive, diminuer la durée de la jachère pour quasiment la supprimer, et cultiver de nouveaux territoires moins productifs. Les populations de l'E-N ne vivent pour une grande majorité que des produits de l'agriculture. Une partie de la production agricole fournit la base alimentaire, ce sont les cultures vivrières. Elles se distinguent des cultures de rente dont la vocation est d'assurer un revenu monétaire à l'exploitant.

Le sorgho de saison des pluies (ou sorgho) est la principale culture vivrière de la région N-C (figure 4). Il a été planté sur 225 000 ha en 2003³, représentant une production de 328 000 T, soit un rendement moyen de 1,46 T/ha. Les surfaces (186 000 ha en 1995) et les rendements sont en forte progression au moins depuis 1995 (figure 3). Le sorgho occupe donc une place primordiale dans l'économie rurale de la région.

La seule culture de rente de la région est **le cotonnier**. La filière du coton est sous le contrôle de la Sodecoton depuis 1974 (tableau 1). L'état camerounais est actionnaire majoritaire mais l'ex CFDT (Compagnie française pour le développement des fibres textiles, société d'économie mixte créée en 1949), actuelle DAGRIS (Développement des agro-industries du Sud), participe au capital et au fonctionnement de l'entreprise.

³ Toutes les statistiques sur la production en sorgho et en coton en 2003 et avant (c'est-à-dire les volumes de production présentés dans cette section, et sur les itinéraires techniques, détaillés dans la section 1.1.2.2) proviennent de Assana & Gaudard, 2003. Le détail de ces données pour les 3 zones étudiées est disponibles dans l'annexe 2.

Tableau 1 : La Sodecoton, principal acteur du développement rural de la région.

- 1700 agents de terrain pour accompagner les paysans.
- Organise la production de plus de 200 000 ha de cotonnier.
- Fournit les engrais, les herbicides, les insecticides sur tout le territoire.
- Assure l'achat primé de la production.
- Assure la transformation et la vente du produit sur le marché international.

Figure 3 : Evolution des rendements en coton et sorgho (N-C). (Données : Sodecoton)

Les droites représentent la tendance des rendements.

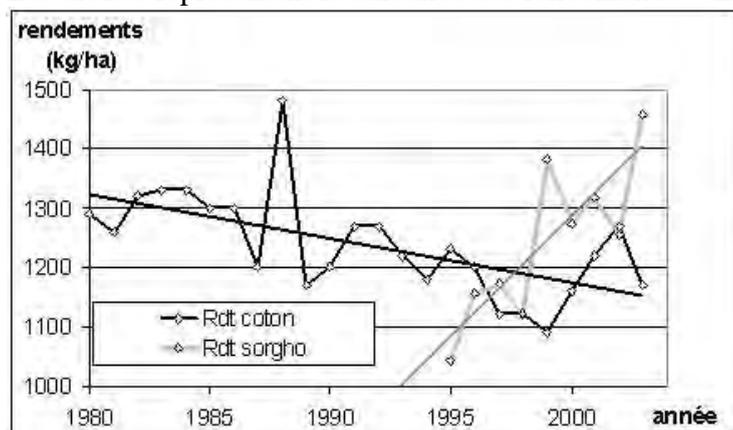
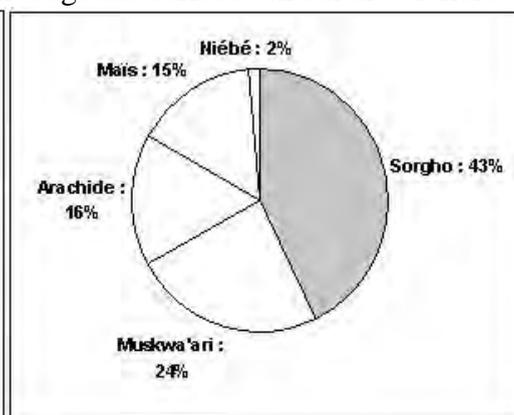


Figure 4 : Part relative des surfaces des principales cultures vivrières (N-C).

En %age des surfaces en culture vivrière.



En 2003, plus de 350 000 planteurs de la région cultivent le cotonnier en système intensif sur 208 000 ha avec un rendement moyen 1,17 T/h. En 2003, 69 % des surfaces cultivées en cotonnier l'étaient sur un précédent céréale, majoritairement du sorgho.

P La rotation bisannuelle cotonnier/sorgho, est dominante dans la province de l'E-N.

1.2 DEUX CULTURES EN ROTATION : LE SORGHO ET LE COTONNIER

1.2.1 Ecophysiologie des plantes

Le cotonnier (*Gossypium hirsutum*) est une plante inféodée à des écosystèmes tropicaux arides ou semi-arides. C'est une dicotylédone de la famille des Malbaceae. Sa croissance est de type indéterminé, la phase végétative juxtaposant la phase reproductive (voir la figure 5).

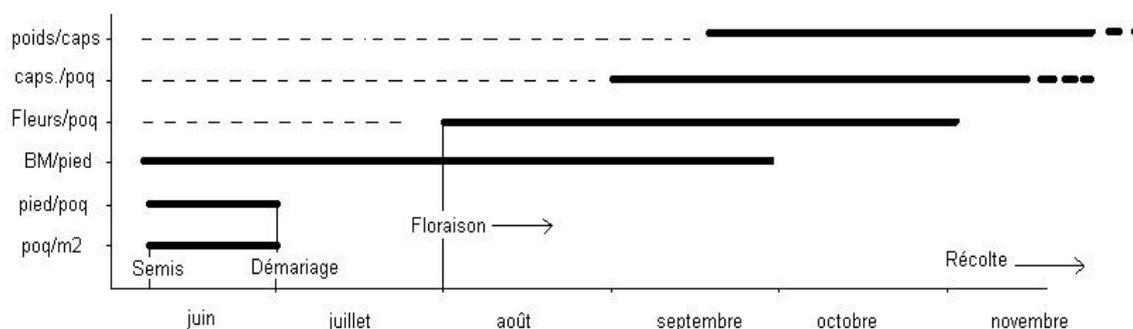
En 2003, 4 variétés de cotonnier sont cultivées dans la région N-C. Elles sont assez semblables et sont très régionalisées (voir l'annexe 2 pour une vue d'ensemble des 3 zones d'étude). Ce sont des variétés de type tardif, c'est-à-dire que leur cycle est long il se prolonge jusqu'en décembre s'il y a suffisamment d'eau.

Les besoins en eau du cotonnier sont de 700 mm à 1300 mm⁴ (Doorenbos, Kassam, 1980). Ces besoins sont importants pendant la floraison, et représentent 60 % du total. Dans la zone d'étude, où les précipitations sont d'environ 800 mm en moyenne, et où 2 années sur 10 il pleut moins 662 mm⁵ sur Maroua, la ressource en eau est d'emblée considérée comme pouvant être limitante.

⁴ Il s'agit du cumul de l'évapotranspiration maximale, ETM, caractéristique de la plante et de son stade phénologique)

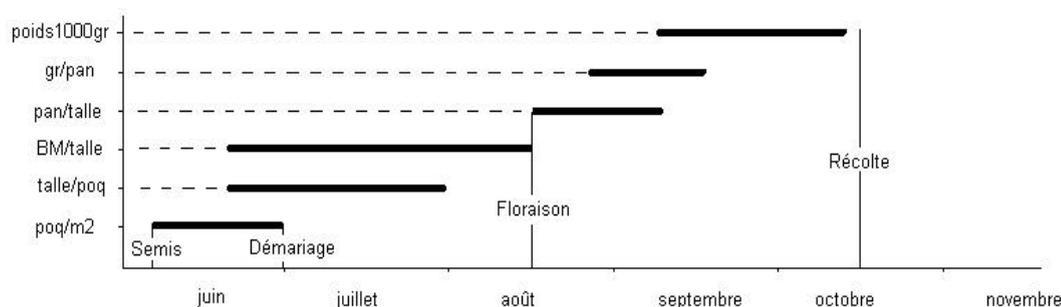
⁵ Chiffre issu de l'analyse fréquentielle de la pluviométrie.

Figure 5 : Elaboration des composantes du rendement du cotonnier.



Le sorgho à grain (*Sorghum bicolor*) est une graminée connue pour son aptitude à produire en milieu aride. La plupart des variétés sont photopériodiques de jours courts, la durée du cycle est donc fixée par la date de semis (figure 6).

Figure 6 : Elaboration des composantes du rendement du sorgho.



Le sorgho à grain cultivé dans la région présente une richesse variétale exceptionnelle (plus de 1500 variétés, Seignobos, Iyebi Mandjek, 2000). La variété *sorghum bicolor bicolor* est prépondérante. Les 4 races *caudatum*, *durra*, *guinea* et *kafir* sont toutes représentées dans la province. La variété locale de loin la plus répandue dans la zone d'étude est le « Njigaari » ou mil rouge, qui est généralement un *caudatum* ou un *durra-caudatum*.

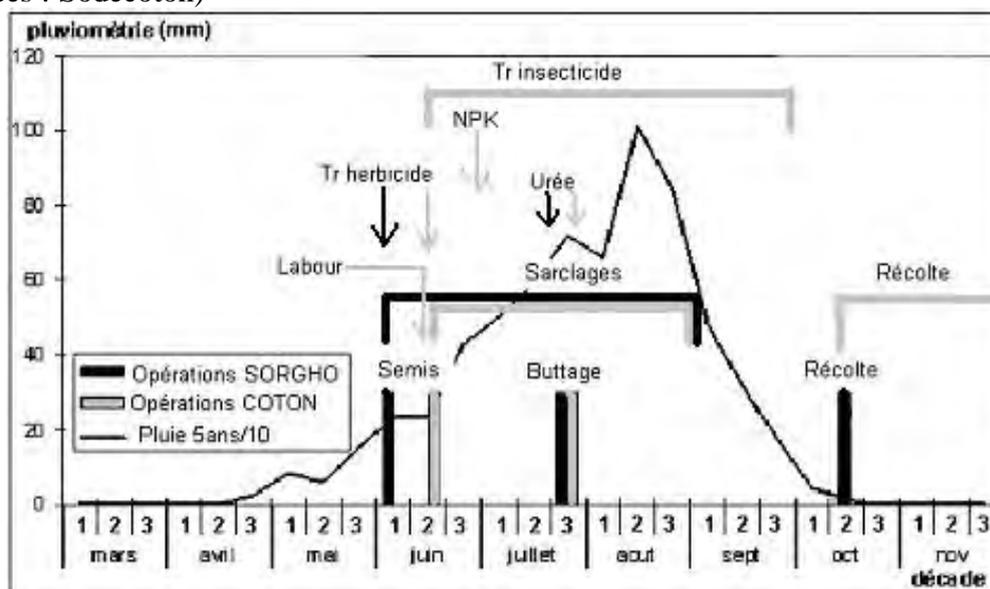
Les besoins en eau correspondant à une forte production d'une culture de sorgho de 110 à 130 jours se situent entre 450 à 650 mm (Doorenbos, Kassam, 1980). Encore un fois, on constate que lors d'une année à faible pluviométrie, les besoins sont environ égaux à l'offre potentielle en eau. Cela signifie que durant ces années, les éventuelles pertes d'eau par ruissellement sont dommageables pour la culture.

P La consommation en eau de ces cultures, et notamment celle du cotonnier, avoisine la pluviométrie annuelle moyenne de la province. La forte variabilité inter-annuelle de la pluviométrie ainsi que le potentiel de ruissellement à priori élevé suggèrent que **la ressource hydrique peut être limitante si elle n'est pas bien gérée**. Cette exploitation de la ressource en eau passe à l'échelle de l'agriculteur par la mise en œuvre d'itinéraires techniques adaptés aux conditions climatiques et à ses contraintes. Les itinéraires techniques appliqués dans la région sont dits conventionnels.

1.2.2 Systèmes de culture conventionnels (3 zones)

Pour un même agriculteur, l'itinéraire technique varie d'une année à l'autre en fonction de ses ressources. Pendant la saison sèche précédent la campagne, les résidus de culture sont traditionnellement utilisés comme fourrage, comme matière première pour des ouvrages ménagers ou sont brûlés sur la parcelle. Les chiffres cités dans cette section proviennent de Assana & Gaudard, 2003.

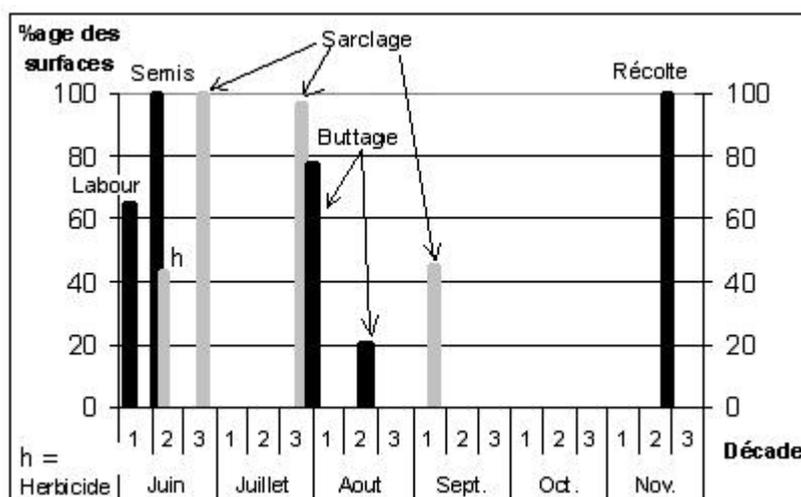
Figure 7 : Principales opérations culturales sur le sorgho et le cotonnier (3 zones).
(Données : Sodecoton)



Le sorgho est la première culture semée (figure 7). La fixité de la date de floraison du sorgho rend le choix d'une date de semis difficile pour l'agriculteur : En effet, l'irrégularité des premières pluies rend un semis précoce risqué tandis qu'un semis tardif diminue la durée du cycle et rend ce travail concurrentiel avec les autres opérations culturales. Ainsi, les agriculteurs optent généralement pour un compromis consistant à semer le sorgho à la fin mai, avant les premières grosses pluies. C'est durant le semis qu'est apporté l'herbicide. Il est généralement récupéré sur la dose fournie par la Sodecoton pour le cotonnier. En 2003, et dans les 3 zones, le sorgho a été cultivé en semis direct sans travail du sol (SD) sur environ 70% des surfaces et sur un labour sur 30%. Plusieurs sarclages sont effectués durant la campagne, le sarco-buttage est effectué avant les pluies du mois d'août. Un amendement de 50 kg/ha d'urée (détourné de la dose fournie par la Sodecoton) peut être apporté au moment du buttage. Généralement, les parcelles ne font l'objet d'aucun traitement insecticide. La récolte se déroule de la fin septembre à fin octobre. Le cycle du sorgho est d'environ 130 jours.

En 2003, le cotonnier est planté en moyenne le 10 juin, soit après la première pluie de 10-15 mm (voir figure 8).

Figure 8 : Fréquence des différentes opérations culturales sur le cotonnier (3 zones).
En %age des surfaces en cotonnier. (Données : Sodecoton). « h » correspond au traitement herbicide.



La plupart des surfaces sont semées après un labour, le reste étant semé en SD, dans le creux résiduel du au buttage de la campagne précédente (voir l'annexe 2 pour les détails des systèmes techniques). Comme pour le sorgho, les herbicides sont apportés au moment du semis. La culture est buttée mécaniquement à la fin du mois de juillet, parfois une deuxième en août. La plupart des surfaces sont sarclées 2 fois, souvent mécaniquement. Les doses d'engrais apportées sont soit 100 kg/ha soit 200 kg/ha de N,P,K à 22 – 10 – 15, avec une moyenne à 185 kg/ha. Les parcelles de cotonnier sont traitées à l'insecticide en moyenne 5,1 fois par campagne. La récolte se déroule en général de fin octobre à fin novembre, le cycle est donc d'environ 150 jours.

P *Ces itinéraires techniques sont caractérisés entre autres par l'absence de jachère et de restitution de matière organique, et par un travail répété du sol, du fait du labour, du (ou des) buttage(s), et des sarclages mécaniques. Ces systèmes intensifs sont accusés de concourir à la dégradation accélérée des sols de la province.*

1.3 DYNAMIQUE DE LA DEGRADATION DU MILIEU

1.3.1 La baisse de la productivité et les causes avancées (E-N)

Malgré l'intensification importante de la culture cotonnière, les rendements baissent depuis plus de 25 ans (voir figure 3). Des agriculteurs constatent que certaines mauvaises herbes poussant traditionnellement sur des sols très peu fertiles colonisent leurs champs (Frosio, 2000). Plusieurs diagnostics ont permis de repérer les symptômes désormais courants⁶ d'un processus de dégradation rapide des sols (voir par exemple les enquêtes de Boli et *al.*, citées dans la liste des références bibliographiques, ou Adufu et *al.*, 1991).

Ces études ont abouti à des conclusions convergentes : l'essentiel de la dégradation se passe sur le champ cultivé intensivement depuis plus de 12-15 ans (Boli et *al.* 1991 ; Roose, 1991). Elle résulte des processus suivants :

1) L'appauvrissement en minéraux et en MO est mis en avant. Cette dernière est essentielle à la constitution du complexe argilo-humique (Roose, 1994). Elle conditionne donc la capacité d'échange cationique et la stabilité structurale du sol⁷ (Roose, 1991). La diminution de la litière entraîne également une diminution de l'activité de la microflore et de la mésofaune du sol, et corrélativement une diminution de la macroporosité et donc de l'infiltration (Roose, 1994). La suppression systématique des résidus et la suppression de la jachère sont directement mis en cause (Roose, 1979, cité dans Roose, 1994 ; ainsi que Harmand et *al.*, 2000).

2) La diminution de la stabilité structurale des sols de la province est également imputable aux travaux du sol répétés. Ils fragmentent et déstructurent le sol. Il en résulte une intensification du phénomène de compaction de l'horizon de surface, directement exposé aux intempéries climatiques (Roose, 1991).

P *Les itinéraires techniques conventionnels contribuent au « glaçage de surface », augmentant les phénomènes de ruissellement : les pertes d'eau, jugées à priori importantes, pourraient rendre la ressource en eau très limitante (Scopel, 2004). Ce ruissellement entraîne également d'importantes pertes de terre par érosion. Ces constats ont amené la Sodecoton à mettre en oeuvre des moyens pour lutter contre cette dégradation des sols. Le projet Eau-Sol-Arbre représente l'aboutissement de ces démarches.*

Toutefois, d'autres causes contribuent à la baisse des rendements en coton : La baisse de la pluviométrie sur le long terme est mise en avant. De plus, la baisse du cours du coton, et donc sa moindre rémunération, ont suscité l'accroissement des détournements des intrants du cotonnier

⁶ On pourra par exemple consulter Kone & Doumbia, 1997 pour une étude menée dans des conditions pédo-climatiques et sociales similaires au Mali, et pour un panorama plus général, Roose, 1994.

⁷ On pourra consulter Barthes et *al.*, 2000, pour une étude détaillée de l'impact de la stabilité du sol sur l'érosion dans la région N-C.

vers les cultures vivrières (Gaudart L., et al., 2004). Cette explication apparaît d'autant plus crédible que les rendements en sorgho sont en hausse depuis 5 ans.

1.3.2 Le projet ESA

Au sein de son programme DPGT (Développement Paysannal et Gestion de Terroirs) créé en 1994, la Sodecoton a développé un volet «fertilité » qui pour objectif d'apporter des solutions techniques aux différents problèmes liés à l'érosion et aux pertes d'eau. Le projet Eau-Sol-Arbre (ESA), créé en 2001 est le prolongement de ce volet. Il est financé par l'AFD (Agence Française de Développement) et reçoit également un appui du FFEM (Fond français pour l'environnement mondial). Il implique directement un agent CIRAD (Krishna Naudin, mon maître de stage) ainsi qu'une équipe de la Sodecoton. Depuis 2001, le projet ESA teste des systèmes SCV et appuie leur diffusion. **Les systèmes SCV sont un ensemble de systèmes techniques dans lesquels on pratique le semis direct de la culture, sans travail du sol ni sarclage mécanique, avec une couverture végétale, morte ou vive** (Seguy et al., 1996, voir tableau 2).

Tableau 2 : Principales différences entre les systèmes SCV et les systèmes conventionnels.
Dans les systèmes SCV, la matière organique est restituée et les travaux du sol sont supprimés.

	Conv	SCV	
paillage	non	1 année sur 2	⇒ restitution de la MO
Labour	oui	non	
sarclages	nombreux	moins nombreux	⇒ suppression des travaux du sol
	mécaniques	manuels	
buttage	oui	non	

Le volet SCV a commencé à partir de 2001. Dès la campagne 2002, des références techniques ont commencé à être produites sur deux sites expérimentaux afin de tester et d'affiner le pilotage de nouveaux systèmes SCV. Dès 2001 les systèmes prometteurs ont été testés par des paysans expérimentateurs répartis sur l'ensemble de la région du Nord-Cameroun.

1.4 LE SEMIS DIRECT SUR COUVERTURE VEGETALE

1.4.1 Les systèmes de culture SCV étudiés dans l'E-N

Cette étude se concentre sur la rotation sorgho/cotonnier⁸. En système SCV, le sorgho est associé avec une plante de couverture afin d'augmenter la production totale de biomasse⁹. *Brachiaria ruziziensis*, *Crotalaria retusa*, et *Dolichos lablab* font partie des plantes de couverture les plus étudiées en E-N. L'année suivante, **la parcelle de cotonnier est paillée avec les résidus du sorgho et de la plante associée** de manière à couvrir un maximum le sol. Le cotonnier est directement semé dans la couverture ainsi formée.

D'après les paysans expérimentateurs, ces systèmes permettent de « restaurer la fertilité » du sol et y augmentent l'humidité. Beaucoup d'agriculteurs ont été impressionnés par l'association avec le brachiaria : cette plante produit beaucoup de biomasse sans trop concurrencer le sorgho, couvre bien le sol, est résistante à la sécheresse et l'excédant de paille fournit un bon fourrage pour les animaux¹⁰. De plus, elle se dégrade lentement et permet de maintenir le paillage pendant tout le cycle du cotonnier. Enfin, elle est reconnue pour sa capacité à protéger les sols de l'érosion (Germain & Evrard, 1992). Le système SCV avec brachiaria est donc diffusée davantage que les autres. La dolique est une légumineuse. Elle est appréciée car elle produit des denrées comestibles, cependant, elle se dégrade très vite et le paillage a souvent

⁸ Pour connaître la diversité des systèmes testés dans le Nord-Cameroun, on pourra se référer à Boulakia 2001 ; Charpentier, 2001 ; Charpentier 2002 ; Naudin 2002 et Naudin & Balarabe, 2003.

⁹ Les densités de sorgho et de cotonnier SCV sont égales à celles des parcelles cultivées en système conventionnel.

¹⁰ L'utilisation fourragère du *Brachiaria* a été étudiée dans Borget, 1965.

disparu à la fin du cycle du cotonnier. Enfin la crotalaire n'a pas particulièrement séduit les paysans expérimentateurs, si ce n'est par sa capacité à « améliorer le sol », à éliminer les mauvaises herbes et par le peu de concurrence au sorgho qu'elle occasionne.

Des différences de comportement des couverts cultivés en système SCV ont été observées directement lors des campagnes précédentes (Naudin, 2002 ; Naudin & Balarabe, 2003 ; Naudin 2004). Dans l'E-N, toutes les composantes du rendement, depuis la densité de peuplement à la qualité de la production augmentent en SCV pour le cotonnier et sont stables pour le sorgho malgré la concurrence avec la plante associée. Ces observations suggèrent fortement une amélioration de l'alimentation hydrique du couvert en cotonnier SCV (Charpentier, 2002 ; Naudin, 2004).

1.4.2 Une amélioration de l'offre en eau

Afin de comprendre les effets des systèmes SCV sur les flux hydriques, il convient de distinguer les deux cultures de la rotation : d'une part le sorgho associé à la plante de couverture et d'autre part le cotonnier paillé.

Les systèmes SCV ont tout d'abord un **effet à court terme** et purement mécanique sur la dynamique de l'eau. Lors d'un événement pluvieux, le paillage, s'il est assez dense (nous parlerons de taux de couverture), amortit les gouttes de pluie qui ne restituent plus leur énergie au sol comme en système conventionnel (Roose, 1994). De même, une plante en association, si elle est bien développée, permet de protéger le sol des intempéries. Les systèmes SCV permettent donc de remédier à un facteur contribuant au glaçage du sol (Scopel, 2004).

Le paillage absorbe également l'énergie lumineuse. Il permet de diminuer la température de l'horizon de surface, et corrélativement le phénomène d'évaporation (Scopel et *al.*, 1999). A l'inverse, dans le cas de petites pluies, l'effet du paillis peut être négatif : il intercepte directement la pluie qui s'évapore sans avoir humecté le sol.

Un important effet mécanique du paillage se manifeste lors de l'apparition de coulées de ruissellement : les pailles, et dans une moindre mesure la plante de couverture, agissent comme un obstacle qui ralentit l'eau à la surface du sol, lui laissant ainsi plus de temps pour s'infiltrer (Scopel et *al.*, 1999). Bien sûr, l'effet du paillage sur le ruissellement dépend de la quantité de paille, et plus précisément de la quantité de paille au niveau du sol. Si les graminées, de par leurs phénologies à talles, constituent des obstacles efficaces au ruissellement, des plantes à structure radiale, comme le cotonnier ou la crotalaire ne font obstacle aux coulées que par la petite partie du résidu qui touche le sol. Ces effets mécaniques ont tendance à concentrer l'eau en surface qui est souvent très humide

Ces résidus ont un effet à court terme par leurs effets mécaniques, mais ont également un **effet sur le long terme** grâce à leur rôle structurant et stabilisant. Les systèmes SCV permettent la restitution de matière organique. Elle a lieu en surface du fait de la décomposition du paillage, et dans le sol du fait de la mort des racines, qui sont plus nombreuses en association qu'en culture pure. Cet apport intensifie l'activité biologique du sol, notamment celle des termites (Pitre & Porter, 1990). Le stage de Simon Bikay est consacré à l'étude comparative de la macrofaune du sol sur les systèmes SCV et conventionnels dans la région N-C. Les pores créés par la macrofaune et ceux provenant de la mort racinaire sont verticaux, continus, non-remaniés, et permettant donc une infiltration efficace (Ghuman & Lal, 1984 ; cités dans Scopel, 1994). C'est notamment le cas de la crotalaire, dont le système racinaire est profond et de type pivotant. Ces galeries se multiplient cycles après cycle, générant un effet cumulatif (Huluguale, 1991 ; cités dans Scopel, 1994). Les systèmes SCV, en recyclant les éléments minéraux entraînés en profondeur permettent également un accroissement cumulatif du taux de matière organique, augmentant donc la stabilité structurale, mais ces effets ne sont décelables qu'après plusieurs années en système SCV¹¹.

¹¹ On pourra se reporter à Dounias, 2001, pour une appréciation globale des effets des systèmes SCV sur le court et le long terme.

P *Le contexte pédo-climatique de la province de l'E-N permet donc à priori l'expression des avantages conférés par les systèmes SCV. L'analyse de leurs effets doit prendre en compte non seulement la modification de l'offre en eau mais aussi celle de la demande et de la satisfaction du couvert (généralement estimée par le rapport ETR/ETM). Si les effets des systèmes SCV sur l'offre en eau font l'objet d'un consensus, tel n'est pas le cas de sa traduction en une meilleure consommation hydrique du couvert.*

1.4.3 Un bilan hydrique plus généreux ?

L'augmentation du ratio infiltration/ruissellement est particulièrement profitable en début de saison des pluies alors que le sol est mal protégé en système conventionnel. Cela pourrait expliquer les meilleures levées observées en système SCV.

Dans les systèmes SCV le sorgho est en compétition avec la plante de couverture : Si les croissances des deux plantes ne sont pas équilibrées, la production de sorgho peut souffrir d'une compétition accrue, ou inversement la plante de couverture peut ne pas produire assez de biomasse pour permettre un paillage satisfaisant du cotonnier de la campagne suivante. On peut avoir une idée de cette compétition en considérant que les besoins en eau d'un couvert de *Brachiaria ruziziensis* sont d'environ 800 mm (Germain et Evrard, 1992). Dans le contexte de l'E-N, la limitation quantitative de l'eau légitime la question de savoir si le sorgho ne souffrent pas d'une compétition hydrique.

Les phénomènes de consommation et de niveau de satisfaction du couvert sont complexes : Par exemple, une meilleure offre en début de cycle peut entraîner une meilleure croissance qui peut ensuite induire des besoins trop importants pour être satisfaits. L'augmentation de l'offre en eau n'est donc pas directement traduisible par une amélioration du taux de satisfaction du couvert.

P *Il existe une importante polémique sur la consommation du couvert en système SCV et aucune conclusion ne peut aujourd'hui clore le débat. Il devient donc nécessaire d'évaluer les effets des systèmes SCV sur le bilan hydrique au cas par cas.*

1.5 OBJECTIFS DU STAGE

Nous voulons tester les hypothèses suivantes : **A)** Il existe un effet du paillage sur le court et le long terme. Ces effets se manifestent par la diminution du ruissellement et donc par l'augmentation de l'offre en eau. **B)** Cette augmentation de l'offre se traduit par une augmentation de la consommation en eau pour le cotonnier, **C)** ce qui explique en partie l'augmentation des rendements observés. Ces hypothèses reposent sur l'étude bibliographique présentée dans la section 1.1.4.

L'objectif de cette étude est donc d'évaluer pour chaque culture 1) la modification de l'offre en eau par les systèmes SCV, 2) la modification de la consommation du couvert et 3) le poids du facteur hydrique sur le rendement et ses composantes.

L'étude se concentre sur les rotations sorgho/cotonnier comprenant le brachiaria, la crotalaire et la dolique en plante de couverture. Nous voulons fournir un panorama couvrant l'ensemble des principaux phénomènes mentionnés dans les sections précédentes et vérifier leurs stabilités dans les différents contextes aussi bien pédologiques que techniques rencontrés en milieu paysan.

2 MATERIELS ET METHODES

2.1 DEMARCHE ADOPTEE

Dans cette partie, nous expliquons la démarche de notre étude. Les détails relatifs aux protocoles des manipulations mentionnées sont décrits dans la section 2.3.

2.1.1 Démarche générale

Les moyens et le temps limités dont nous disposons nous ont amenés à élaborer **une démarche proposant l'analyse d'un ensemble d'indicateurs nous renseignant sur les principaux phénomènes mentionnés dans la section 1.1.4. Nous mettons donc l'accent sur la diversité des processus étudiés plutôt que sur la finesse de leurs quantifications.** La méthodologie est inspirée de celle utilisée par M. Séguéy et Bouzinac (Séguéy & Bouzinac, 1997). Le stage de Adoum Oumarou porte sur l'observation des paramètres physiques du sol liés à la dynamique de l'eau. Nous faisons appel à certains de ses résultats pour mener cette étude.

Chaque parcelle SCV est couplée à une parcelle témoin¹² de façon à ce que seul l'itinéraire technique change entre les deux parcelles, toutes choses étant égales par ailleurs. La comparaison des deux parcelles du couple permet d'apprécier l'impact du système SCV par rapport au système conventionnel. Cette démarche sous-tend une analyse des résultats par échantillons appariés.

Nous travaillons dans deux contextes différents : en milieu contrôlé (milieu exploité depuis 2002 inclus) et en milieu paysan (parcelles suivies depuis 2001, 2002 ou 2003 inclus).

- En milieu contrôlé (le site de Zouana), les parcelles en SCV ne sont pas automatiquement couplées à des parcelles témoins. Nous avons donc créé des couples de parcelles de façon à y minimiser les différences pédologiques (voir section 2.1). L'étude en milieu contrôlé, sur le site de Zouana, permet d'évaluer l'impact du système SCV de manière plus fine car nous pouvons y effectuer des manipulations lourdes. De plus, nous avons l'assurance que l'itinéraire technique y est parfaitement maîtrisé. Enfin, le stage de Simon Bikay portant sur la macro-faune du sol est effectué sur ces mêmes parcelles. Cela permet à nos commanditaires de mettre en relation l'activité biologique avec les propriétés physiques du sol et l'impact sur le bilan hydrique des cultures. Au total, 11 parcelles ont été retenues à Zouana.

- Pour chaque paysan-expérimentateur, la parcelle SCV est couplée avec une parcelle témoin qui lui est accolée. L'étude des indicateurs en milieu paysan permet l'appréciation de l'impact des systèmes SCV en situation réelle et dans des conditions variées (voir tableau 3). Nous voulons répondre à la question suivante : les éventuels effets des systèmes SCV sont-ils perceptibles en milieu paysan malgré la variabilité pédo-climatique et technique qui le caractérise ? Nous avons retenu 24 parcelles paysannes réparties dans 4 villages dont les caractéristiques pédologiques sont à priori assez différenciées.

Tableau 3 : Avantages et inconvénients de chaque milieu étudié.

	Avantages	Inconvénients
Milieu contrôlé	Itinéraires techniques contrôlés	Les parcelles ne sont pas couplées
	Manipulations plus lourdes possibles	Un seul site dans la province
Milieu paysan	Prospection de différents types de sols	Maîtrise technique peut être mauvaise
	Les parcelles sont couplées	

¹² Afin d'alléger la lecture, nous parlerons de « parcelle SCV » ou de « modalité avec brachiaria » pour désigner une parcelle cultivée selon l'un des systèmes SCV ou pour désigner le système SCV avec brachiaria. Il en sera de même pour les parcelles cultivées selon un système conventionnels, les « parcelles témoins ».

L'étude se concentre sur le système SCV avec brachiaria car il est le plus répandu. Nous voulons néanmoins tester le comportement de différents paillages. **Nous étudions donc plusieurs modalités de cotonnier SCV** : celles sur paillage de brachiaria, de dolique ou de crotalaire.

2.1.2 Indicateurs retenus

Toutes les parcelles font l'objet d'une caractérisation physique en laboratoire afin de connaître la texture du sol et sa réserve utile RU (voir 2.3.1.3). Ces données sont non seulement nécessaires à notre étude mais elles constituent également des référentiels très utiles à l'ensemble du projet.

Les indicateurs que nous avons retenus nous renseignent sur des variables et des processus qui, à la lumière de l'étude bibliographique et de l'expérience de Monsieur Scopel, semblent déterminants:

- Les parcelles SCV font l'objet d'une estimation visuelle de la biomasse initiale et finale de paillis (2.3.1.1). En effet, la densité de paillage détermine l'intensité des effets du système SCV. Nous utilisons également les notes délivrées par Monsieur Balarabé pour apprécier le degré de maîtrise technique des agriculteurs : il a noté les principales opérations culturales pour chaque parcelle paysanne, la note allant de 0 à 3. En milieu contrôlé, toutes les notes sont égales à 3 étant donné que l'itinéraire technique est maîtrisé et optimisé.

- Les potentiels de ruissellement de 5 parcelles sont évalués à Zouana grâce à des mesures directes du ruissellement (2.3.2.3). Elles sont effectuées uniquement en milieu contrôlé du fait de la lourdeur de l'expérimentation. Nous voulons y tester l'effet de plusieurs systèmes.

- Nous testons l'hypothèse A) (définie dans 1.5) en étudiant l'offre en eau. Elle est évaluée en début de cycle par des mesures de profondeur du front d'humectation des parcelles (2.3.2.1). Cette observation est rapide et ne nécessite pas de manipulation d'échantillon de terre. Elle a l'avantage de permettre des répétitions sur la parcelle. En milieu de cycle l'offre en eau est évaluée grâce à des mesures d'humidité pondérale H_p à différentes profondeurs (2.3.2.2). Grâce aux mesures de densité apparente de A. Oumarou (2.3.1.2), nous en déduisons le taux de remplissage de la RU.

- Nous étudions la réponse du couvert à l'éventuelle modification de l'offre en eau grâce à des indicateurs de type ETR ou ETR/ETM (ETR et ETM, l'évapotranspiration réelle et maximale de la parcelle). Ils sont étudiés sur plusieurs phases.

- Nous vérifions que les effets des systèmes SCV sur les composantes du rendement se maintiennent durant le cycle en les mesurant (2.3.3). Nous pourrions évaluer le poids du facteur hydrique dans l'explication des rendements en étudiant les corrélations entre les composantes et les variables de type ETR et ETR/ETM.

Nous ne pouvons pas estimer aisément les indicateurs ETR et ETR/ETM par des mesures directes, nous utilisons donc un modèle de bilan hydrique pour la simuler.

2.1.3 Modélisation du bilan hydrique

La simulation doit pouvoir être effectuée à l'échelle de la parcelle et à pas de temps journalier. Elle doit pouvoir rendre compte, même grossièrement, des effets différenciés des systèmes SCV sur le ruissellement et sur l'évapotranspiration, ainsi que des phénomènes de compétitions pour l'eau au sein de l'association céréales/plantes de couvertures. Le modèle SARRABIL développé par le CIRAD et dérivé des travaux de Messieurs Franquin et Forest (Franquin, Forest, 1977), correspond à ces critères¹³. Nous avons été amenés à le reproduire sur un fichier Excel. A partir d'un ensemble de paramètres décrivant le sol, la culture et de variables d'entrée décrivant le climat, l'équation du bilan hydrique (Hillel & De Backer, 1974) est résolue au pas de temps journalier. Le modèle est caractérisé par un réservoir sol unique dont le volume est modulé par l'avancée du front racinaire, par la non-séparation des phénomènes d'évaporation

¹³ Les explications relatives à l'algorithme du modèle SARRABIL sont disponibles dans Baron et al., 1996.

du sol et de transpiration de la culture, par la présence d'un réservoir de surface fictif pour corriger l'évaporation du sol nu, et la prise en compte du ruissellement par la méthode du seuil. Le calcul de l'évapotranspiration réelle de la culture utilise la relation empirique d'Eagleman (Eagleman 1971, cité dans Baron et al., 1996), validée pour un grand nombre de types de sol, de climats et de cultures à travers le monde.

Le modèle utilisé est tout d'abord paramétré. Ce paramétrage est effectué grâce aux mesures effectuées et grâce à la littérature (2.4.2). **Il est ensuite calé** de façon à rendre compte des données que nous mesurons sur l'offre en eau¹⁴ (2.4.3). Pour caler le modèle, celui-ci doit calculer la valeur de variables que nous avons par ailleurs mesurées au champ. Or, nous mesurons la profondeur du front d'humectation puis %RU (calculé à partir des mesures d'humidité du sol). Nous avons donc ajouté ces 2 sorties au modèle. De plus, nous avons ajouté des sorties qui nous semblent intéressantes : ETR/ETM (=Ks)¹⁵ moyen est calculé pour le cycle (Ksccl) et pour les 2 phases sensibles que sont les 15 premiers jours après la levée (Kslev), et la période après le 1^{er} (15) août pour le cotonnier (sorgho), dates qui correspondent au tout début de la floraison (Ksflo). Enfin, nous avons également apporté une modification à l'algorithme de SARRABIL : L'estimation de Ks, qui est calculée grâce au formalisme de Eagleman, est majorée à 1.

Le paramétrage et le calage du modèle ont pour objectif secondaire de permettre une utilisation ultérieure du modèle, afin de pouvoir étudier rapidement les bilans hydriques des parcelles paramétrées pour les besoins de cette étude. Cet outil a donc été conçu pour être le plus convivial possible, afin que le personnel du volet SCV du projet ESA puisse l'utiliser facilement. Tout a donc été automatisé, de façon à ce que toutes les sorties soient calculées dès la copie de la colonne relative à une parcelle dans la feuille « paramètre ».

P La démarche proposée permet non seulement d'atteindre l'objectif précédemment défini, mais elle fournit également des références utiles pour le projet (sur les propriétés du sol notamment), aboutit à la construction d'outils exploitables ultérieurement (échelles photographiques de paillis, modèle de bilan hydrique paramétré et calé) et permettra de coupler les résultats avec ceux de l'étude de la physique du sol et ceux de la macrofaune du sol.

2.2 CADRE EXPERIMENTAL

Un système de symboles permettra de spécifier rapidement la nature des parcelles évoquées dans la suite du texte (tableau 5). Cette nomenclature sera valable pour désigner des parcelles en milieu contrôlé ou en milieu paysan. Elle sera parfois utilisée pour alléger le texte.

Les parcelles étudiées sont au nombre de 35 dont 23 parcelles en cotonnier et 12 en sorgho (tableau 4). Il y en a 11 à Zouana et 24 en milieu paysan (annexe 3).

Tableau 4 : Parcellaire. Nombre de parcelles étudiées pour chaque type de système et chaque culture.

	SCV	T
Cotonnier	13	10
Sorgho	6	6

¹⁴ Rappelons que le paramétrage consiste à calculer les valeurs des paramètres du modèle (paramètres décrivant le sol et la plante). Le calage consiste à modifier la valeur de certains paramètres de façon à ce que les résultats des simulations s'approchent le plus possible des valeurs mesurées au champ. Le calage permet donc d'affiner le paramétrage initial.

¹⁵ Σ ETR est le cumule de l'eau évapotranspirée pendant une période. Nous l'assimilerons à la consommation du couvert et l'appellerons ETR. Nous appellerons le taux de satisfaction du couvert ETR/ETM par Ks.

Tableau 5: Nomenclature des cultures et des systèmes.

Nous avons appelé les parcelles de cotonnier et de sorgho témoins respectivement CT et ST. L'indice spécifie le type exact de système (labour ou SD). Les parcelles en sorgho SCV sont notées S, l'indice spécifiant la plante associée. Les parcelles de cotonnier SCV sont notées Cp en indiquant le précédent après le «/».

Type de système	culture et système	symbole utilisé
Témoin	Cotonnier en SD	CTsd
	Cotonnier en labour	CTla
	Sorgho en SD	STsd
	Sorgho en labour	STla
SCV	Sorgho associé au brachiaria	Sbra
	Cotonnier paillé sur précédent sorgho/brachiaria	Cp/Sbra
	Cotonnier paillé sur précédent sorgho/crotalaire	Cp/Scro
	Cotonnier paillé sur précédent sorgho/dolique	Cp/Sdol
	Cotonnier paillé sur précédent sorgho/niebe	Cp/Snieb
	Cotonnier paillé sur paille rapportée (andropogon)	Cp/and

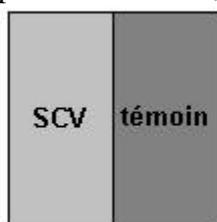
· Nous désirons analyser nos résultats par échantillons appariés afin de supprimer la variance due à la diversité des conditions de production. Cette variance pourrait en effet masquer l'effet des systèmes SCV. **Nous couplons donc chaque parcelle SCV avec une parcelle témoin.** Ce couplage est effectué de façon à ce que seul l'itinéraire technique change d'une parcelle à l'autre, toutes choses étant égales par ailleurs.

LE MILIEU PAYSAN.

En milieu paysan, chaque parcelle SCV est couplée à une parcelle témoin. Ces couplages respectent les critères suivants :

- Les 2 parcelles sont accolées (ce qui minimise la variabilité pédologique)
- elles sont exploitées par le même agriculteur. (ce qui élimine la variabilité technique due à autre chose que le système, comme celle liée aux différences de moyens par exemple)

Sur ces bases, nous faisons l'hypothèse que seul le système de culture change d'une parcelle à l'autre, toutes choses étant égales par ailleurs.



⇒ hypothèse : Seul le système de culture change entre les 2 parcelles, tout étant égal par ailleurs

Ces couples ont été sélectionnés grâce à 2 critères : Ils doivent être en SCV depuis le plus longtemps possible pour maximiser les effets cumulatifs du SCV ; et ils doivent être dispersés dans la province de telle sorte qu'ils couvrent autant que possible la variabilité pédologique de l'E-N. Ainsi, **tous les types de sols recensés sont prospectés dans les sites paysans choisis et à Zouana** (tableau 6). Rappelons que la texture des sols fera l'objet d'une caractérisation précise en laboratoire.

Tableau 6 : Les sols étudiés.

Les numéros des sols renvoient à ceux définis dans la section 1.1.1.2.

	Zouana	Mambang	Mbozo	Kilwo	Gawel
Zone	Kaele	Maroua Nord	Maroua Nord	Maroua Sud	Maroua Sud
Sol	Sol 3)	Sol 4)	sol 2)	Sol 1)	Sol 2)

LE MILIEU CONTROLE : Zouana.

A Zouana, les parcelles SCV ne sont pas couplées à des parcelles témoins. Nous avons donc constitué des couples « artificiels » (tableau 7). Pour le cotonnier, nous ne disposons que de 2 parcelles témoins pour 5 parcelles en SCV. Nous avons choisi de considérer 4 fois la parcelle 4b pour 2 raisons : 1) elle est la plus proche des parcelles 5, 11, 18 et 20, et 2) elle est cultivée selon le système de culture dominant dans les 3 zones d'étude, à savoir en cotonnier sur labour.

Tableau 7 : couples de parcelles constitués à Zouana.

« d » représente la distance entre les 2 parcelles. Les couples hétérogènes sont signalés en caractère gras.

Cotonnier :

SCV	T	Nom du couple	d (m)
1	3b	1/3b	15
5	4b	5/4b	5
11	4b	11/4b	80
18	4b	18/4b	130
20	4b	20/4b	150

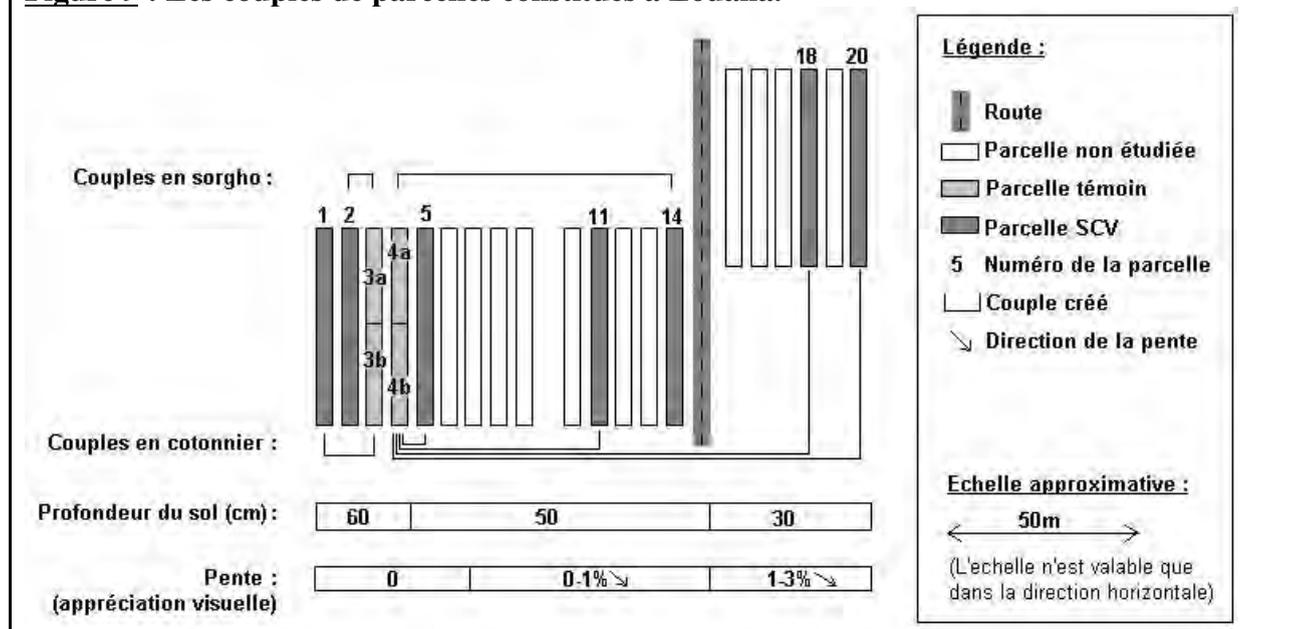
Sorgho :

SCV	T	Nom du couple	d (m)
2	3a	2/3a	5
14	4a	14/4a	100

Les parcelles de chaque couple ne sont pas accolées. Or, la profondeur du sol et la pente changent d'un bout à l'autre du dispositif. Il en résulte que parmi les couples formés, 11/4b, 18/4b, 20/4b et 14/4a ne sont pas homogènes (figure 9).

Au sein de ces 4 couples hétérogènes, la parcelle SCV est systématiquement dans la moins bonne condition de production. Par exemple, dans les couples de cotonnier 18/4b et 20/4b, les parcelles SCV (18 et 20) reposent sur un sol moins profond et plus en pente que la parcelle témoin 4b. De cette manière, nous sommes sûr que l'hétérogénéité du couple n'y induit pas une surestimation de l'effet du système SCV.

Figure 9 : Les couples de parcelles constitués à Zouana.



De plus, l'essai ne présente pas de plan expérimental, il n'autorise donc que très peu de répétitions. Enfin, les parcelles de Zouana sont divisées en 3 niveaux de fumure dont nous ne tenons pas compte (dans l'ordre décroissant : F1, F2, F3 : voir l'annexe 4).

- Nous voulons aussi comparer l'effet des modalités de cotonnier SCV avec crotalaire et dolique à celle avec brachiaria. Ces comparaisons sont possibles sur les sites de Zouana et de Gawel (renvoie à annexe rab in annexe parcellaire). Nous y avons constitué des couples de parcelles. Nous voulons minimiser la variabilité du milieu, nous avons donc minimisé la distance entre les 2 parcelles (tableau 8). Ainsi, nous pourrions comparer les performances des systèmes en négligeant la variabilité des conditions de productions.

Tableau 8 : Couples créés pour comparer les différentes modalités de cotonnier SCV.

La modalité avec brachiaria sert de référence à laquelle on compare les modalités avec crotalaire et avec dolique. « d » représente la distance entre les deux parcelles du couple.

Type de couple	Site	parcelle Cp/Sbra	autre parcelle Cp.	d (m)
Cp/Sbra + Cp/Sdol	Zouana	5	11	50
	Zouana	18	20	15
	Gawel	3004a SCV	3004b SCV	0
Cp/Sbra + Cp/Scro	Zouana	5	1	30
	Gawel	3002a SCV	3002bSCV	0

- Les itinéraires techniques sont résumés dans le tableau 9. Ceux des paysans varient d'une année à l'autre en fonction des besoins et des moyens. Ils sont donc assez incertains avant la campagne. A l'inverse, ceux de Zouana sont connus d'avance et maîtrisés.

Tableau 9 : Itinéraires techniques des parcelles.

	labour	herbicides		Sarclages		buttage		
		Zouana	Milieu paysan	Zouana	Milieu paysan	Zouana	MP	
T	avec labour	oui	oui	?	mécanique	?	oui	?
	en SD	/	oui	?	mécanique	?	oui	?
	SCV	/	oui	?	manuel	manuel	/	/

Nous n'étudions les systèmes de culture conventionnels CTsd et STla qu'à Zouana, car ils sont tous deux minoritaires dans les 3 zones étudiées. Enfin, du fait de certains problèmes, la parcelle 1 (à Zouana) en Cp/Sdol a été suivie à partir de fin juin. Nous avons remplacé cette parcelle durant le début du mois de juin par la parcelle 13 cultivée en Cp/Snieb. Les deux plantes de couvertures sont des légumineuses. Nous considérons donc que les différences entre ces deux parcelles sont minimales. A Gawel, le groupe de parcelle 3004 a été suivi à partir de début juillet.

2.3 OBSERVATIONS

2.3.1 Mesures des propriétés physiques du sol

Les observations sont effectuées à partir de juin et jusqu'au 7 septembre 2004.

2.3.1.1 Taux de couverture du paillis

Principe : Les taux de couverture initiale (avant semis) et finale (début septembre) des paillis sont estimés visuellement pour chaque parcelle : Nous calculons ainsi le taux de couverture moyen du paillis de chaque parcelle pendant le cycle en calculant la moyenne des deux valeurs.

Méthode : Nous constituons des paillis de types et de biomasses différents, en dehors du dispositif sur une placette de 1m². Une photographie est prise pour chaque combinaison type-de-paillis/biomasse. Les différents types de paillis considérés sont :

- Sorgho 100% (du poids total)
- Sorgho 75% + Brachiaria 25%
- Sorgho 50% + Brachiaria 50%
- Sorgho 25% + Brachiaria 75%
- Andropogon (paille rapportée) 100%

Les échelles sont établies pour des paillis de 1, 2, 3, 5, 7, 10 t/ha. A chaque photo est joint une estimation visuelle du taux de couverture du sol. Par comparaison avec les photos, on déduit la biomasse et le taux de couverture de la parcelle observée.

La parcelle 1 et le groupe de parcelles 3004 ne sont suivies qu'à partir de juillet. Pour ces parcelles, les taux de couverture initiaux sont estimés à partir du taux de couverture observé début juillet.

2.3.1.2 Densité apparente

Principe : Les mesures de densités apparentes sont effectuées par Adoum Oumarou, mon binôme, grâce à des prélèvements dans des cylindres. Elles sont indispensables pour pouvoir convertir les données pondérales et données volumiques.

Méthode : La densité apparente est mesurée sur chaque parcelle pour les horizons 0-10, 10-20, 20-30 et 30-40 cm. Cette mesure est effectuée en juin. Le principe consiste à prélever un échantillon de terre intact, de mesurer son poids et son volume, le rapport des deux grandeurs étant la densité apparente. Pour cela, un cylindre de volume et de poids connu est utilisé pour prélever dans une fosse une carotte de terre. La manipulation est effectuée de telle sorte que la terre ne se compacte pas dans le cylindre (utilisation d'une spatule, mesures effectuées dans des conditions d'humidité adéquates..). Le cylindre est séché à l'étuve à 105 °C pendant 24 heures. Le poids de la terre est calculé en retranchant au poids du cylindre plein celui du cylindre vide. Son volume étant connu, nous déduisons la densité apparente.

2.3.1.3 Texture et réserve utile

Principe : A. Oumarou a supervisé avec mon appui le prélèvement et la préparation des échantillons envoyés en laboratoire. Des échantillons de sols sont prélevés pour être envoyés en

laboratoire afin que soit déterminées la texture et la différence Hcr-Hpfp des sols de chaque parcelle et par horizon.

Méthode : Chaque parcelle fait l'objet d'une caractérisation pédologique. Les échantillons sont prélevés aux horizons 0-10, 10-20, 20-40, 40-60 et 60-100 cm. Pour chacune des parcelles, les échantillons sont préparés de la façon suivante : Nous choisissons 4 points de manière aléatoire en milieu paysan et 6 à Zouana, répartis de manière homogène. Des échantillons de terre sont prélevés à la tarière et les mêmes horizons des différents trous sont mélangés ensemble. L'échantillon de l'horizon est alors prélevé dans le mélange correspondant. Cette méthode assure ainsi la représentativité de l'échantillon préparé.

2.3.2 Mesures de l'offre en eau

2.3.2.1 Suivi du front d'humectation du début de cycle

Principe : La profondeur du front d'humectation est suivie à partir du semis. Ce suivi est réalisé grâce à un carottage du sol à la tarière jusqu'à atteindre la limite du sol sec.

Méthode : La limite se reconnaît grâce aux différences de plasticité et de couleur de la terre. Les mesures sont répétées 4 fois dans les parcelles paysannes et 5 fois à Zouana. Elles sont effectuées régulièrement pendant le mois de juin, jusqu'à ce que le front d'humectation ne soit plus assez net. En effet, à partir d'une certaine profondeur, l'humidité résiduelle du sol est trop élevée pour que le front d'humectation se différencie nettement.

Après quelques mesures tests, la profondeur du front d'humectation s'avère ne pas dépendre de l'emplacement ligne/interligne de la mesure. Or, dans le cas des systèmes conventionnels, l'humidité de surface est plus importante sur la ligne (dans le creux du billon résiduel), ce qui facilite la pénétration de la tarière. C'est donc sur la ligne que sont effectuées les mesures des parcelles en système conventionnel.

2.3.2.2 Mesures de profils hydriques

Principe : Les mesures de profil hydrique commencent à partir de juillet, après les mesures de profondeur de front d'humectation, et jusqu'à fin août. Nous mesurons l'humidité pondérale de chaque parcelle régulièrement (si possible après une phase sèche ou pluvieuse) en prélevant des échantillons et en les soumettant à la méthode gravimétrique.

Méthode : Pour chacune des parcelles et à chaque date, les échantillons sont préparés de la façon suivante : Nous choisissons 4 points au hasard en milieu paysan et 6 à Zouana, repartis de manière homogène sur la parcelle. Nous prélevons de la terre à la tarière en chacun des points aux horizons 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60 et 60-100 cm.. Les mêmes horizons des différents trous de la parcelle sont mélangés ensemble. L'échantillon de l'horizon est alors prélevé dans le mélange correspondant. Cette méthode assure ainsi la représentativité de l'échantillon préparé et est compatible avec nos moyens matériels. Par contre, nous n'avons pas de répétitions sur la parcelle. La méthode gravimétrique consiste à peser la masse initiale d'un échantillon de terre, puis de le passer à l'étuve à 105°C pendant 24h et de peser sa masse finale, la différence étant la masse d'eau contenue initialement dans l'échantillon. L'humidité pondérale Hp est le rapport de la masse d'eau sur la masse de terre sèche.

Nous calculons l'humidité volumique Hv correspondante grâce aux mesures de densité apparente « Da » effectuées par A. Oumarou. Pour cela, nous utilisons la formule : $Hv = Da * Hp^{16}$. Le calcul du niveau de remplissage de la RU, soit %RU, est obtenu grâce à la formule $\%RU = 100 * (Hv - Hpfp) / (Hcr - Hpfp)$, avec Hcr : humidité pondérale à la capacité de rétention du sol

¹⁶ L'humidité pondérale Hp d'un échantillon est : $Hp = Meau / Mterre$, avec Meau la masse d'eau et Mterre la masse de terre. L'humidité volumique correspond au même calcul en remplaçant les masses par des volumes. La densité apparente permet cette conversion.

($pF=2,2$), et Hpfp, celle au point de flétrissement permanent ($pF=4,2$)¹⁷. Ces deux valeurs forment les deux bornes de la RU.

2.3.2.3 Mesures de ruissellement

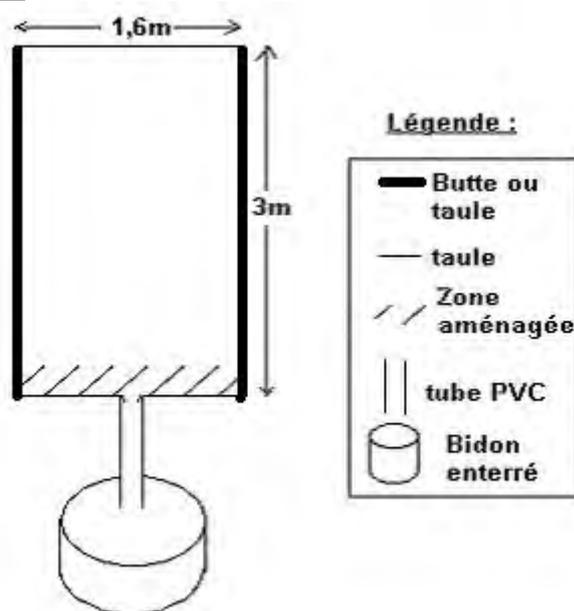
Principe : A partir du mois de juillet et jusqu'en début septembre, le ruissellement d'une petite surface est mesuré sur 5 placettes isolées des flux extérieurs. Ces placettes sont situées sur 5 parcelles à Zouana : 1 CTla, 1 CTsd, 1 Cp/Sbra, 1 Cp/Scro, 1 Sbra. Ces 5 parcelles à sont les suivantes : 2, 3b, 4b, 5 et 11.

Méthode : Sur chacune des parcelles mentionnées, nous sélectionnons une surface de 3 m de long et de 2 inter-rangs de large (soit 1,6m). Cette surface de 4,8 m² est isolée des flux de ruissellement provenant de l'extérieur en utilisant les billons lorsqu'ils existent, et sinon grâce à des tôles verticales enfoncées dans le sol ou des buttes en terre (figure 10). En aval de la surface, l'isolation converge vers un tube en PVC qui canalise l'eau ruisselée vers un bidon. Ce dernier a un volume de 50L, pouvant stocker l'équivalent d'une lame d'eau de 10,4 mm. Il est enterré de telle manière que l'ouverture soit sous le niveau de la surface du sol. Nous pouvons réduire la surface d'une placette si le bidon s'avère souvent saturé. Après chaque évènement pluvieux, un technicien relève la hauteur d'eau dans le bidon et vide celui-ci. En comparant les hauteurs d'eau ruisselées (déduite directement de celle mesurée par le technicien) et aux évènements pluvieux correspondants, nous pouvons effectuer une régression linéaire pour estimer le seuil et le coefficient de ruissellement de la parcelle.

NB : Les parcelles témoins en cotonnier (SD et labour) sont deux références par rapport auxquelles on compare les parcelles en SCV. Nous postulons que pour ces systèmes conventionnels, la nature du couvert n'influe pas sur le ruissellement de la parcelle. Nous pouvons dès lors comparer la parcelle en sorgho/brachiaria avec les deux parcelles de cotonnier témoin, comme si elles étaient en sorgho témoin.

La comparaison des comportement des parcelles en cotonnier SCV par rapport à celles en cotonnier témoin permet d'apprécier les effets à court terme (dus aux paillage) cumulé aux effets à long terme (sans pouvoir distinguer les uns des autres). Par contre, en comparant la parcelle en sorgho/brachiaria (donc sans paillis) aux parcelles témoins, nous pouvons apprécier les effets à long terme du système SCV avec brachiaria (Nous postulons que la présence du brachiaria influe peu sur le ruissellement).

Figure 10 : Expérience de ruissellement



¹⁷ pF est le potentiel capillaire.

Ces mesures permettent d'avoir un ordre de grandeur des seuils et coefficients de ruissellement en fonction du taux de couverture du sol grâce à une régression linéaire. Nous pouvons ainsi estimer grossièrement ces paramètres sur les autres parcelles avant qu'elles ne soient modifiées lors du calage du modèle.

2.3.3 Observation du peuplement végétal

Principe : Les composantes du rendement mentionnées sur le tableau 10 sont estimées en début septembre, soit avant la récolte pour être compatibles avec la durée du stage. Nous postulons que nos résultats peuvent donner un ordre de grandeur des rendements potentiels à ce stade du cycle.

Tableau 10 : Composantes du rendement estimées

SORGHO	COTONNIER	
poquets/m ²	poquets/m ²	
talles/poquet	piets/poquets	
BM/talle	BM/pied	⇒ estimée indirectement
SF/talle	SF/pied	⇒ estimée indirectement
panicule/talle		
grains/panicule	BFC/pied	⇒ rendements potentiels

Les valeurs des variables comme grains/m², ou l'indice foliaire IF sont déduites des composantes estimées. Pour le sorgho, le rendement potentiel est représenté par la variable grains/m². Pour le cotonnier, le rendement potentiel est estimé par le nombre de (bourgeons + fleurs + capsules) ou BFC par m²¹⁸. La composante BFC/m² sous-estime le rendement potentiel en système SCV : Des observations des années précédentes montrent qu'il y a un phénomène de rattrapage en fin de cycle sur les parcelles exploitées en SCV. La formation et la maturation des capsules durent plus longtemps, ce qui accroît la qualité et la quantité de la production. Nous ne pouvons pas tenir compte de ce phénomène dans le cadre de ce stage.

Méthode : L'estimation du nombre de grains de sorgho par poquet (grains/poquet) est délicate : d'une part, les panicules de sorgho sont à des stades de maturation différents au moment de la mesure. On peut notamment distinguer les panicules dont les grains sont jaunes, gros et bien remplis, et celles dont les grains sont petits et verts. D'autre part, les grains sont difficilement séparables des rachèmes. Ces deux contraintes sont en partie levées par la méthode suivante : Sont pesés 1000 grains verts d'un côté et 1000 grains jaunes de l'autre. Ces mêmes lots de grains sont ensuite pesés avec leurs rachèmes afin de déterminer les ratios poids1000gr/(poids1000gr + rachèmes) pour chaque type de grain. Ces ratios sont notés R_v et R_j pour les grains verts et jaunes respectivement. Pour chaque poquet de chaque parcelle, sont pesés d'un côté le poids des grains verts avec leurs rachèmes (P_v) et de l'autre le poids des grains jaunes avec leurs rachèmes : P_j. Enfin, on applique la formule : grains/poquet = P_v*R_v + P_j*R_j pour obtenir le nombre de grains du poquet.

Les variables BM et SF sont calculées pour chaque talle de sorgho (pied de cotonnier) faisant l'objet de comptage de grains (BFC), soit 10 ou 12 poquets selon la parcelle. Nous avons mis au point des relations empiriques pour estimer ces variables plus rapidement. A chaque fois, nous avons choisi parmi l'équation exponentielle, polynomiale ou linéaire celle qui est la mieux corrélée (tableau 11).

¹⁸ Après plusieurs discussions, il s'est avéré que les bourgeons dont la taille est inférieure à 3cm au moment de l'opération ont une faible probabilité de donner des capsules, c'est pourquoi seuls sont comptés les bourgeons dont la taille est supérieure à 3 cm. Pour éviter toute déviance subjective dans l'appréciation des longueurs, un bourgeon « étalon » de 3 cm est conservé pendant la manipulation pour toute comparaison éventuelle.

Tableau 11: Méthodologie et résultats des étapes intermédiaires pour estimer la croissance du couvert. Les variables «h » et «Lf » dans les équations sont en cm. Les autres variables sont définies dans le texte.

COTON :	échantillon	Méthode	relation retenue
BM/pied	22 pieds	passage à l'étuve 105°C, 24h ou plus.	$BM = 0,0004 * h^{2,5857}$ (gr/pied)
SF/feuille	20 feuilles	papier quadrillé sur chaque feuille	$SFf = 0,2751 * Lf^{2,4511}$ (cm2/feuille)
SF/pied	10 pieds	application de $SFf=f(Lf)$ à chaque feuille	$SF = 0,02440 * h^{2,5723}$ (cm2/pied)

SORGHO :	échantillon	nature de l'estimation	relation retenue
BM/talle	31 talles	passage à l'étuve 105°C, 24h ou plus.	$BM = 1,7474 * \exp(0,0157*h)$ (gr/talle)
SF/talle	12 talles	papier quadrillé sur chaque feuille	$SF = 3,5377 * NF^{3,1686}$ (cm2/talle)

La BM du talle (pied) est estimée à partir de sa hauteur h (annexe 5). La relation $BM=f(h)$ est déterminée en prélevant 21 talles (31 pieds), en mesurant leurs hauteurs puis leurs poids de matière sèche après passage à l'étuve à 105 °C pendant 24h ou plus selon la taille du plant. On obtient une estimation de la biomasse de chaque talle (pied) en mesurant leurs hauteurs puis en appliquant à chacun la formule $BM=f(h)$.

La SF du talle de sorgho est également estimée par une étape intermédiaire (annexe 7). La SF de chaque feuille de 12 talles est mesurée grâce à un papier transparent quadrillé. On établit les relations $SF/talle=f(NF)$, et $SF/talle=f(h)$, avec NF le nombre de feuille par talle. La mieux corrélée est $SF/talle=f(NF)$. Nous avons donc compté NF pour chaque talle pour en déduire sa SF.

Pour estimer la SF du pied de cotonnier, on passe par 2 étapes intermédiaires car le nombre de feuille NF par pied est trop élevé. Les feuilles du cotonnier ont des tailles très variées mais des formes semblables. Nous mesurons donc d'abord la surface foliaire SFf de 20 feuilles pour déduire une relation $SFf=f(Lf)$ avec Lf la longueur de la feuille (annexe 6a). Nous avons ensuite appliqué cette formule à toutes les feuilles de 10 pieds de cotonnier pour en déduire leurs SF. On établit les relations $SF/pied=f(NF)$, et $SF/pied=f(h)$ (annexe 6b). La mieux corrélée est $SF/pied=f(h)$. Nous avons appliqués donc cette relation à chaque pied.

2.4 UTILISATION DU MODELE DE BILAN HYDRIQUE

2.4.1 Obtentions des variables d'entrée du modèle

Les variables d'entrées du modèle sont relatives à l'environnement climatique. Il s'agit d'une part de l'évapotranspiration de référence (ET_{ref}), variable qui synthétise la demande évaporative exercée par le climat sur le sol et sur un couvert végétal, et d'autre part de la pluie, seule entrée hydrique dans les systèmes de cultures étudiés.

L'IRAD possède des instruments de relevés météorologiques à la station de Maroua. Ils permettent un relevé journalier des variables suivantes : les températures minimums (T_{min}) et maximum (T_{max}), l'humidité relative moyenne de l'air (HR_{moy}), la vitesse du vent (U) et l'énergie du rayonnement incident (R_n). Grâce à cet ensemble de données, nous pouvons calculer la valeur journalière de l'évapotranspiration de référence ET_{ref} grâce à la méthode de Penman modifiée (Doorenbos & Pruitt, 1976) pour la zone de Maroua. Toutes ces variables météorologiques sont relativement stables dans l'espace, nous considérons donc que les valeurs de ET_{ref} calculées grâce aux données collectées à Maroua peuvent être extrapolées à l'ensemble de la zone étudiée. Quant à la pluviométrie, qui présente une grande variabilité spatiale, nous la relevons dans chacun des 4 villages et à Zouana.

En plus des données d'entrée, le modèle nécessite la connaissance des valeurs des paramètres du modèle.

2.4.2 Paramétrage

Nous avons paramétré le modèle pour chaque parcelle. Il y a deux sortes de paramètres, ceux liés au sol et ceux liés à la plante. Le tableau 12 résume la provenance de chaque paramètre. Certains paramètres sont ensuite modifiés dans le cadre du calage du modèle (voir section suivante).

Tableau 12 : Provenance des paramètres du modèle.

PARAMETRES SOL	PROVENANCE
%age de couv. Initial	Mesure paillis initial et final (2.2.1.1)
%age de couv. Final	
Profondeur du sol (mm) :	Mesure à la tarière à Zouana, sinon 1m par défaut
Densité apparente	Mesure de A. Oumarou (2.2.1.2)
%age Argile	Mesure du laboratoire (2.2.1.3)
%age Limon	
seuil de ruissellement (mm):	Déduit du %age de couverture du paillis grâce aux expériences de ruissellement à Zouana (3.3.1)
coefficient de ruissellement (mm/mm):	

PARAMETRES PLANTE	PROVENANCE
Date de la levée	5 jours après le semis
Durée du cycle (j) :	On considère que la récolte est le 15/10 pour le sorgho et le 15/11 pour le cotonnier
Indice foliaire de la culture : (par défaut : 3)	Estimé (2.2.3)
Indice foliaire de la plante associée (si sorgho):	Estimé (voir ci-après)
Profondeur racinaire initiale (à JAS=1) (mm) :	10 mm par défaut
Profondeur racinaire potentielle (mm):	Etude Olina, 2003
Nombre de jours de croissance racinaire (j):	80 (valeur par défaut dans SARRABIL)
Durée Kc ini et valeur culture pure	Bulletin FAO N° 33 (Doorenbos et al., 1980)
Durée Kc ↑ et valeur culture pure	
Durée Kc mid et valeur culture pure	

- *Le stock d'eau initial* est considéré comme étant égal à zéro avant la première pluie. Le modèle commence donc la simulation dès celle-ci.

- Les mesures des *taux de couverture initiaux et finaux* des paillis nous permettent d'estimer les taux de couverture moyens. En appliquant l'équation issue de la régression linéaire établit grâce aux expériences de ruissellement à Zouana, on obtient une valeur approchée du *seuil* et du *coefficient de ruissellement* de la parcelle. Les taux de couverture interviennent également dans le calcul des coefficients cultureux.

- *La profondeur du sol* est à 1m par défaut. A Zouana, où le sol est moins profond, nous supposons que cette variable est limitée par la carapace gravillonnaire. Sa profondeur est déterminée en creusant des trous à la tarière. Ces profondeurs sont récapitulées dans le tableau 3 de l'annexe 5.

- Les résultats du laboratoire concernant Hcr et Hpfp sont incompatibles avec les intervalles de valeurs couramment observés. Nous avons donc décidé de calculer la RU grâce à *la texture des sols*. Les textures (argile, limon sables) sont exprimées en pourcentage massique. Pour certains horizons, le total des pourcentages (tot) est différent de 100%. Afin d'utiliser ces données fournies par l'IRAD, nous avons effectué une correction pour chacun des pourcentages : Celui-ci est multiplié par le ratio 100/tot. Ainsi, les totaux sont normalisés à 100%. Afin de calculer la RU de chaque sol, nous avons d'abord estimé les deux bornes de cette réserve grâce aux équations suivantes (Gillet et Charoy, cité dans Affolder, 1986) :

$$Hcr = 0,330 * T + 10,98$$

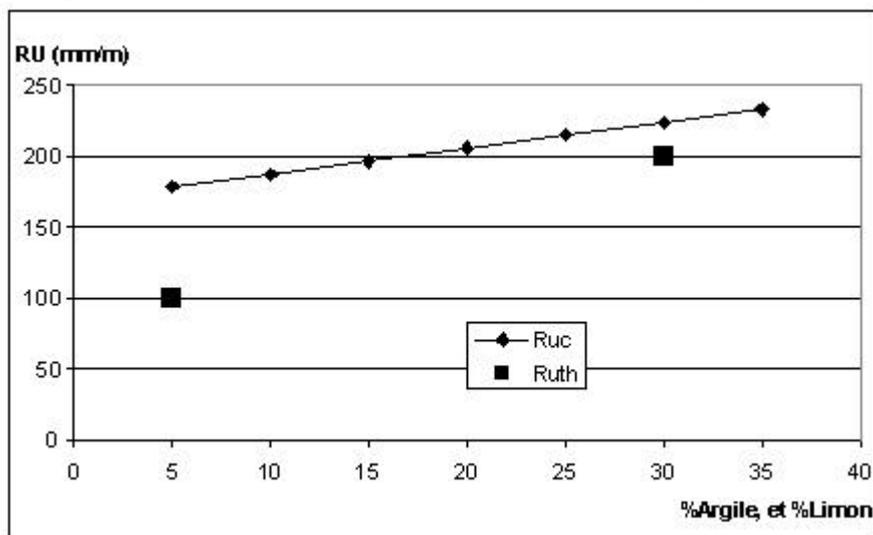
$$Hpfp = 0,254 * T + 0,403 \text{ Avec } T = (\% \text{Argile} + \% \text{Limon} / 2), \text{ Hcr et Hpfp exprimées en \%age.}$$

La RU de chaque parcelle est calculée en moyennant les valeurs des réserves utiles des horizons correspondant la profondeur du sol (résultats : tableaux 1 de l'annexe 8.). En calculant la

RU pour différentes textures, et en confrontant ces résultats aux valeurs standards trouvées dans la littérature, nous nous apercevons que ces équations semblent bien rendre compte des propriétés des sols argileux, mais elles semblent entraîner une surestimation importante de la réserve utile sur des sols sableux (voir figure 11). Cette surestimation a été vérifiée à la fin du stage.

Figure 11 : Réserve utile en fonction de la texture (avec %Argile = %Limon).

(RU calculé «RUc» avec les équations de Gillet et Charoy, cité dans Affolder et RU théorique «RUth» d'après les valeurs standards trouvées dans la bibliographie).



Ce problème va entraîner 1) une surestimation de la RU dans les simulations et 2), une sous-estimation de %RU, calculé à partir des données mesurées Hv (2.2.2.2) : En effet, pour une même valeur de Hv correspondrait un taux de remplissage plus élevé pour une RU plus faible. Le problème est complexe puisque nous ne savons pas quels paramètres (Hcr et/ou Hpfp) sont mal estimés. Quoiqu'il en soit, **cette surestimation implique un mauvais paramétrage (1) et un calage sur des données %RU certainement surestimées (2)**. Il en résulterait que le modèle pourrait être très bien calé sur %RU sans pour autant prétendre décrire fidèlement la réalité.

De plus, les résultats sur la texture des sols ne prennent pas en compte les sables grossiers (diamètre supérieur à 2 mm). Or, pendant cette étude nous avons constaté grâce aux carottages que le sol de Zouana est constitué d'environ 20% de sable grossier en surface et d'environ 50% lorsqu'on arrive dans la couche gravillonnaire. Nous avons donc diminué la valeur de la RU proportionnellement au pourcentage de sables grossier %Sableg selon la formule : $RU_{final} = RU_{initial} * (1 - \%Sableg)$.

Enfin, certaines parcelles n'ont pas fait l'objet de mesures de *densité apparente* (Da). Nous postulons qu'elle dépend de la texture et du type de système de culture. Nous avons choisi de les estimer en postulant qu'elles sont égales à celles du même horizon de la parcelle cultivée avec le même type de système et qui est la plus proche. Cela est gênant pour les parcelles 18 et 20 de Zouana dont nous postulons que la Da est la même que celle de la parcelle 5, qui est dans des conditions pédologiques très différentes (voir encadré p23). Enfin, les horizons mesurés vont jusqu'à 40 cm de profondeur. Nous avons postulé que la Da de l'horizon 40-100 est identique à celle mesurée dans l'horizon 30-40.

- *La date de levée* est déduite de celle du semis : Nous considérons qu'elle survient 5 jours après celui-ci. Nous avons calculé *la durée du cycle* en fixant des valeurs de récolte qui correspondent aux moyennes observées. Nous avons fixé celle du sorgho (cotonnier) au 15/10 (15/11).

- *Les coefficients cultureux* Les valeurs des Kcini, Kcmid et Kcfin des cultures pures de cotonnier et de sorgho proviennent de tables FAO (Doorenbos et al., 1980). Le Kcmid correspond à une culture non limitée dans des conditions optimales (IF > 3). Dans le cadre du paramétrage du modèle pour chaque parcelle, le Kcmid est adapté si la croissance n'a pas été optimale. Pour cela

on procède à une réduction du Kcmid proportionnellement à la réduction de l'indice foliaire IF en dessous de 3. On adapte certains paramètres liés aux effets des SCV : L'effet du paillis est surtout notable en début et en fin de cycle et dépend du taux de couverture du paillis. Dans le bulletin FAO N° 56 (Allen et *al.*) il est proposé de réduire ces Kcini et Kcfin de 5% chaque fois que l'on a 10% de couverture de sol. Ainsi pour une couverture initiale de 50% nous réduisons le Kcini de 25%. Pour prendre en compte l'effet de compétition entre le sorgho et la plante associée, le Kcmid est modifié de la façon suivante pour calculer la consommation d'eau du sorgho¹⁹ :

$$Kc_{mid} \text{ (céréale modifiée)} = Kc_{mid} \text{ (céréale)} \left[\frac{(1 - \exp(-0.7 * IF_{(asso)}))}{(1 - \exp(-0.7 * IF_{(céréale)}))} \right]$$

$Kc_{mid} \text{ (céréale modifiée)}$ = nouveau Kc mid pour la céréale dans l'association

$Kc_{mid} \text{ (céréale)}$ = Kc mid céréale seule

$IF_{(asso)}$ = IF de l'ensemble des deux cultures = $IF_{(céréale)} + IF_{(plante associée)}$

$IF_{(céréale)}$ = IF de la céréale

Par exemple, dans une association sorgho/brachiaria dans laquelle nous avons à la floraison un IF du sorgho de 3 et un IF du brachiaria de 2, $Kc_{mid} \text{ (céréale modifiée)} = 1,33$. L'augmentation de Kc mid de 1,2 à 1,33 représente une augmentation considérable de la demande, ce qui a des répercussions sur la consommation simulée de la céréale et sur son taux de satisfaction. Pour cela, nous procédons à une estimation visuelle de $IF_{(brachiaria)}$ de la manière suivante : Nous photographions un plant de brachiaria «étalon» puis estimons sa surface foliaire $SF_{(brachiaria \text{ étalon})}$ (on mesure la SF de chaque feuille grâce à un papier quadrillé). Une comparaison du couvert de brachiaria avec la photo du plant étalon permet d'estimer grossièrement la $SF_{(brachiaria)}$ moyenne. Cette dernière est ensuite multipliée par la densité de plant de brachiaria pour obtenir une estimation de $IF_{(brachiaria)}$.

· *Les profondeurs d'enracinement des cultures* sont tirées de l'étude de l'enracinement du cotonnier et du sorgho en système conventionnel et en système SCV menée par Monsieur Olina (Olina, 2003). Cette étude est effectuée à Boklé, près de Garoua, sur un sol sablo-argileux similaire à ceux que l'on trouve fréquemment en E-N. L'auteur montre que le système racinaire du cotonnier cultivé en SD ou sur un labour explorent intensément les horizons 10-20 cm et celui situé au-delà de 60 cm. Celui du cotonnier paillé explore préférentiellement l'horizon 0-20 (souvent plus de 50% du nombre de racines se trouvent dans les 20 premiers cm). Il en résulte que 80% du nombre des racines du cotonnier se trouvent dans les 60 premiers cm en système conventionnel, et sur les 40 premiers cm en système SCV. Le sorgho a tendance à explorer l'horizon 0-20 cm indépendamment du système de culture (50% du nombre de racines dans les 20 premiers cm, 80% dans les 40 premiers cm). Compte tenu de la similarité des sols, et malgré les différences de pluviométrie, nous postulons que ces répartitions sont extrapolables aux cultures de l'E-N. Nous considérons la profondeur maximale d'enracinement comme étant la profondeur en deçà de laquelle résident 80% du nombre de racines. La *vitesse d'enracinement* est considérée comme continue pendant les 70 premiers jours du cycle (valeur par défaut pour le mil dans SARRABIL), de façon à atteindre la profondeur souhaitée.

P *La principale lacune de notre démarche est la méconnaissance de la profondeur racinaire. Nous considérons donc qu'elle peut être modifiée lors du calage du modèle. S'ajoute à cette lacune le **problème de l'estimation de la RU**. L'hypothèse de sa surestimation n'était pas vérifiée avant la fin du stage, nous avons donc considéré que nous ne pouvons pas modifier la valeur de ce paramètre lors du calage.*

¹⁹ Pour plus de détails se reporter au Bulletin FAO N° 56, pages 198-203

2.4.3 Méthode de calage

Le modèle est calé manuellement pour chaque parcelle. Nous ajustons certains paramètres de façon à ce que les sorties du modèle soient le plus proche possible des mesures de profondeur du front d'humectation et de %RU. 4 paramètres peuvent être modifiés, dans l'ordre suivant :

1) *La profondeur d'enracinement* : La croissance racinaire du sorgho évolue proportionnellement à la croissance aérienne (Konate, 1990). Nous postulons qu'il en est approximativement de même pour le cotonnier. Ainsi, si la croissance est importante ($IF \approx 3$) ou très faible ($IF < 1$), nous considérons que nous pouvons augmenter ou diminuer la profondeur d'enracinement en restant dans l'intervalle 30-100 cm.

2) *Les valeurs et durée des coefficients culturaux* : Nous n'avons pas pu tenir compte des adventices dans le calcul des coefficients culturaux des parcelles de cotonnier. Nous pouvons donc augmenter le K_{cmid} de la culture de cotonnier (par l'intermédiaire de l'indice foliaire) si celle-ci est fortement colonisée. En début septembre, les cultures sont à des stades différents d'une parcelle à l'autre. Nous pouvons modifier les durées des différentes phase pour tenir compte de ces différences.

3) *Les valeurs de seuil et de coefficient de ruissellement* : Les sols sont très diversifiés et la capacité d'infiltration du sol change probablement beaucoup d'un site à l'autre, d'un système à l'autre... Cette hypothèse sera testée et approfondie par A. Oumarou. Les estimations effectuées grâce à la régression issue de l'expérience de Zouana sont donc très approximatives (3.3.1). Les paramètres sont donc ajustés sur la base des connaissances du terrain que nous avons développé pendant le stage (pente, observations, entretiens .. etc)

4) Si la modification des paramètres en 1), 2) et 3) ne permet pas de rendre approximativement compte des données mesurées au champ, alors nous nous autorisons un ultime recours : Dans SARRABIL, le *coefficient d'évaporation* (l'équivalent d'un coefficient cultural du sol) est fixé à 0,7. Ce coefficient influence le bilan hydrique surtout en début de cycle (lorsque l'évaporation qui en résulte est supérieure à ETR). Nous postulons qu'en début de cycle, cette évaporation peut-être diminuée par le paillage des parcelles SCV. Nous nous autorisons à diminuer le coefficient d'évaporation pour le cotonnier et si le besoin d'en fait sentir.

3. ANALYSE DES RESULTATS

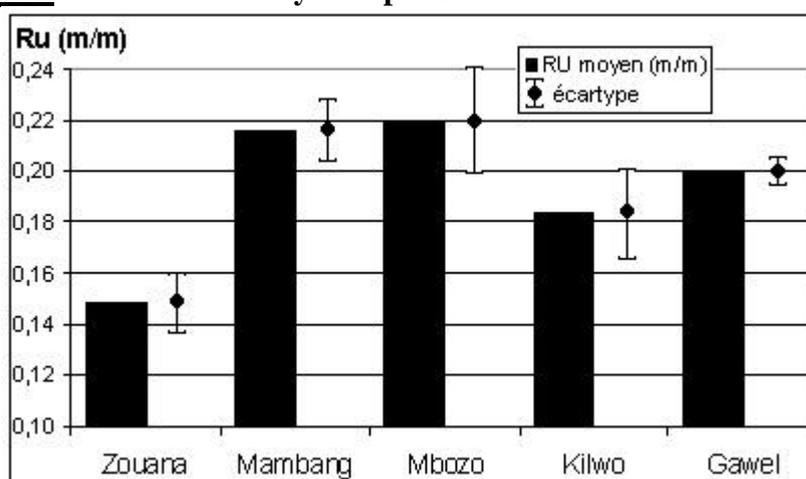
L'ensemble des résultats a été rassemblé à partir du 7 septembre 2004. Ainsi, les données que nous présentons sont bornées à cette date. Par exemple, lorsque nous parlons de la pluviométrie totale pendant le cycle, nous sous-entendons depuis le semis jusqu'au 7 septembre.

3.1 CONTEXTE DE L'ETUDE

3.1.1 Les sols

Dans le cadre de ce stage, nous nous intéressons plus particulièrement à la réserve utile. Le tableau 1 de l'annexe 8 présente la RU moyenne de chaque parcelle. Elle résulte de la moyenne des RU des 10 horizons de 10 cm sur 1m de profondeur. La figure 12 (= tableau 2 de l'annexe 8) récapitule ces données.

Figure 12 : Réserve utile moyenne par site.



Nous retrouvons dans les RU moyennes de chaque site leurs caractéristiques pédologiques : La texture du sol de Zouana est très gravillonnaire ce qui diminue sa réserve utile. Elle est de 0,15 m/m en moyenne. De plus, la profondeur racinaire est limitée par la carapace gravillonnaire, ce qui va entraîner une diminution accrue de la RU potentielle de la culture. Cette limitation est particulièrement importante pour les parcelles 18 et 20 car elles se trouvent en bas du glacis, où la carapace gravillonnaire affleure (voir tableau 3 de l'annexe 8). Ces deux parcelles sont pentues. Elles sont donc dans des conditions très défavorables. Le sol très sableux de Kilwo se ressent par une RU faible, à 0,18 m/m en moyenne. Les sols de Mbozo et Mambang ont la meilleure capacité de stockage à environ 0,22 m/m. Enfin Gawel se situe à un niveau intermédiaire à 0,20 m/m. **Nous explorons ainsi toute une gamme de conditions pédologiques :** les RU parcellaires vont de 0,126 pour la parcelle 18 à 0,244 m/m à Mbozo.

Nous avons testé l'homogénéité des couples grâce à un test de Student avec échantillons appariés sur les RU (tableau 13). La probabilité Pr est très largement supérieur à 5% pour les 2 cultures. Nous ne pouvons pas rejeter H0 et considérons que **les RU ne sont pas significativement différentes d'une parcelle à celle qui lui est appariée.**

Tableau 13 : Test de student sur les RU : Pr représente la probabilité pour que les deux populations «SCV » et « Témoin » soient identiques.

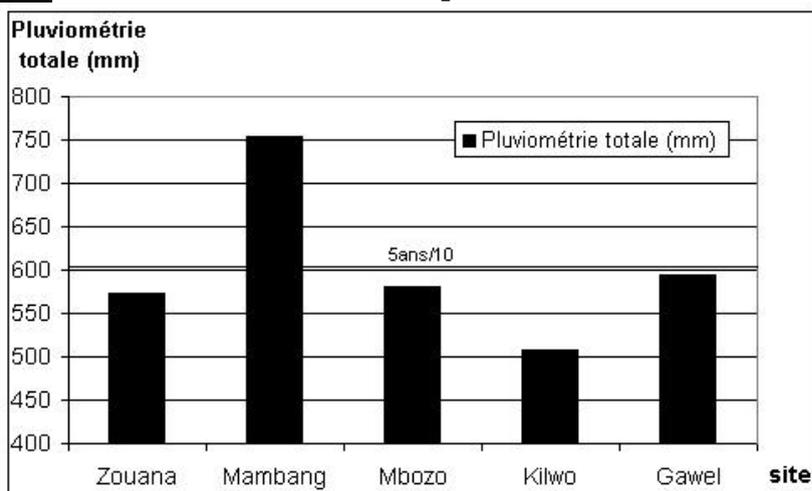
Cotonnier		
Sur tout l'échantillon n=13		
Moy. SCV	Moy. Témoin	Pr
0,178	0,182	0,319

Sorgho :		
Sur tout l'échantillon n=6		
Moy. SCV	Moy. Témoin	Pr
0,189	0,183	0,258

3.1.2 Climat et pluviométrie

La demande évaporative du climat ETref est calculée pour l'ensemble de la zone à partir des données météorologiques de la station de l'IRAD de Maroua. Nous ne disposons des données météorologiques de l'année 2004 qu'à partir du 10 juin. Pour la période du 20 avril au 9 juin, nous avons pris les seules données climatiques disponibles : celles de l'année 2000. Par contre, la pluviométrie a été mesurée sur chaque site. Les pluviométries totales sont présentées sur la figure 13. Trois groupes se distinguent : Il a plu beaucoup plus à Mambang que sur les autres sites. A Zouana, Mbozo et Gawel, il a quasiment plu 600 mm, soit ce qu'il a plu le 10 septembre 5 années sur 10. Enfin, il n'est tombé que 508 mm sur Kilwo.

Figure 13 : Pluviométrie totale sur chaque site



Nous allons analyser les séquences pluviométriques de chaque site. Nous analysons d'abord les données brutes pour identifier des périodes intéressantes. Nous les comparons ensuite à l'analyse fréquentielle pour savoir comment se situe la séquence pluviométrique par rapport aux autres années. L'annexe 9 présente les périodes de sécheresses des différents sites. Nous voyons que la pluviométrie diffère nettement d'un site à l'autre. Elle est mieux répartie sur le site de Zouana que sur les autres. Etant par ailleurs plus abondante sur Mambang, les périodes de sécheresse sont donc moins nombreuses et moins longues sur ces deux sites. A l'opposé, les sites de Kilwo et de Gawel sont marqués par 2 périodes sèches assez longues en juin et surtout en juillet, alors que les cultures sont en plein développement. Cette dernière période se retrouve également à Mbozo. Ce site est surtout marqué par un mois de juin sec. Le tableau 14 résume la comparaison des données pluviométriques décadaires de chaque site avec les résultats de l'analyse fréquentielle présentés dans la section 1.1.1. La couleur permet de situer la décade par rapport aux différentes fréquences calculées.

Tableau 14 : Comparaison de la pluviométrie avec l'analyse fréquentielle (voir figure 1).

Mois	Av				Mai				Juin				Juillet				Août				Sept			
Décade	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	11	11	11	11	12	13	14	14	14	14	14			
Zouana	B		B	B	B	B	B	B	B	B														
Mambang	/	/	/	B		B	B		B	B	B	B	B	B										
Mbozo	B	B	B	B		B	B						B											
Kilwo	2	B	B	B	B									B				B	B	B	B			
Gawel	/	B	B	B	B	B	B								B									

Légende

- <8ans/11
- <5ans/11
- > 5ans/11
- >2ans/11

Les périodes de sécheresse de juillet correspondent à des décades à faibles apports qui sont observées moins de 2 ans sur 10. Par contre, nous voyons que le site de Mbozo et surtout

celui de Zouana souffrent d'un déficit pluviométrique au mois d'août. Inversement, les périodes d'abondance du mois de juin correspondent à des décades au dessus de la médiane. Durant ce mois, malgré les périodes sèches identifiées précédemment, la pluviométrie est globalement au niveau de la fréquence 5/10.

Le tableau 15 permet d'avoir une idée de la violence des pluies. Rappelons que Zouana est dans la zone de Kaele, et que les autres sites sont autour de Maroua. Le nombre de pluies violentes est légèrement en dessous des moyennes habituellement observées. Cela semble normal étant donné que la saison des pluies n'est pas tout à fait terminée. Nous pouvons cependant remarquer que beaucoup de pluies violentes sont tombées sur Mambang. Il en résulte sans doute un potentiel de ruissellement élevé.

Tableau 15 : Violence relatives des pluies. Comparaison avec les statistiques présentées dans la section 1.1.1. N()=Nombre de.

	N(pluie)	N(pluie > 20 mm)	N(pluie > 40 mm)	N(pluie > 60 mm)
Zouana	41	10	2	0
Rappel Kaele		14,2	5,7	0,2
Mambang	32	14	6	2
Mbozo	40	11	3	0
Kilwo	47	9	1	0
Gawel	39	11	2	1
Rappel Maroua		12,7	4,5	0,3

3.1.3 Les itinéraires techniques

Le tableau présentant toutes les opérations culturales est disponible en annexe 10. Nous voyons que **les itinéraires techniques des parcelles témoins sont très variés. Nous comparons les systèmes SCV à un ensemble disparate d'itinéraires conventionnels.** Cette variabilité se répercute inévitablement sur les bilans hydriques : Par exemple, le labour et le buttage vont énormément influencer sur la capacité d'infiltration du sol. Nous ne tiendront pas compte de cette variabilité. Il faut donc garder à l'esprit que **cette étude ne permet pas d'affirmer que tel système est plus efficace que tel autre. Nous testons plutôt l'hypothèse qu'à l'échelle des 3 zones, les systèmes SCV sont plus performants en terme de valorisation de l'eau que les systèmes conventionnels pris dans leurs globalité, sans faire de cas par cas..** Il manque les informations relatives aux itinéraires techniques des 2 parcelles de sorgho de Gawel, c'est à dire le couple 3003. Il y figure les différents aspects des opérations culturales ainsi que plusieurs notes. Ces notes ont été délivrées par Mr Oumarou Balarabé pour rendre compte de la qualité du travail fourni par l'agriculteur. La note maximum est 3 et la minimum est 0.

A partir de ce tableau, nous allons tout d'abord nous interroger sur la représentativité de notre échantillon de parcelles paysannes. Pour cela nous allons comparer les itinéraires techniques des parcelles témoins avec les statistiques que nous avons exposées dans la section 1.2.2 pour les 3 zones, et pour chaque culture. Le tableau 16 présente les grandes tendances des itinéraires techniques des parcelles témoins comparées aux tendances locales. Nous manquons d'informations statistiques concernant la culture de sorgho. L'échantillon représente néanmoins assez fidèlement les tendances locales. **Les parcelles de cotonnier témoins représentent tout aussi bien les tendances des zones :** Nous remarquons cependant que toutes les parcelles ont été traitées à l'herbicide alors que moins de la moitié le sont dans le contexte local.

Nous pouvons apprécier le degré de maîtrise technique de l'agriculteur grâce au système de notation de Mr Balarabé et au taux de couverture du paillis sur le cotonnier. Sur le tableau 17, nous avons attribué une couleur à ces 2 variables selon leurs valeurs. Par la suite, nous distinguerons les parcelles techniquement bien maîtrisées pour le cotonnier afin d'appréhender l'impact de la maîtrise technique sur les effets des systèmes SCV.

Tableau 16 : Comparaison des itinéraires techniques des parcelles témoins (en %age du nombre de parcelles) avec les tendances de la zone (en %age des surfaces de cotonnier).
Les moyennes des 3 zones Maroua-Nord, Maroua-Sud et Kaele sont dans la colonne « zone ».

Travaux du sol		Cotonnier		Sorgho	
		parcelles	Zone	parcelles	Zone
Semis direct		12,5%	34%	100%	70%
Labour		87,5%	65%	11%	30%
Nbre sarclages		2,67	3	2,83	?
%age Sarc. Méca		40,9%	42%	17,6%	?
%age buttage		62,5%	78%	50%	?

Intrants		Cotonnier		Sorgho	
		parcelles	Zone	parcelles	Zone
Herbicides	%age parcelles traitées	100%	43%	0%	?
	Nbre produits	1,73	1,41	0	?
Engrais	Qté NPK	102,8	129,6	0	0
	Qté urée	0	0	41	souvent 50

Tableau 17 : Paillage et maîtrise technique de chaque parcelle.

Seules les parcelles de cotonnier SCV sont paillées. Les parcelles en cotonnier techniquement bien maîtrisées et bien paillées sont celles de Zouana, Mambang et Mbozo.

COTONNIER

Site	Parcelle	paillage	Note gl.
Zouana	1 SCV		B
Zouana	3b T	/	B
Zouana	4b T	/	B
Zouana	5 SCV	B	B
Zouana	11 SCV	B	B
Zouana	18 SCV	B	B
Zouana	20 SCV	B	B
Mambang	3104 T	/	B
Mambang	3104 SCV	B	B
Mbozo	3106 T	/	B
Mbozo	3106 SCV	B	B
Kilwo	2702 T	/	
Kilwo	2702 SCV	B	
Kilwo	2706 T	/	
Kilwo	2706 SCV	B	
Gawel	3002a T	/	
Gawel	3002a SCV	B	
Gawel	3002b T	/	
Gawel	3002b SCV	B	
Gawel	3004a T	/	
Gawel	3004a SCV		
Gawel	3004b T	/	
Gawel	3004b SCV		

SORGHO

Site	Parcelle	paillage	Note gl.
Zouana	2 SCV		B
Zouana	3a T	/	B
Zouana	4a T	/	B
Zouana	14 SCV		B
Mambang	3103 T	/	B
Mambang	3103 SCV		B
Mbozo	3105 T	/	B
Mbozo	3105 SCV		B
Kilwo	2701 T	/	
Kilwo	2701 SCV		
Gawel	3003 T	/	
Gawel	3003 SCV		

Légende:

Paillage : Taux de couv.		note
> 50%	B	>2,5
25%-50%		2-2,5
<25%		<2

Bien sûr, les parcelles de Zouana ont toujours la note maximale. C'est également le cas des parcelles de Mambang. Avec celles de Mbozo, elles forment l'ensemble des parcelles de cotonnier bien maîtrisées. A l'autre opposé, nous distinguons les couples 2706, 3004a et 3004b. Ces parcelles cumulent des problèmes au semis et une mauvaise maîtrise de l'enherbement. L'indice foliaire des adventices a été estimé pour chaque parcelle. Les résultats sont présentés sur le tableau 4 de l'annexe 9. De plus, les parcelles de Gawel ont été mal amendées. Ces déficiences vont se faire ressentir dans la production. Enfin, les autres parcelles se situent à un niveau intermédiaire avec des notes souvent de 2 ou 3. Pour le sorgho, nous observons la même dichotomie : Aux parcelles maîtrisées de Zouana, Mambang et Mbozo s'opposent celles de Kilwo et Gawel : Celles de Kilwo ont des problèmes d'enherbement et n'ont été semées en brachiaria que très partiellement, celles de Gawel ont un très gros problème d'enherbement.

Le taux de couverture du sol est un paramètre primordial de la culture paillée. Il va définir son efficacité potentielle. Rappelons que seules les parcelles SCV de cotonnier sont paillées par l'exploitant. Ainsi, le taux de couverture initial moyen du cotonnier SCV est de 49,7% contre 12,5% pour le sorgho SCV. Pour le cotonnier, les paillages les plus couvrants sont ceux de Mambang et de Mbozo. A l'opposé nous trouvons les parcelles du groupe 3004. Nous trouvons entre ces deux niveaux de paillage toutes les nuances. Rappelons que la nature du paillage est différente d'une parcelle à l'autre.

Les travaux du sols sont nombreux pour les parcelles témoins ce qui accentue peut-être les effets des systèmes SCV. D'autres facteurs peuvent également induire une différence entre les parcelles SCV et les parcelles témoins : Le tableau 18 expose les moyennes des principales opérations pour les parcelles SCV et les parcelles témoins, milieu paysan et milieu contrôlé confondus.

Tableaux 18 : Valeurs moyennes des autres facteurs de divergence entre les parcelles SCV et les parcelles témoins. Les valeurs des facteurs présentant des différences importantes sont signalées en caractère gras.

	COTON		SORGHO	
	SCV	T	SCV	T
Date de semis	7-juin	8-juin	29-mai	29-mai
Date resemis	15-juin	17-juin	6-juin	6-juin
note semis	2,23	2	3,00	3
Date Tr H.	2-juin	31-mai	1-juin	1-juin
Tr H : nbre de produits	1,85	1,8	0,80	0,8
Note levée	2,46	2,5	2,8	2,8
Date démariage	23-juin	23-juin	1-juil	1-juil
note démariage	2,25	2,25	2,8	2,8
Nbre sarclages	1,85	2,4	2,0	2,6
Date sarclage 1	27-juin	29-juin	28-juin	25-juin
Date sarclage 2	24-juil	25-juil	29-juil	20-juil
Date sarclage 3	18-août	16-août	10-août	5-août
note maîtrise enherbement	2,15	1,9	2,4	2,4
Qté NPK (kg/ha)	141,69	120	13,20	13,2
Qté urée (kg/ha)	25,62	3,32	39,00	37,2
note intrant	2,31	2,1	2,80	2,8

Plusieurs aspects des itinéraires techniques varient sensiblement entre les parcelles témoins et les parcelles SCV. Ces aspects sont mentionnés en caractère gras. Premièrement, le nombre de sarclages est plus élevé pour les parcelles témoins. Cela ne se traduit pas par une meilleure note de maîtrise de l'enherbement, nous ne retiendrons donc pas cette différence. Deuxièmement, les parcelles paysannes en cotonnier SCV ont été mieux fournies en engrais : La différence des moyennes est supérieure à 20kg/ha en NPK et en urée. Ces apports

supplémentaires ont pour objectif de compenser le manque d'azote résultant de la minéralisation des pailles pauvres en azote. Ce facteur va certainement avoir un impact sur la croissance des cotonniers. On ne pourra pas le différencier des effets du bilan hydrique sur les rendements.

P En dégagant les traits caractéristiques des parcelles étudiées, (récapitulés dans le tableau 19), nous constatons que nous explorons une grande variabilité de conditions pédologiques, pluviométriques et techniques. Cette dernière représente bien les tendances locales. Pour le cotonnier, nous distinguons le lot des parcelles techniquement bien maîtrisées et bien paillées.

Tableau 19 : Bilan du contexte de l'étude par site.

	RU	Pluviométrie totale	période sèche	Note	Paillage
Zouana			août	B	B
Mambang	B	B	début juillet	B	B
Mbozo	B		juin	B	B
Kilwo			juillet		B
Gawel			juillet		

	RU (m/m)	Pluvio (mm)	Note	Paillage (%age)	
Contexte favorable	B	>0,2	>650	>2,5	>50%
Niveau intermédiaire		0,15-0,2	550-650	2-2,5	25-50
Contexte défavorable		<0,15	<550	<2	<25

-Mambang est le site représentant les conditions techniques optimales dans le contexte pédo-climatique le plus favorable : Conditions techniques optimales car les itinéraires techniques sont parfaitement maîtrisés et le paillage est très important. Contexte physique favorable car le sol est riche et a une grande capacité de stockage. La pluviométrie est abondante : aucune période de sécheresse importante ne se distingue.

-Mbozo représente des conditions techniques optimales dans un contexte moins favorable. Les parcelles ressemblent beaucoup à celles de Mambang, mais les RU sont légèrement plus faibles et la pluviométrie est moins abondante ce qui se traduit par longue période moins pluvieuse en juin et un déficit en août par rapport aux fréquences médianes.

- Zouana représente d'excellentes conditions techniques dans un contexte peu favorable : Le site est d'abord caractérisé par sa faible RU et par une limitation de la profondeur du sol. Le climat est marqué par un déficit au mois d'août, même si les pluies sont bien réparties. Les parcelles 18 et 20 sont dans des contextes physiques extrêmement défavorables.

-Les sites de Gawel et Kilwo se ressemblent : Le degré de maîtrise technique et le taux de couverture y sont variés : Pour le cotonnier, aux couples 2702, 3002a et 3002b techniquement biens conduits s'opposent les couples 2706, 3004a et 3004b. Le contexte physique est marqué par capacité de stockage moyenne et la pluviométrie moyennes ou faible. Ainsi, une période d'intense sécheresse sévit en juillet.

3.2 LES COMPOSANTES DU RENDEMENT

Rappelons les variables grains/m² et BFC/m² sont considérées comme des rendements potentiels, ou « rendements ». Les degrés de maturation des grains de sorgho sont très disparates. Malgré la séparation des grains verts et des grains jaunes, cette disparité induit une marge d'erreur assez importante sur cette composante. Rappelons aussi que nous sous-estimons le nombre de BFC en cotonnier SCV.

Nous analysons les composantes de manière chronologique. Cette démarche a 2 objectifs : **1) analyser le poids de chaque composante dans l'explication du rendement et 2) étudier l'impact des systèmes SCV** sur celle-ci. Ces 2 aspects sont traités successivement pour chaque culture. Nous étudions le poids de chaque composante grâce à une appréciation graphique. Le

deuxième objectif est atteint grâce à une analyse statistique : Nous effectuons un test de Student bilatéral avec échantillon apparié afin de connaître la probabilité «Pr » que l'hypothèse H0 (identité des 2 populations) soit vraie. Remarquons dès à présent qu'en cotonnier témoin les moyennes considérées pour les tests de Student diffèrent des moyennes «normales » : cela résulte de la construction des couples à Zouana dans lesquels la parcelle 4b intervient plusieurs fois. Nous interprétons les résultats des tests de la manière suivante :

1) Si $Pr < 0,05$, nous rejetons H0 et pouvons conclure que les deux types de systèmes se comportent *significativement* différemment. Nous pouvons alors les étudier l'un relativement à l'autre.

2) Les échantillons sont restreints ($n=13$ pour le cotonnier et $n=6$ avec n : nombre de paires), nous sommes donc amenés à considérer des probabilités plus élevées : si $0,05 < Pr < 0,20$, nous estimons que cette probabilité assez faible légitime l'hypothèse que les deux types de systèmes se comportent différemment. Cette hypothèse serait alors à tester sur un échantillon plus important pour être confirmée ou non.

3) Si $Pr > 0,20$, nous ne rejetons pas H0 et ne pouvons rien conclure sur les comportements des 2 types de systèmes.

Pour le cotonnier, nous effectuons également cette même analyse sur les parcelles techniquement bien maîtrisées et bien paillées (Zouana, Mambang et Mbozo) afin d'affiner nos conclusions sur l'effet du paillage en conditions optimales. Pour cette analyse, la probabilité que H0 soit vraie est nommée «Pr_m ».

Les différences D des moyennes «normales » des 2 types de systèmes sont annoncées en pourcentages par rapport au témoin (soit $D=100*(SCV-T)/T$). Nous parlons alors de gain ou de perte des systèmes SCV par rapport aux systèmes conventionnels.

3.2.1 Le cotonnier : Une augmentation en conditions optimales

- Le rendement potentiel moyen est de 60,06 BFC/m². Nous nous interrogeons tout d'abord sur le poids de chaque composante dans l'explication du rendement. Nous choisissons d'étudier 3 composantes a priori non-corrélées entre elles : pieds/m², BM/pied et BFC/BM (tableau 20). Le tableau des données brutes des composantes du rendement pour chaque parcelle est disponible en annexe 11.

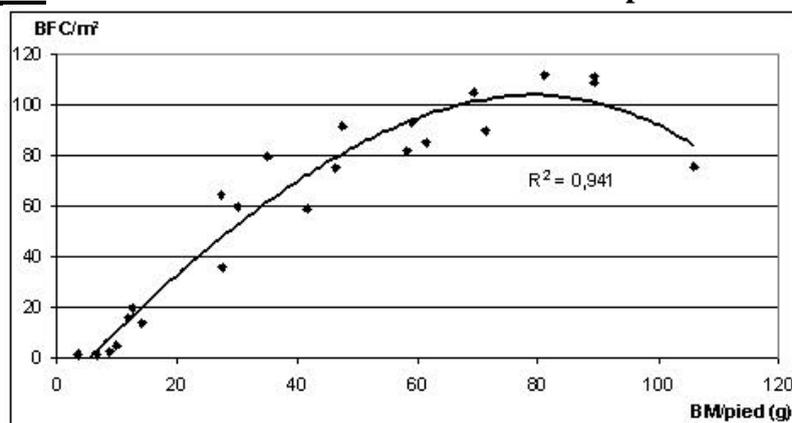
Tableau 20 : Composantes du rendement du cotonnier étudiées.

pieds/m² : densité	⇒ étude de la mise en place du peuplement végétal
BM/pied : biomasse/pied	⇒ bilan phase végétative
BFC/BM : nombre de BFC par gramme de BM	⇒ efficacité de conversion de la MS accumulée en BFC

Afin d'évaluer ce poids, nous établissons des graphiques rendement = f(composante) et pouvons effectuer des régressions. Nous considérons que plus le coefficient de détermination R² est proche de 1, plus la composante explique le rendement final. Les figures sont disponibles sur l'annexe 12. **La BM/pied explique en grande partie les rendements observés** (figure 14)

La densité n'explique pas les rendements car le début de campagne a été assez pluvieux et n'a pas généré de problèmes de levé. La dernière composante du rendement BFC/BM est encore en cours d'élaboration au moment de la mesure. Une vérification de nos résultats en fin de campagne serait utile pour apprécier le poids de cette composante.

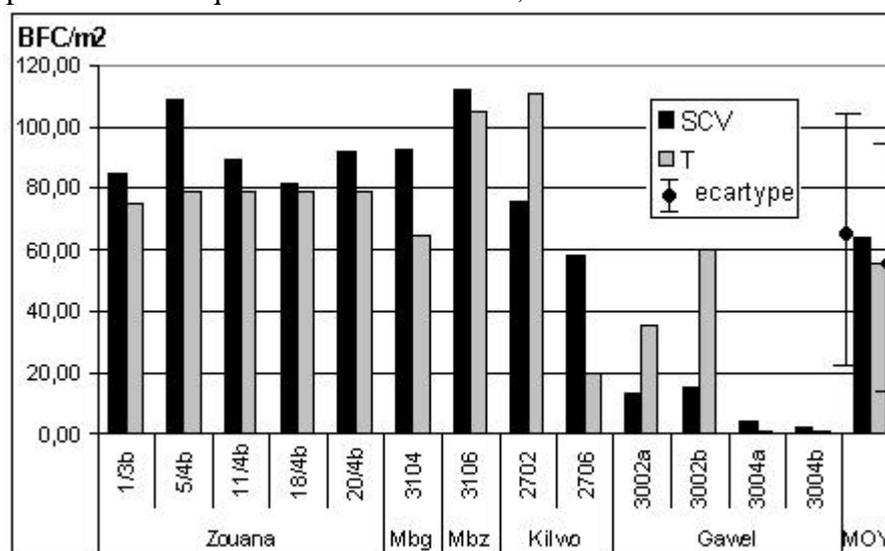
Figure 14 : Rendements en coton en fonction de BM/pied.



• Nous nous interrogeons maintenant sur l'impact des systèmes SCV sur les rendements. Les rendements de chaque parcelle sont figurés sur la figure 15.

Figure 15 : Comparaison de rendements du cotonnier par couple de parcelles.

Sur les parcelles techniquement bien maîtrisées, les rendements SCV sont toujours supérieurs



Nous constatons que les meilleurs rendements sont ceux des parcelles de Zouana, Mbozo et Mambang. Ceux de Kilwo sont plus dispersés. Enfin les rendements de Gawel sont assez bas. Ces résultats sont la conséquence logique des conditions de productions que nous avons commentées dans la section 3.1 : Les parcelles bénéficiant de conditions techniques satisfaisantes ont un rendement supérieur à 60 BFC/m², tandis que les moins bien maîtrisées (2702, 2706, 3004a et 3004b) sont souvent en dessous. Le rendement SCV moyen est de 63,9 BFC/m², contre 55,1 BFC/m² en témoin, soit un **gain moyen D=16%**. Nous ne pouvons cependant rien conclure sur l'effet du système SCV (Pr=0,64). Par contre Pr_m=0,01, **les systèmes SCV se distinguent très nettement sur les parcelles bien maîtrisées.**

• Il nous faut maintenant comprendre de quelle manière le système SCV améliore les rendements (annexe 12).

- La *densité* moyenne de pieds des parcelles SCV est de 8,26 pieds/m², contre 7,67 pieds/m² en témoin, soit un gain D=8%. Rappelons que les densités de semis sont identiques (c'est aussi le cas pour le sorgho). Nous pouvons émettre l'hypothèse que les systèmes SCV ont un impact positif sur cette composante (Pr=0,17), d'autant que sur les parcelles bien maîtrisées, cet effet est significativement à l'avantage des systèmes SCV (Pr_m=0,04).

- La *BM/pied* moyenne des parcelles SCV est de 50,8 g contre 34,8 g pour les témoins. Cela représente un gain moyen $D=46\%$. Cet effet positif des systèmes SCV est significatif ($Pr=0,013$), et d'autant plus pour les parcelles techniquement bien maîtrisées ($Pr_m=0,004$).

- *BFC/BM* : En SCV, les pieds ont produit en moyenne 0,14 BFC par gramme de BM, contre 0,18 sur les témoins, soit une perte $D=-24\%$. Le test de Student détecte une différence significative ($Pr=0,003$) qui ne semble pas dépendre du niveau de maîtrise technique ($Pr_m=0,004$). Etant donné que la campagne n'est pas terminée au moment de la collecte des données, nous concluons sur cette composante par une interrogation : Cette différence reste-elle significative à la fin de la campagne malgré le phénomène de rattrapage évoqué dans la section 2.2.3.1 ? Si telle est le cas, est-il possible de déterminer la cause de cette déficience du système SCV ?

Tableau 21 : Bilan des tests de Student pour l'analyse des rendements en cotonnier.

COTONNIER : tout l'échantillon (n=13)

Interprétation du test :

Variable testée	Moy. SCV	Moy. Témoin	D	Pr	
Rendements	63,9	60,6	16%	0,640	⇒ /
Pieds/m ²	8,26 a	7,86 b	8%	0,167	⇒ hypothèse SCV > T
BM/pied (g)	50,8 A	34,9 B	46%	0,013	⇒ SCV > T
BFC/BM	0,14 B	0,20 A	-24%	0,003	⇒ T > SCV

COTONNIER : parcelles maîtrisées (n=7)

Variable testée	Moy. SCV	Moy. Témoin	D	Pr _m	
Rendements	94,4 A	80,1 B	23%	0,011	⇒ SCV > T
Pieds/m ²	9,04 A	8,24 B	14%	0,039	⇒ SCV > T
BM/pied (g)	66,8 A	40,4 B	65%	0,004	⇒ SCV > T
BFC/BM	0,16 B	0,25 A	-36%	0,004	⇒ T > SCV

A : $Pr < 0,05$ ⇒ différence significative

a : $0,05 < Pr < 0,20$ ⇒ différence hypothétique

P Nous retiendrons que les systèmes SCV sont significativement plus productifs sur les parcelles techniquement bien maîtrisées. Nous constatons sur le tableau 21 que les effets sont plus marqués sur ces dernières.

La principale composante du rendement qui explique les rendements potentiels en cotonnier ainsi que la supériorité des systèmes SCV est biomasse/pied. Nous avons également émis l'hypothèse que la levée est meilleure en système SCV, hypothèse vérifiée sur les parcelles maîtrisées. Si cette composante n'a pas de poids dans le rendement potentiel cette année, il n'en a pas toujours été ainsi les années précédentes. Cette amélioration pourrait être déterminante. La dernière composante est significativement dépréciée en SCV. Nous avons alors posé la question du maintien de cette dépréciation. Cette question trouvera une réponse à la fin de la campagne.

- Nous allons nous pencher dans ce paragraphe sur les différentes modalités de cotonnier SCV. Nous analysons les systèmes avec crotalaire et dolique par rapport au système avec brachiaria grâce aux couples formés (tableau 8). Le tableau 22 présente les composantes du rendement moyennes pour chaque type de couple. Dans la colonne «Diff » figure la différence entre les moyennes de la modalité SCV (« m ») et de celle avec brachiaria (« bra »), soit $Diff=(m-bra)/bra$. La dernière ligne rappelle les probabilités Pr des tests de Student..

Tableau 22 : Composantes du rendement pour chaque modalité du cotonnier SCV.

Diff indique la différence de comportement de la modalité SCV étudiée vis à vis de la modalité avec brachiaria.

Couple	Système	Nbre de parcelle	pieds/m ²	Diff*	BM/pied (g)	Diff*	BFC/grBM	Diff*	B.F.C/m ²	Diff*
Brachiaria/Crotalaire	Brachiaria	3	7,70		52,54		0,13		64,98	
	Crotalaire	3	7,29	-5%	42,53	-19%	0,14	13%	61,08	-6%
Brachiaria/Dolique	Brachiaria	2	8,96		51,78		0,12		61,02	
	Dolique	2	9,38	5%	36,60	-29%	0,14	20%	50,30	-18%
Rappel : Pr			0,167		0,013		0,003		0,64	

*Différence par rapport à l'autre modalité.

Nous étudions de très petites populations. L'interprétation des données ne peut donc donner au mieux que des tendances nous permettant de formuler les hypothèses suivantes : Le système SCV avec brachiaria produit globalement plus que les autres systèmes SCV. Cette différence s'explique surtout par rapport au système avec dolique et par la composante BM/pied. Par ailleurs, les parcelles avec dolique lèvent mieux que celles avec brachiaria. Enfin, il semble que la conversion de la BM en BFC soit plus efficace ou plus avancée en système avec dolique et crotalaire. Bien sûr, ces hypothèses doivent être testées sur une plus grande échelle pour être confirmées ou infirmées.

P Le système SCV le plus productif semble être celui avec brachiaria. Cette différence s'exprime surtout vis à vis du système SCV avec dolique.

Nous allons maintenant examiner la production de sorgho afin de vérifier que les rendements et leurs composantes se maintiennent d'un type de système à l'autre.

3.2.2 Le sorgho : une stabilisation de la production

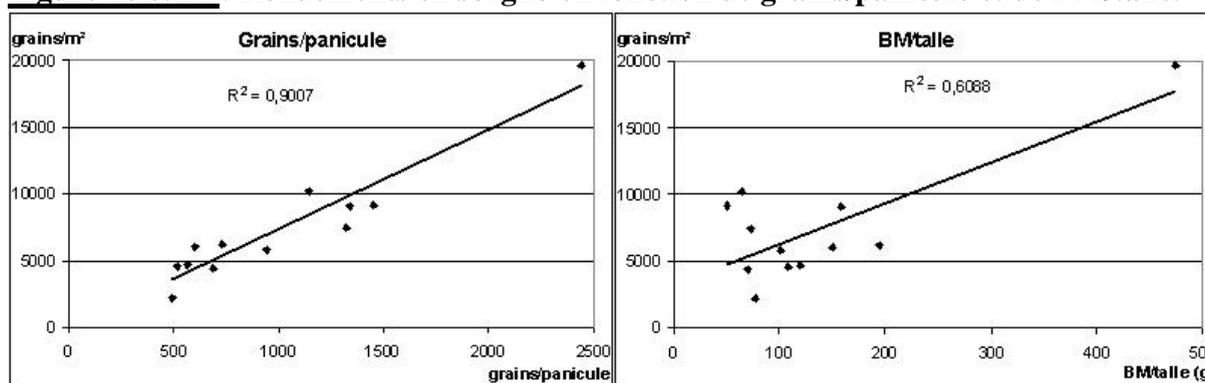
- Nous allons analyser les rendements des parcelles en sorgho en reproduisant la même démarche que pour l'étude des rendements du cotonnier. Le rendement moyen est de 7435 grains/m². Les composantes étudiées répertoriées sur le tableau 23. Certaines sont peut-être corrélées, comme la BM/talle et panicule/talle. Le tableau des données brutes des composantes du rendement pour chaque parcelle est disponible en annexe 11.

Tableau 23 : Composantes du rendement du sorgho étudiées.

poquets/m ²	: densité	⇒ mise en place du peuplement
talle/poquet	: tallage	} ⇒ phase végétative
BM/talle	: biomasse par talle	
panicule/talle		} ⇒ phase reproductive
grains/panicule		

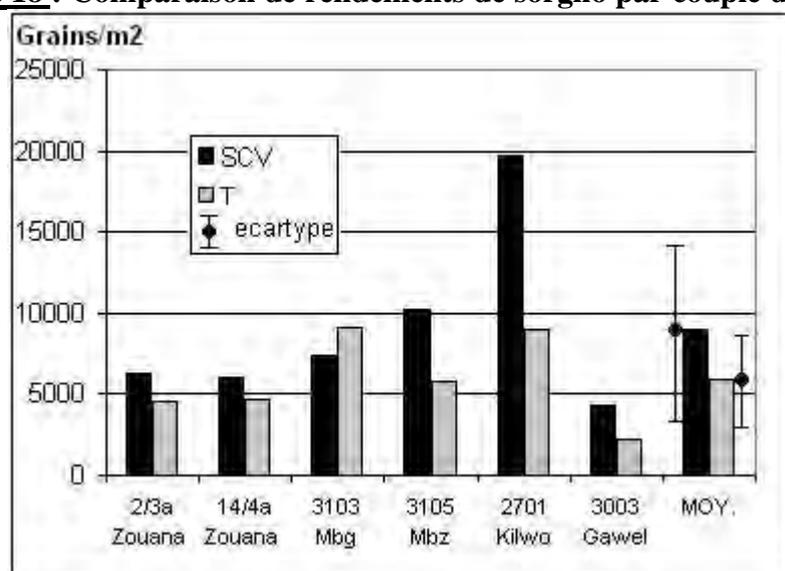
Les composantes qui expliquent le plus les rendements sont grains/panicule (R²=0,90), et BM/talle (R²=0,60) (figures 16 et 17). La densité de poquets/m² (R²=0,27) explique très peu le rendement, et nous ne décelons aucune corrélation avec les autres composantes (voir annexe 12).

Figure 16 et 17 : Rendements en sorgho en fonction de grains/panicule et de BM/talle.



• La figure 18 montre que les rendements sont supérieurs en SCV pour quasiment tout les couples de parcelles : Le rendement moyen est de 5887 grains/m² en témoin et de 8983 grains/m² en SCV, soit un gain D=52,6%.

Figure 18 : Comparaison de rendements de sorgho par couple de parcelle.



Le test de Student ne détecte pas de différence significative ($Pr=0,13$). Malgré la concurrence occasionnée par le brachiaria, **le sorgho SCV à produit autant que le sorgho témoin. Nous pouvons émettre l'hypothèse d'une amélioration de la production en SCV**, malgré la concurrence avec le brachiaria. Si elle se vérifie alors plusieurs suppositions pourraient être étudiées : 2 exemples : 1) Les effets du SCV au cours des années se sont cumulés de telle sorte que le milieu physique est devenu beaucoup plus favorable. Cette explication est d'autant plus crédible que les parcelles en SCV le sont depuis 2001 ou 2002. 2) Si la floraison du sorgho est plus précoce en SCV, les grains sont globalement plus lourds, ce qui nous conduit à surestimer le nombre de grains en SCV ou à sous-estimer celui du témoin.

Nous voyons que la parcelle SCV de Kilwo est beaucoup plus productive que les autres. Cela peut-être en partie du à l'une des 2 suppositions précédente ajouté au fait que la plante associée n'y a pratiquement pas été semée. Nous voyons que les parcelles de Gawel sont peu productives. Cela peut s'expliquer par un enherbement très important de la parcelle : Nous avons évalué l'indice foliaire du brachiaria et des mauvaises herbes de ces parcelles à 3 pour le témoin et 3,5 pour le SCV, alors que l'indice foliaire du sorgho est de 0,7 et 1 (l'annexe 10)

• Nous allons maintenant étudier l'impact du système SCV sur chaque composante (tableau 24).

- *Poquets/m²* : Aucune différence n'est détectée par le test de Student (Pr=0,26). Nous attachons tout de même de l'importance à cette composante car elle explique une petite partie des rendements et a souvent été meilleure en SCV les années précédentes.
- *Talles/poquet* : Le nombre moyen de talles par poquet est de 3,30 en SCV contre 2,90 en témoin, soit un gain de 13%. Pr=0,10, nous émettons donc l'hypothèse que cette composante est plus élevée en SCV.
- *BM/talle* : Le test de Student ne nous permet pas de conclure sur l'existence d'un impact du système SCV (Pr=0,24) malgré un gain D=67%, ce qui témoigne d'une variance importante du gain.
- *Panicule/talle* : Le système SCV ne modifie pas cette composante puisque Pr=0,98.
- *Grains/panicule* : La moyenne de cette composante en SCV est de 1155 grains par panicule et celle des parcelles témoins est de 885, soit un gain de 30%. Nous posons l'hypothèse que cette composante est supérieure en SCV (Pr=0,18).

Tableau 24: Bilan des tests de Student pour l'analyse des rendements en sorgho.

n=6

Interprétation du test :

Variable testée	Moy. SCV	Moy. Témoin	D	Pr	
Rendements	8983 a	5888 b	53%	0,13	⇒ hypothèse SCV > T
Poquets/m ²	2,55	2,48	3%	0,262	⇒ /
talles/poquet	3,30 a	2,90 b	14%	0,104	⇒ hypothèse SCV > T
BM/talle	171,3	102,5	67%	0,244	⇒ /
panicule/talle	0,95	0,95	0%	0,989	⇒ /
grains/panicule	1154 a	884 b	31%	0,184	⇒ hypothèse SCV > T

P Les composantes déterminant davantage le rendement sont grains/panicule et BM/talle. Aucune différence significative n'a été mise en évidence par les tests de Student. Par contre, 3 tests permettent de poser 3 hypothèses que nous rappelons : 1) grains/panicule, 2) talles/poquet et finalement 3) les rendements sont plus élevés en système SCV (tableau 24).

Cette hypothétique hausse des rendements serait donc surtout due à l'augmentation de grains/panicule.

Nous avons posé comme hypothèse initiale que les systèmes SCV ont un impact important sur le bilan hydrique. Impact sur le court terme grâce aux propriétés physiques du paillage, impact sur le long terme grâce à la restitution de M.O. Nous allons donc à présent tester cette hypothèse et analyser les modifications du bilan hydrique en étudiant tout d'abord l'offre en eau.

3.3 MODIFICATION DE L'OFFRE EN EAU PAR LES SYSTEMES SCV

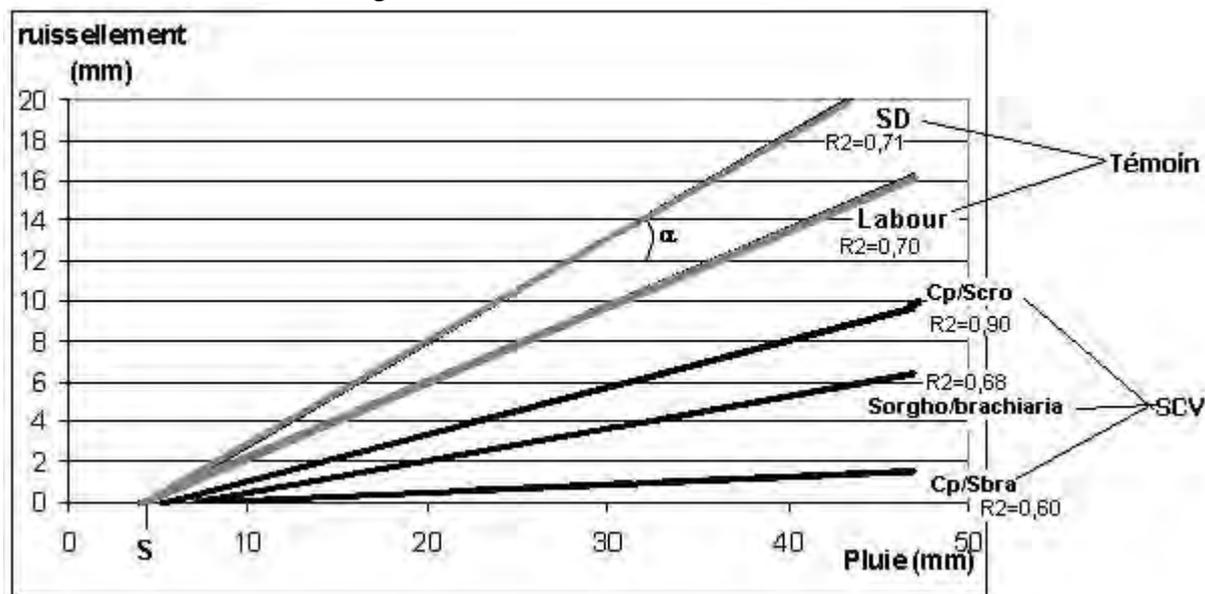
Cette partie est consacrée à l'étude des modifications de l'offre en eau induit par les systèmes SCV. Nous traitons du cotonnier et du sorgho en même temps. Nous analysons dans un premier temps les résultats des expériences de ruissellement. L'offre en début de cycle est ensuite évaluée grâce aux mesures de profondeur de front d'humectation. Celle de la phase de croissance du couvert et du début de la phase reproductive est évaluée avec les mesures d'humidité volumique par horizon.

3.3.1 Effet des systèmes SCV sur le ruissellement

Le premier déterminant de l'offre en eau est la quantité d'eau infiltrée. Elle dépend d'une part de la pluviométrie et d'autre part des phénomènes de ruissellement. Les résultats bruts de ces expériences sont présentés dans l'annexe 13. Nous les avons synthétisés dans la figure 19.

Figure 19 : Régressions linéaires donnant les seuils et les coefficients de ruissellement.

Nous avons figuré pour exemple le seuil **S** et le coefficient α pour la parcelle 3b en SD. R2 est le coefficient de détermination de la régression dont est issue la droite.



Rappelons que les notions de coefficients (α) et de seuil (S) de ruissellement sont une manière d’appréhender le phénomène de ruissellement qui dissimulent toute sa complexité. Cependant, elles sont assez simples et efficaces pour être utilisées dans le cadre de cette analyse. Globalement, les parcelles SCV ruissellent moins que les parcelles témoins. Nous voyons grâce au tableau 25 que sur le cotonnier, la meilleure infiltration des parcelles SCV s’explique à la fois par un seuil S supérieur de 40% et un coefficient α moindre de 70% par rapport aux parcelles témoins.

Tableau 25 : Seuils et coefficients de ruissellement pour chaque parcelle.

Le taux de couverture moyen résulte de la moyenne du taux du paillis initial et final.

	Parcelle	% couv moy	S	a
Coton témoins	P 3b : CTsd	0	6,16	0,58
	P 4b : Ctla	0	5,63	0,41
Coton SCV	P 5 : Cp/Sbra	47,5	9,40	0,05
	P 11 : Cp/Scro	20	7,16	0,25
Sorgho SCV	P 2 : Sbra	15	11,81	0,20

Cotonnier :	S	a
Témoin	5,90	0,50
SCV	8,28	0,15

Parmi les 2 parcelles de cotonnier SCV, celle qui est avec le brachiaria est beaucoup plus efficace que celle avec la crotalaire : La parcelle avec brachiaria a un seuil S plus élevé de 31% et un coefficient α plus faible de 82%. Cette différence s’explique par une couverture moins abondante et de moins bonne qualité sur la parcelle avec crotalaire. Les performances de cette dernière restent toutefois nettement supérieures à celles des parcelles témoins. Nous pouvons également comparer la parcelle de sorgho SCV aux parcelles de coton témoins. La parcelle de sorgho SCV est recouverte d’un léger paillage résiduel. Or, son seuil S est 2 fois plus élevé que celui des parcelles témoins et son coefficient α est 61% plus faible. Nous pensons que les résidus de paillage ne permet pas d’expliquer cette différence. Nous émettons l’hypothèse que les effets cumulatifs des systèmes SCV jouent un rôle important dans l’accroissement de l’infiltration observé.

P L’échantillon de parcelle étant réduit au minimum, nous nous contentons d’émettre des hypothèses. En plus de l’hypothèse A) déjà posée (1.5) et selon laquelle les parcelles cultivées en systèmes SCV bénéficient d’un ratio infiltration/ruissellement nettement plus élevé que les

parcelles cultivées en systèmes conventionnels, nous posons : A2) Pour le cotonnier, le bénéfice est plus important pour la modalité avec brachiaria. A3) Les effets cumulatifs des systèmes SCV évoqués dans la section 1.4.2 jouent un rôle important dans cette amélioration.

Nous avons utilisé cette expérimentation pour calculer les valeurs des paramètres S et α des autres parcelles avant le calage. Pour calculer ces valeurs «à priori », nous avons effectué une régression linéaire pour chacun des deux paramètres en fonction du taux de couverture du paillis moyen T. Les équations résultantes sont :

$$\alpha = -9,48^{E-3} * T + 0,45458 \quad (R2=0,80)$$

$$S = 6,86^{E-2} * T + 6,9028 \quad (R2=0,27)$$

Nous avons ensuite appliqué ces deux équations à toutes les parcelles. Nous allons maintenant analyser l'impact direct de cette meilleure infiltration en SCV sur l'offre en eau

3.3.2 L'offre en eau du début de campagne

La croissance des plantes est supérieure en SCV. Nous postulons donc que la demande en eau est au moins supérieure en SCV. Ainsi, si un indicateur de l'offre en eau indique une ressource hydrique plus abondante en système SCV, nous déduisons qu'elle ne peut pas provenir d'une moindre consommation. Elle ne peut alors provenir que d'une meilleure infiltration. Les analyses suivantes vont donc nous permettre de tester les hypothèses posées précédemment.

Nous nous intéressons tout d'abord au début de cycle. Nous allons déterminer les différences de l'offre en eau grâce aux données relatives à la profondeur du front d'humectation (PFH). Nous étudions à chaque fois l'effet du type de système (variable «systeme » dans les annexes). Pour le cotonnier, nous étudions également l'effet de la modalité du système SCV (variable «ITK »). L'analyse se déroule de la façon suivante :

1) Nous nous interrogeons tout d'abord sur la différence globale entre les deux types de système, tous sites et toutes dates confondus. Nous effectuons donc un test de Student bilatéral avec échantillon apparié. Ce test est exécuté non pas sur les répétitions mais sur leurs moyennes, afin de pouvoir appairer les données. Les échantillons étant assez importants (n=17 et n=32 pour le sorgho et le cotonnier), nous ne prenons en compte que 2 seuils pour l'interprétation : Pr>0,05 indique que le test n'est pas significatif, 0,01<Pr<0,05 indique que le test est significatif, et Pr<0,01 indique que le test est très significatif.

2) Nous nous interrogeons sur l'impact de la modalité du système SCV. Pour cette analyse, le test de Student n'est pas adapté (les échantillons sont répartis dans plus de 2 séries...). Nous analysons donc d'abord les variances des séries des 3 modalités de cotonnier SCV, avec les répétitions. Nous interprétons les probabilités Pr résultantes de cette analyse de la même manière que le test 1)²⁰. A chaque date et sur chaque parcelle, nous avons effectué 4 ou 5 répétitions. Nous désirons évaluer et supprimer la variance de ces répétitions afin qu'elle ne masque pas l'effet de la modalité sur PFH. Pour cela, nous incorporons l'effet répétition dans le modèle testé (variable «rep »). Si le test donne un résultat significatif, nous classons les modalités selon leurs performances grâce à un test de Duncan. Les résultats bruts de cette analyse sont présentés dans l'annexe 14.

Nous nous servons à nouveau de la différence des moyennes (D) pour commenter les résultats statistiques.

Nous ne pouvons pas effectuer les tests de normalité pour vérifier que les conditions requises pour l'analyse de variance sont remplies. Au vu des histogrammes de l'annexe 15, nous postulons que ces les distributions suivent une loi normale.

²⁰ Ces interprétations sont notifiées par : significatif : n.s
significatif : **
très significatif : *

3.3.2.1 Le cotonnier

Rappelons que les parcelles Cp/Snie ont été remplacées au cours de cette période par des parcelles Cp/Sdol. Nous considérons que les modifications des flux hydriques sont semblables pour ces deux modalités. Nous avons donc fusionné les deux séries de mesures dans la modalité « dolique ».

Il ressort de l'analyse 1) que PFH est très significativement supérieure en système SCV qu'en système conventionnel (tableau 26). Le gain est de 37%. Nous retrouvons ici la conséquence directe de la meilleure infiltration mise à jour avec les expériences de ruissellement. : L'hypothèse A) est vérifiée pour le début de campagne. Nous ne nous penchons donc pas sur les différents niveaux de maîtrise technique.

Tableau 26 : Cotonnier : Résultats de l'analyse 1) sur PFH (cm)

STUDENT bilatéral avec échantillons appariés.

n=32

moyenne SCV	moyenne. T	D	Pr
36,6 A	26,7 B	37%	2,10E-09

SCV>T

Interrogeons nous maintenant sur l'effet de la modalité du système SCV, soit la variable ITK. Le modèle testé dans l'analyse 2) est :
 $PFH = \text{moyenne}(PFH) + \text{effet}(\text{rep}) + \text{effet}(\text{ITK})$.

Tableau 27 : Cotonnier : Résultats de l'analyse 2) sur PFH

ANOVA et DUNCAN en SCV : analyse de l'effet répétition et de l'effet ITK

Modèle : $PFH = \text{moy}(PFH) + \text{effet}(\text{rep}) + \text{effet}(\text{ITK})$ (en cm)

n=145

Analyse de la variance							Duncan : moy. et groupe			
Pr(e)		Rsq	Cv	Pr(rep)		Pr(itk)		Brachiaria	Crotalaire	Dolique
0,005	*	0,1354	36,35	0,46	n.s.	0,002	*	38.9 A	29.3 B	31.7 B

Pr(e) : Probabilité que les populations comparées soient identiques.

Rsq : R-square

Cv : C.V. (%age)

Pr(rep) : Probabilité pour que les pop. de même répétition sont identiques

Pr(itk) : Probabilité pour que les pop. de même modalité sont identiques

Le test détecte une différence très significative ($Pr(e) = 0,5\%$, tableau 27 et annexe 14). Le R-Square est faible, ce qui témoigne d'une faible capacité du modèle à expliquer la variance observée. Le coefficient de variation est autour de 40%, la dispersion des données n'est pas excessive. La faible puissance du modèle s'explique par le fait que les mesures ont été prises sur des sites différents et à des dates différentes. Or, dans cette analyse les échantillons ne sont pas appariés et ont par conséquent une variance résiduelle très importante. Illustrons l'importance de cette variabilité par deux exemples : la moyenne de PFH des parcelles en milieu paysan est de 28,8 lors du premier passage. L'écartype est de 10,2, soit un coefficient de variation de 35%. Il illustre l'importance de la variabilité spatiale. La variabilité temporelle peut être appréciée par l'évolution de cette moyenne. Elle est de 32,2 lors du deuxième passage puis de 40,1 lors du troisième. Nous comprenons que ces deux sources de variabilité empêchent le modèle testé d'expliquer beaucoup de la variance.

Nous voyons que l'effet répétition n'est pas significatif ($Pr(rep)=46,2\%$). Les répétitions d'une même mesure sont donc dans l'ensemble homogènes. La variabilité expliquée provient presque exclusivement de l'effet de la modalité ($Pr(itk)=0,2\%$). Le test de Duncan montre la supériorité de la modalité avec brachiaria. Ce résultat vérifie l'hypothèse A2) de l'expérience de

ruissellement. Ce résultat positif montre également que la variabilité des conditions de mesures ne masque pas l'effet du système avec brachiaria, témoignant ainsi de sa puissance.

P Au final, nous constatons que les systèmes SCV ont un impact puissant sur l'offre en eau du début de cycle pour le cotonnier, et plus puissant encore pour le cotonnier sur précédent sorgho/brachiaria.

3.3.2.2 Le sorgho

Pour le sorgho, nous n'effectuons que l'analyse 1). En effet, il n'y a qu'une modalité en sorgho SCV : celle avec le brachiaria. L'analyse 2) est donc supprimée.

Le tableau 28 synthétise les résultats de l'analyse 1). Ceux-ci sont comparables à ceux de l'analyse pour le cotonnier : Les différences sont très significativement à l'avantage du système SCV, vérifiant l'hypothèse A) de l'expérience de ruissellement pour le début de campagne. Là encore, nous ne nous penchons pas sur les degrés de maîtrise technique.

Tableau 28 : Sorgho : Résultats de l'analyse 1 sur PFH (cm)

STUDENT bilatéral avec échantillons appariés

n=17

moyenne SCV	moyenne. T	D	Pr
33,2 A	24,0 B	38%	1,46E-04

P SCV>T

Le gain est de 38%. Il est le même que celui observé sur cotonnier. Le paillage étant en moyenne peu couvrant (12%), ce résultat appuie l'hypothèse A3) selon laquelle les effets cumulatifs du système SCV jouent un rôle important dans l'accroissement de l'infiltration. Il faudrait différencier complètement l'effet du paillage des effets cumulatifs pour pouvoir conclure.

P Les analyses 1) montrent des différences de comportement très significatives pour les 2 cultures en SCV. Notre conclusion est donc claire : le PFH, que nous avons supposé être un bon indicateur de l'offre en eau en début de cycle, est supérieure en SCV d'environ 37-38% (vérification de l'hypothèse A)). Si les analyses de variance reposent sur des postulats de normalité non démontrés et ne parviennent pas à expliquer beaucoup de la variabilité, elles permettent néanmoins, avec les tests de Duncan, de mettre à jour des différences significatives entre les modalités de cotonnier SCV : Le système de culture avec brachiaria est très significativement plus efficace que les 2 autres (vérification de l'hypothèse A2)). Au vu des résultats sur le ruissellement, nous concluons que cette amélioration est due à une meilleure infiltration. Enfin, nous avons soulevé la question des poids respectifs des effets du paillage et des effets cumulatifs, les résultats suggérant que ce dernier joue un rôle majeur (appuie l'hypothèse A3)).

Cette amélioration peut jouer un rôle important lorsque le début d'une campagne agricole est moins arrosé que celui de cette année.

3.3.3 La phase de croissance et le début de la floraison

Nous allons maintenant étudier l'offre en eau sur le reste du cycle grâce aux mesures d'humidité. Nous avons calculé pour chaque prélèvement d'humidité pondérale l'humidité volumique Hv grâce aux mesures de densité apparente. Cette donnée rend mieux compte de la quantité d'eau dans le sol, nos analyses portent donc sur cette dernière.

L'analyse 1) et 2) sont les mêmes celles de la section 3.3.2. Nous émettons à nouveau le postulat de normalité des distributions des populations. Nous voulons mesurer l'impact du type de système et de sa modalité sur chaque horizon. C'est l'objectif de l'analyse 3) effectuée grâce à des tests de Duncan. Les résultats bruts de l'analyse 2) et 3) sont disponibles dans les annexes 16 et 17.

3.3.3.1 Le cotonnier

Les données ont été collectées à partir du mois de juillet. Rappelons que les parcelles Cp/Snie ont toutes été remplacées par des parcelles Cp/Sdol.

Le tableau 29 présente les résultats de l'analyse 1). Le test montre que l'offre en eau est très significativement supérieure avec les systèmes SCV (vérification de l'hypothèse A) pour le reste du cycle). Ici encore, le gain est important puisqu'il est de 33%.

Tableau 29 : Cotonnier : Résultats de l'analyse 1 sur Hv

STUDENT bilatéral avec échantillon appariés

n=137

moyenne SCV	moyenne. T	D	Pr
0,20 A	0,15 B	33%	1,09E-19 D SCV>T

Comment se comportent les différentes modalités des systèmes SCV ? Les résultats de l'analyse 2) présentés dans le tableau 30 montrent que l'humidité du sol est supérieure en système SCV avec brachiaria (vérification de l'hypothèse A2) pour le reste du cycle).

Tableau 30 : Cotonnier : Résultats de l'analyse 2 sur Hv

ANOVA et DUNCAN générale : analyse l'effet ITK

Modèle : $Hv = \text{moy}(Hv) + \text{effet}(\text{ITK})$ \hat{P} $\text{Pr}(e)=\text{Pr}(itk)$

n=490

Analyse de la variance				Duncan		
Pr(e)		Rsq	Cv	Brachiaria	Dolique	Crotalaire
0,01%	*	0,0905	45,33	0.222 A	0.177 B	0.175 B

Le modèle testé explique une très faible part de la variabilité puisque le R-square est autour de 0,09. En effet, en plus de la variabilité déjà mentionnée dans la section 3.3.2, il faut ajouter celle induite par la profondeur de l'horizon mesuré.

L'analyse 3) est présentée sur le tableau 31. Les analyses de la variance montrent que ces différences se font surtout ressentir sur les horizons profonds.

Tableau 31 : Cotonnier : Résultats de l'analyse 3 sur Hv

ANOVA et DUNCAN Cotonnier & horizon : analyse de l'effet ITK.

Modèle : $Hv = \text{moy}(Hv) + \text{effet}(\text{ITK})$. \hat{P} $\text{Pr}(e)=\text{Pr}(itk)$.

Horizon	n	Analyse de la variance				Duncan				
		Pr(e)		Rsq	Cv	Brachiaria	Dolique	Crotalaire	la	sd
0 à 10	82	0,094	n.s.	0,1	43					
10 à 20	82	0,227	n.s.	0,07	32					
20 à 30	82	0,258	n.s.	0,07	31					
30 à 40	81	0,04	**	0,12	34	0.237 A	0.194 A	0.178 A	0.186 A	0.182 A
40 à 60	82	0,001	*	0,22	53	0.225 A	0.171 A	0.157 A	0.148 A	0.030 B
60 à 100	82	0,012	**	0,15	77	0.182 A	0.106 AB	0.103 AB	0.114 AB	0.025 B

Sur l'horizon 30-40 cm, la différence détectée ne se retrouve pas dans le test de Duncan malgré la moyenne de Hv du cotonnier SCV avec brachiaria nettement supérieure à celle des autres systèmes. Pour l'horizon 40-60 cm, le test de Duncan montre que Hv est significativement inférieur en cotonnier SD mais il ne distingue pas les autres systèmes. La moyenne du système SCV avec brachiaria est cependant supérieure à celle des autres. Le constat est similaire pour

l'horizon 60-100 cm : Le système SCV avec brachiaria se distingue de celui en SD. Sa moyenne reste la plus élevée.

Ce résultat est inattendu puisque les études antérieures mentionnées dans la section 1.1.4.3 ont montré que les systèmes SCV concentrent l'humidité sur les horizons de surface ce qui n'est manifestement pas le cas pour notre étude. Cela peut s'interpréter de la façon suivante : L'humidité s'est effectivement concentrée en surface attirant ainsi d'avantage les racines qui pénètrent moins en profondeur. Celles-ci consommeraient alors préférentiellement l'eau de surface équilibrant le bilan hydrique de ces horizons au même niveau que celui des systèmes conventionnels. Cela permettrait de comprendre pourquoi il n'y a aucune différence significative pour les 3 premiers horizons. La meilleure infiltration de l'eau en système SCV avec brachiaria a pu se faire ressentir jusque dans les horizons profonds qui sont peu explorés par les racines, expliquant ainsi nos résultats. Nous pourrions cependant penser que cette humidité en profondeur aurait pu davantage inciter les racines des parcelles en SCV à coloniser cette zone. L'interprétation de l'analyse 3) est délicate dans la mesure où nous ne connaissons pas la profondeur du système racinaire sur nos parcelles.

P *Quelle que soit l'interprétation que nous faisons de cette dernière analyse, nous pouvons conclure que l'offre en eau est globalement meilleure en cotonnier SCV. Cette supériorité est accentuée pour le système avec brachiaria. Nous vérifions confirmons donc les hypothèses A) et A2) issues des expériences de ruissellement. Cette meilleure infiltration se traduit notamment en profondeur.*

3.3.3.2 Le sorgho

Nous n'effectuons que l'analyse 1) : Il n'y a qu'une modalité de système SCV et les échantillons sont trop restreints pour effectuer des analyses de la variance pour chaque horizon.

Le résultat de l'analyse 1) est présenté sur le tableau 32. L'offre en eau est très significativement supérieure en système SCV (vérification de l'hypothèse A)).

Tableau 32 : Sorgho : Résultats de l'analyse 1 sur Hv

STUDENT bilatéral avec échantillon appariés

n=281

moyenne SCV	moyenne. T	D	Pr
0,2 A	0,15 B	33%	1,12E-09

P SCV>T

Le gain est de 33%, tout comme sur le cotonnier. Ce résultat conforte l'hypothèse A3) selon laquelle les effets cumulatifs du système SCV jouent un rôle primordial dans la capacité d'infiltration.

P *Au final, l'offre en eau est toujours supérieure en SCV qu'en témoin, quelle que soit la phase et quelle que soit la culture. La meilleure efficacité du système avec brachiaria a été mise en évidence sur le cotonnier. Nous avons vérifié les hypothèses A) et A2) et fortement conforté l'hypothèse A3). Si l'offre en eau est meilleure, nous avons vu que sa traduction en terme de consommation hydrique du couvert est complexe. L'étude de cette question est l'objet de la section suivante.*

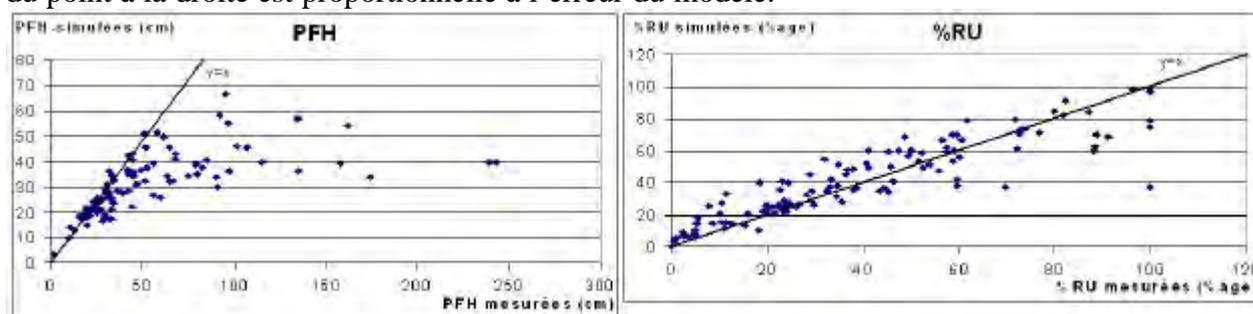
3.4 MODIFICATION DE LA CONSOMMATION EN EAU

Avant de nous pencher vers la consommation du couvert, nous allons analyser les performances du modèle de bilan hydrique après le calage.

3.4.1 Adéquation du modèle

Le calage a été assez délicat. Nous avons parfois été obligés de modifier considérablement les paramètres initiaux pour rendre raisonnablement compte des mesures. Les paramètres de ruissellement ont souvent été modifiés. Nous avons parfois été obligés de modifier le coefficient d'évaporation du sol (annexe 18). Rappelons qu'il est un paramètre invariant sur SARRABIL. Cette nécessité montre que le modèle n'est pas très robuste et ne rend compte que partiellement de la réalité. (annexe Adéquation modèle). Sur les figures 20 et 21, nous avons représenté en abscisse la valeur mesurée et en ordonnée celle qui a été simulée. La droite représente l'axe sur lequel devraient idéalement figurer tous les points.

Figure 20 et 21 : Adéquation du modèle avec les mesures de profondeur de front d'humectation (PFH) et de taux remplissage de la RU sur 1m (%RU). La distance verticale du point à la droite est proportionnelle à l'erreur du modèle.



Très souvent, PFH simulée est sous-estimée, ce qui peut être interprété comme l'indication d'une RU surestimée : Pour une RU plus faible, une même quantité d'eau infiltrée humecterait une plus importante profondeur. Nous avons vu que les formules employées pour estimer la RU induisent une surestimation de celle-ci. Une partie des difficultés de calage provient de cette surestimation de la RU. Rappelons que les %RU mesurés ont été calculés à partir des mesures de H_v , avec de mauvais paramètres, et qu'une bonne adéquation du modèle avec cette donnée ne signifie pas qu'il décrit correctement la réalité. Nous pouvons illustrer les conséquences de notre hypothèse grâce à la parcelle 3003 SCV : En divisant la réserve utile par 1,8 et en recalculant %RU, nous avons calé le modèle sur cette parcelle. L'adéquation du modèle aux données est bien meilleure avec ce nouveau paramètre (annexe 19).

P Au final, l'adéquation de notre modèle à la réalité est faible. Nous considérons donc qu'il ne permet pas de quantifier les flux hydriques. Il faudrait prendre en compte des valeurs de la RU plus réalistes pour que la simulation puisse prétendre décrire le bilan hydrique réel. Néanmoins, nous proposons d'utiliser le modèle afin de montrer le type de résultats que permet une réduction du ruissellement. Il s'agit avant tout d'illustrer les modifications que peut entraîner le paillage.

3.4.2 La consommation du couvert

Nous avons montré que l'offre est significativement supérieure en système SCV pour les deux cultures et pour les deux phases étudiées. Les résultats bruts de ces simulations sont disponibles dans l'annexe 20.

3.4.2.1 Le cotonnier

Nous allons à nouveau nous servir des tests de Student avec échantillons appariés pour analyser les résultats des simulations. Les échantillons étant réduits ($n=13$ et $n=7$), nous allons à nouveau envisager des probabilités Pr supérieures à 0,05. Nous interprétons les résultats de la même manière que pour l'étude des rendements. Le tableau 33 récapitule les résultats obtenus.

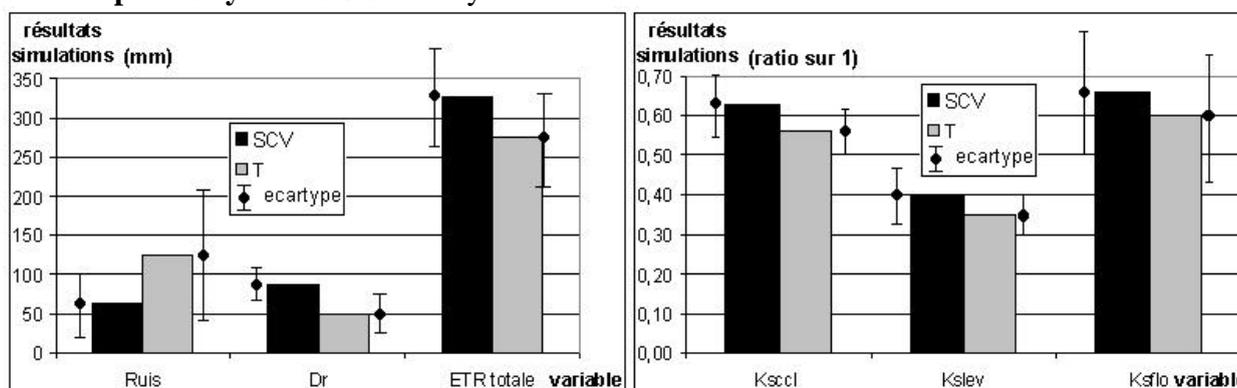
Tableau 33 : Cotonnier : Résultats des tests de Student sur les simulations. $n=13$.

SCV=moyenne en SCV, idem pour T. Rappelons que la différence des moyennes $D=(SCV-T)/T$.

	SCV	T	D	Pr		SCV avanta-gé ?
Ruis (mm)	64 B	124 A	-48%	0,01	\mathcal{P} T>SCV	\mathcal{P} oui
Dr (mm)	87 A	49 B	77%	1E-04	\mathcal{P} SCV>T	\mathcal{P} non
ETR (mm)	327 A	277 B	18%	0,01	\mathcal{P} SCV>T	\mathcal{P} oui
Ksccl	0,63 A	0,56 B	12%	0,003	\mathcal{P} SCV>T	\mathcal{P} oui
Kslev	0,40 A	0,35 B	15%	0,02	\mathcal{P} SCV>T	\mathcal{P} oui
Ksflo	0,66 A	0,6 B	10%	0,04	\mathcal{P} SCV>T	\mathcal{P} oui

Le drainage Dr est plus important en SCV, ce qui découle de la meilleure infiltration mise à jour dans les sections précédentes. Le bilan de l'eau consommée ETR est très significativement supérieur en système SCV. **La meilleure offre en eau se traduit donc dans les simulations par une augmentation de la consommation de 18% en moyenne** (figure 22). Le taux de satisfaction est significativement meilleur à la levée (15%, figure 23), à la floraison (10%) et finalement sur tout le cycle (12%). Le couvert est globalement moins stressé par le manque d'eau.

Figure 22 et 23 : Cotonnier : Modifications des flux hydriques et des taux de satisfaction du couvert par les systèmes SCV. Moyennes.



Lorsque nous effectuons ces mêmes analyses sur les parcelles techniquement bien maîtrisées et bien paillées, les résultats sont moins catégoriques (tableau 34). Cela est peut-être dû à la réduction de l'échantillon car les différences D sont plus élevées que pour l'analyse précédente ($n=7$).

Tableau 34 : Cotonnier : Résultats des tests de Student sur les simulations pour les parcelles maîtrisées. $n=7$.

	SCV	T	D	Pr		SCV avanta-gé ?
Ruis (mm)	61,2 B	154,6 A	-60%	0,03	\mathcal{P} T>SCV	\mathcal{P} oui
Dr (mm)	81,0 A	34,8 B	132%	0,00	\mathcal{P} SCV>T	\mathcal{P} non
ETR (mm)	359 a	307 b	17%	0,12	\mathcal{P} hypothèse : T>SCV	\mathcal{P} hypothèse : oui
Ksccl	0,62 A	0,54 B	15%	0,04	\mathcal{P} SCV>T	\mathcal{P} oui
Kslev	0,38 a	0,32 b	18%	0,09	\mathcal{P} hypothèse : SCV>T	\mathcal{P} hypothèse : oui
Ksflo	0,57 a	0,49 b	17%	0,06	\mathcal{P} hypothèse : SCV>T	\mathcal{P} hypothèse : oui

Nous voyons que sur ces parcelles le ruissellement est freiné plus efficacement ($D=60\%$ au lieu de 48%), mais que cette meilleure infiltration est compensée par davantage de drainage ($D=132\%$ au lieu de 77%). Il en résulte un effet sur la consommation inchangé ($D=17\%$ au lieu de 18%). **Nous constatons donc qu'un niveau élevé de maîtrise technique n'améliore pas davantage le bilan hydrique, l'eau infiltrée en plus étant perdue par drainage.** Ainsi, sur ces parcelles, si le ruissellement (et donc l'érosion) diminue davantage, le drainage (et sans doute la lixiviation et le lessivage) augmente également. Or, les doses d'engrais sont apportées fin juillet, juste avant le mois le plus pluvieux, les phénomènes de lixiviation pourraient donc être importants, particulièrement sur les parcelles bien maîtrisées. Il serait intéressant de vérifier si ce résultat se confirme avec un modèle bien paramétré : Si tel est le cas, alors il faudra s'interroger sur l'équilibre optimal entre une meilleure infiltration (et donc une meilleure consommation hydrique) et une augmentation du drainage (et de la lixiviation).

P Au final, l'impact des systèmes SCV est déterminant sur le bilan hydrique final du cotonnier. D'après nos simulations, l'augmentation de l'offre en eau se répercute sur la consommation du couvert qui devient plus importante. Le taux de satisfaction moyen du couvert est meilleur pendant les phases sensibles et sur tout le cycle. Enfin, l'amélioration de la consommation n'est pas proportionnelle au niveau de maîtrise technique: Les simulations montrent que l'eau gagnée par une amélioration de la maîtrise technique est perdue par drainage. Nous nous sommes alors interrogé sur les conséquences de ce drainage.

3.4.2.2 Le sorgho

Les résultats des tests de Student pour le sorgho sont disponibles sur le tableau 35. Nous voyons que globalement les tests sont beaucoup moins concluants.

Tableau 35 : Sorgho : Résultats des tests de Student sur les simulations. n=6.

	SCV	T	D	Pr
Ruis (mm)	83,1 b	128,5 a	-35%	0,19
Dr (mm)	70	65	8%	0,84
ETR (mm)	366,0 a	336,5 b	9%	0,17
Ksccl	0,59	0,58	1%	0,75
Kslev	0,32	0,30	4%	0,39
Ksflo	0,70	0,70	0%	0,98

SCV avantage ?

P hypothèse : $T > SCV$ *P* hypothèse : oui

P hypothèse : $SCV > T$ *P* **hypothèse : oui**

Aux vues des résultats sur ETR, nous pouvons émettre l'hypothèse que la consommation est améliorée en système SCV d'environ 9%. Les autres résultats ne permettent pas de conclure sur les taux de satisfaction du couvert.

P La consommation est au moins aussi importante en système SCV et le couvert au moins autant satisfait. Ces résultats montrent que le sorgho n'a aucunement souffert de la concurrence avec le brachiaria.

Les résultats que nous obtenons montrent que l'amélioration de l'offre en eau se traduit par une meilleure consommation du couvert de cotonnier et une stabilisation de celle du sorgho malgré la concurrence occasionnée par le brachiaria. Il faudra vérifier ces résultats avec un modèle bien paramétré pour pouvoir conclure pour les parcelles étudiées.

3.4.3 Poids du facteur hydrique dans l'explication du rendement.

Nous avons cherché à mettre à jour des corrélations entre les principales composantes du rendement ou le rendement lui-même et les variables hydriques qui correspondent à leurs phases

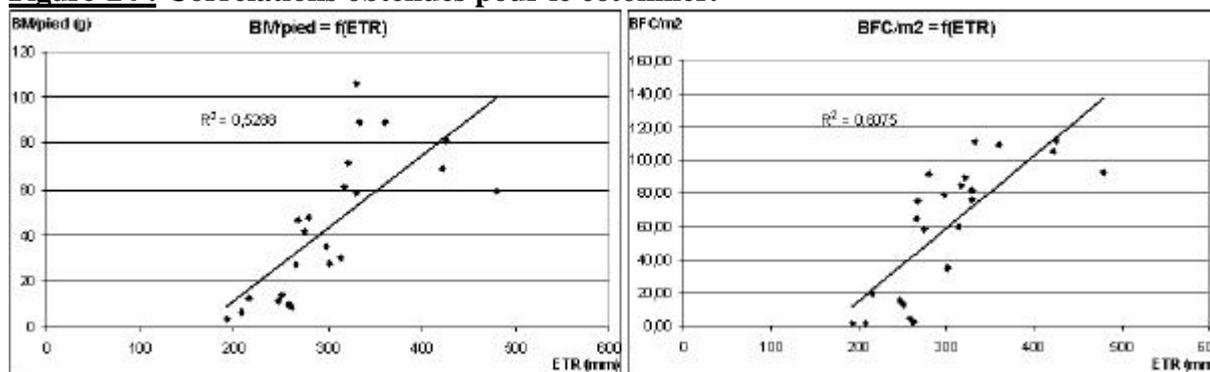
d'élaboration (tableau 36). Rappelons que le modèle n'est pas bien paramétré (RU). Par exemple, la surestimation de la RU entraîne certainement une surestimation du stock d'eau et donc de la consommation ETR. Ces corrélations ont pour seul objectif de montrer que le facteur hydrique *peut* expliquer les rendements. Pour savoir s'il les explique effectivement, il faudrait refaire cette analyse avec les résultats d'un modèle bien paramétré.

Tableau 36 : Correspondance entre les composantes du rendement et les variables hydriques.

Composantes cotonnier :	Composantes sorgho :	Variable correspondante :
Pieds/m2	Poquets/m2	Kslev
BM/pied	BM/talle	Ksccl, ETR
BFC/BM	Grains/panicule	Ksflo
BFC/m2	Grains/m2	Ksccl, ETR

L'ensemble des graphiques est présenté dans l'annexe 21. Nous avons mis à jour 2 corrélations pour le cotonnier (figure 24). La composante BM/pied explique en grande partie les rendements. La corrélation de BM/pied avec ETR explique donc en grande partie celle du rendement BFC/m2 avec cette même variable. Pour le sorgho, nous n'avons trouvé aucune corrélation évidente.

Figure 24 : Corrélations obtenues pour le cotonnier.



La principale variable expliquant les rendement du cotonnier est ETR et non Ksccl. Nous pensons que l'analyse aurait gagné en finesse si nous y avons intégré des variables ETR qui rendent compte des périodes sensibles (du type ETRlev, ETRflo). Ces dernières pourraient être corrélées aux composantes du rendement élaborées pendant ces phases (pieds/m2 et BFC/BM). Il serait donc intéressant d'ajouter au modèle ces sorties afin de tester notre hypothèse et, le cas échéant d'affiner les conclusions de cette analyse.

P D'après nos simulations, le rendement du cotonnier est lié à la consommation en eau ETR par l'intermédiaire de la composante BM/pied. Celui du sorgho n'est pas expliqué par les variables hydriques. Il faudra cependant refaire cette analyse avec des modèles tenant compte des véritables RU. Nos résultats montrent uniquement que la consommation ETR peut expliquer l'amélioration de la production du cotonnier lorsqu'il est en SCV.

CONCLUSION

A la lumière de l'étude bibliographique, nous avons posé les hypothèses suivantes : A) Il existe un effet du paillage sur le court et le long terme. Ces effets se manifestent par la diminution du ruissellement et donc par l'augmentation de l'offre en eau. B) Cette augmentation de l'offre se traduit par une augmentation de la consommation, C) ce qui explique en partie les rendements observés. Les objectifs de cette étude sont donc : d'évaluer 1) la modification de l'offre en eau par les systèmes SCV, 2) la modification de la consommation du couvert et 3) le poids du facteur hydrique sur le rendement et ses composantes.

Nous avons voulu étudier l'impact des systèmes SCV par couples de parcelles SCV/T telles que seul le système de culture change entre les 2 parcelles. Nous avons choisi de nous concentrer sur un lot de 35 parcelles réparties sur 5 sites reposant sur des sols différents. Nous avons testé l'hypothèse des modifications des flux de ruissellement grâce à des mesures directes sur 5 parcelles. Nous avons estimé l'offre en eau par deux séries de mesures au champ : la profondeur du front d'humectation et l'humidité volumique par horizon. La consommation a été étudiée grâce à un outil de modélisation à paramétrer et à caler. Nous avons émis l'hypothèse que **la réserve utile est surestimée**, hypothèse vérifiée en fin de stage. L'autre lacune de cette étude est la méconnaissance de la profondeur d'enracinement. Enfin, les rendements ont été appréhendés en mesurant les composantes du rendement.

Les analyses des contextes pédo-climatiques montrent qu'ils sont très variés et celles des itinéraires techniques montrent que le lot de parcelles représente assez fidèlement la variabilité observée dans la province. La variabilité des itinéraires techniques paysans est très importante, nous avons donc précisé l'objectif de cette étude : comparer les systèmes SCV mentionnés aux systèmes conventionnels *pris dans leur globalité*. Cette étude ne permettra pas de conclure que tel système est plus efficace que tel autre, mais tente plutôt d'appréhender les améliorations possibles *à l'échelle de la zone d'étude (les 3 zones)*. Nous avons pu définir les sites sur lesquels les parcelles étaient bien maîtrisées. Ces informations nous ont permis de définir les grands traits de chaque site.

Les analyses du rendement et de ses composantes nous ont permis d'affirmer certains résultats et de poser des hypothèses : Pour le cotonnier, les rendements sont 18% plus élevés en système SCV. Ce gain devient significatif si on ne considère que les parcelles maîtrisées. Ce gain résulte d'une augmentation de la biomasse par pied, qui est la principale composante explicatrice des rendements. L'impact positif des systèmes SCV est vérifié pour le cotonnier. L'analyse des différentes modalités de cotonnier SCV nous a permis d'émettre l'hypothèse que les effets sont plus accentués lorsque le précédent est en sorgho/brachiaria. Pour le sorgho, les rendements se maintiennent. Les principales composantes expliquant les rendements sont grains/panicule et BM/poquet.

Ces résultats sont conformes à ceux qui ont été observés les années précédentes. Les systèmes SCV ont un effet sur les rendements du cotonnier lorsqu'il est maîtrisé et peut-être sur celles du sorgho. Ce résultat confirme donc l'existence d'un impact du système et légitime la poursuite de l'investigation qui a pour objectif de mesurer le poids du facteur hydrique sur cet impact.

L'hypothèse selon laquelle les systèmes SCV modifient le ruissellement a été vérifiée sur 5 parcelles. Les résultats nous ont permis de poser 2 hypothèses supplémentaires : A2) Pour le cotonnier, le bénéfice est plus important pour la modalité avec brachiaria. A3) Les effets cumulatifs des systèmes SCV évoqués dans la section 1.1.4.2 jouent un rôle important dans cette amélioration.

Les résultats sur l'offre en eau confirment les hypothèses A) et A2) : L'infiltration est meilleure en système SCV, et plus particulièrement pour la modalité avec brachiaria pour le

cotonnier paillé. **Ils appuient l'hypothèse A3).** Ils indiquent également que la meilleure infiltration se fait ressentir surtout sur l'humidité en profondeur.

La consommation du couvert a été étudiée grâce au modèle de bilan hydrique. Après le paramétrage et le calage, l'adéquation du modèle avec les données est assez faible. Nous pensons que cela résulte en grande partie du fait de la surestimation de la RU. **Si le modèle n'est pas assez réaliste pour permettre une étude du bilan hydrique des parcelles étudiées, nous avons néanmoins voulu montrer quels effets peut avoir cette meilleure infiltration des SCV sur la consommation de la culture.**

En effectuant ces analyses, nous constatons que pour le cotonnier, la consommation en eau est supérieure SCV et que le couvert est mieux satisfait. Cette augmentation ne semble pas dépendre du niveau de maîtrise technique. La consommation du sorgho SCV est au moins égale à celle du sorgho témoin.

Nous avons voulu illustrer le fait que le facteur hydrique peut expliquer les rendements. La consommation *simulée* du cotonnier s'est révélée corrélée au rendement par l'intermédiaire de BM/pied, qui explique une grande partie des rendements. Le poids du facteur hydrique semble donc important dans l'amélioration des rendements du cotonnier. Il faudrait prendre en compte des valeurs plus réalistes de la RU pour pouvoir confirmer ce résultat pour les parcelles étudiées. Nous avons également proposé de modifier le modèle afin qu'il permette une analyse plus fine de l'impact de la consommation sur les composantes du rendement. Nous n'avons pas trouvé de corrélation pour le sorgho.

Au final, cette étude a permis quantifier les effets des systèmes SCV sur l'offre en eau. Nous avons montré que cette amélioration peut avoir un impact sur la consommation et sur les rendements. Ce travail devrait fournir une base pour orienter les recherches vers des objectifs de quantification plus précis de ces phénomènes :

- **Une estimation des valeurs de la réserve utile** (et dans une moindre mesure une meilleure connaissance de l'enracinement des cultures) **devraient permettre une meilleure adéquation du modèle avec les données. L'obtention de ce paramètre est essentielle pour tester les hypothèses B) et C).** On pourrait alors reproduire les analyses que nous avons effectué pour obtenir des réponses concluantes.

- L'ajout de variables au modèle de bilan hydrique devrait permettre d'approfondir l'analyse du poids de la consommation en eau dans l'explication des principales composantes du rendement du cotonnier.

- Etude comparative en séparant les différents types de systèmes conventionnels et les différents types de sol permettrait de mieux appréhender les effets des systèmes SCV en fonction du contexte.

- Une étude à plus grande échelle sur les différents systèmes SCV permettrait de quantifier les différences de consommation en eau entre les différentes modalités. Une telle quantification pourrait permettre de mieux choisir une modalité en fonction du contexte et de ses contraintes.

- Nous avons émis l'hypothèse que les effets cumulatifs des systèmes SCV jouent un rôle primordial dans l'explication de l'infiltration. Nous pensons qu'une étude de la relation entre la teneur en matière organique et la capacité d'infiltration pourrait mettre à jour des corrélations intéressantes. L'étude de A. Oumarou devrait donner des éléments de réponse.

La meilleure infiltration de l'eau en **SCV fournit à l'agriculteur une sécurité** au niveau de l'approvisionnement en cette ressource : La culture est moins vulnérable aux aléas climatiques qu'en système conventionnel. Nous avons montré que cette infiltration augmente particulièrement avec la modalité SCV avec brachiaria. Aussi, dans les zones où l'érosion est importante et dans les zones à faible pluviométrie, il sera sans doute préférable d'y diffuser cette modalité plutôt qu'une autre.

Nous avons également montré qu'en cotonnier, une bonne maîtrise technique et un paillage dense n'améliorent pas forcément la quantité d'eau consommée car le surplus d'eau infiltré est perdue par drainage. Or, les engrais sont apportés fin juillet, juste avant le mois le plus pluvieux. Il est donc légitime de se poser la question suivante : Les flux d'eau verticaux entraînent-ils une lixiviation dommageable pour la culture ? Une solution pourrait consister à modifier la date et le fractionnement de l'apport de fertilisant. Ce problème est important puisque des carences en azote ont été observées les années passées.

Pour le sorgho, nous avons illustré le fait que l'association avec le brachiaria n'induit pas forcément de concurrence pour la ressource en eau. Selon les simulations, **la biomasse supplémentaire produite par le brachiaria ne « coûte » rien à la céréale**. Or, l'amélioration des capacités productives des sols et leur pérennisation par les SCV laissent espérer que la biomasse produite sera supérieure aux besoins pour le paillage. Si tel est le cas, la biomasse de brachiaria restante pourra fournir un fourrage de qualité aux troupeaux de bovin. Cet aspect est crucial puisqu'un des principaux problèmes de la diffusion des SCV est l'intégration de l'élevage qui utilise les résidus. Ces aspects constituent d'ailleurs la prochaine étape du projet : l'étude au niveau d'un terroir.

Il sera également intéressant de comparer nos résultats avec ceux de Adoum Oumarou et de Simon Bikay. **Un panorama devrait se dessiner, permettant d'identifier des liens causaux entre le type d'itinéraire technique, les paramètres physiques du sol, la macrofaune et l'offre en eau**. Ces recoupements permettraient au personnel du projet ESA de développer une vision d'ensemble des effets des systèmes SCV, et ainsi de cibler leurs activités sur les aspects les plus pertinents et dans les contextes sol-climat-système de production où les SCV sont les plus efficaces.

LISTES DES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADUFU K., FOAGUEGUE A., FOKKER R., GOGAN A., MOLLET M., PAYEUR S., 1991.** *Baisse de fertilité et crise cotonnière au Nord Cameroun. Etude de cas des villages Djalingo et Mayo dadi.* ICRA et IRA, Maroua.
- AFFHOLDER F., 1986.** *Suivi multilocal de l'enracinement du sorgho au Mali. Conséquence sur la réserve utile racinaire.* Mémoire DAA ENSAM.
- AHMADI N., CHANTEAU J., HEKIMIAN LETHEVE C., MARCHAND J.L., OUENDEBA B.** *Les céréales.* Dans le Mémento de l'agronome. Ed 2002. CIRAD-GRET-Ministère des affaires étrangères.
- ALBERGEL J., PEREZ P., VAKSMANN M., 1991.** *Amélioration des modèles du bilan hydrique sur parcelle par la prise en considération des états de surface.* Soil water balance in the Sudano-Sahelian zone (issu du congrès de Niamey, Février 1991). IAHS Publ. No. 199.
- ALLEN R.G., PEREIRA L.S., RAES D., SMITH M., ed.** *Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements).* FAO irrigation and drainage paper N° 56.
- ASSANA M., GAUDARD L., 2003.** *Rapport semestriel mai – octobre 2003, Campagne Agricole 2003/2004.* Sodecoton.
- BARON C., PEREZ P., MARAUX F., 1996.** *SARRABIL : Bilan hydrique à la parcelle. Analyses comparatives des bilans annuels ou pluriannuels. Analyses des risques climatiques.* CIRAD.
- BARTHES B., AZONTONDE A., BOLI B.Z., PRAT C., ROOSE E., 2000.** *Field-scale run-off and erosion in relation to topsoil aggregate stability in three tropical regions (Benin, Cameroon, Mexico).* European Journal of Soil Science, 51 : 485-495.
- BLAISE D., 1988.** *Guide des analyses courantes en pédologie,* Paris, INRA, 172p.
- BOLI BABOULE Z., BEP AZIEM A. et ROOSE E., 1991.** *Enquête sur l'érosion en région cotonnière du Nord Cameroun.* Bull. Réseau Erosion 11 : 127- 138.
- BOLI BABOULÉ Z., ROOSE E, BEP AZIEM B., SANON K., WAECHTER F, 1996.** *Effets des techniques culturales sur le ruissellement, l'érosion et la production de coton et maïs sur un sol ferrugineux tropical sableux. Recherche de systèmes de culture intensifs et durables en région soudanienne du Cameroun (Mbissiri, 1991-92).* Cahier ORSTOM Pédol. 28, 2 : 309-326.
- BOLI BABOULE Z., ROOSE E., 2002.** *Effet du labour classique et du non labour sous litière sur le ruissellement, les pertes en terre et le rendement de coton et de maïs sur deux sols ferrugineux sableux : Mbissiri, Nord Cameroun.* Effect of Land Use Management on Erosion and Carbon Sequestration, Montpellier, 23-28 Sept. 2002.
- BOULAKIA S., 2001.** *Rapport de mission Nord Cameroun,* CIRAD.
- BORGET M., 1965.** *Le Brachiaria (Brachiaria ruziziensis), excellente graminée fourragère d'Afrique tropicale.* C. Agric. Prat. Pays chauds, 1965, 2, 89-92.
- CASENAVE & VALENTIN, 1989.** *Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration.* ORSTOM Ed., col. Didactiques, Paris, France, 226p.
- CHARPENTIER H., 2001.** *Mission d'appui au Nord Cameroun auprès du DPGT,* CIRAD.
- CHARPENTIER H., 2002.** *Mission d'appui au Nord Cameroun auprès du DPGT,* CIRAD.
- CHATEREAU J. et NICOU R., 1991.** *Le sorgho.* Maisonneuve & Larose, CTA, 158p.
- CRETENET M., FOLLIN J.C., HAU B., HEKIMIAN LETHEVE C., JALLAS E., RENOUE A.** *Les plantes textiles.* Dans le Mémento de l'agronome. Ed 2002. CIRAD-GRET-Ministère des affaires étrangères.
- DOORENBOS J., KASSAM A.H, 1980.** *Réponse des rendements à l'eau.* Rome, Bulletin FAO d'irrigation et de drainage no 33.
- DOORENBOS J., PRUITT W.O., 1976.** *Les besoins en eau des cultures.* Rome, Bulletin FAO d'irrigation et de drainage no 24.

DOUNIAS, I., 2001. *Systèmes de culture à base de couverture végétale et semis direct en zones tropicales. Synthèse bibliographique.* CIRAD-CA/CNEARC.

FOREST F. et REYNIER, 1985

FRANQUIN P., FOREST F., 1977. *Des programmes pour l'évaluation et l'analyse fréquentielle des termes du bilan hydrique.* Agronomie Tropicale, 32 (1) : 7-11

FROSIO, 2000. *Les perceptions paysannes de la fertilité des sols du Nord-Cameroun.* PRASAC CSN-IRD, 48p.

GAUDART L., NGAMIE I., MAMADOU A., 2004. *Rapport semestriel novembre 2003 à avril 2004. Campagne de commercialisation 2003-2004.* Sodecoton.

GERMAIN & EVRARD, 1992. *Brachiaria ruziziensis* In: Forages. Plant Resources of South-east Asia (PROSEA). Hrsg.: 't Mannetje, L., Jones, R.M.. Wageningen, Netherlands: Pudoc Scientific Publishers, 1992, S. 65-67, (Vol. 4).

GIGOU J., 1997. *Les contraintes aux systèmes de culture coton-céréales durs à l'acidité,* dans RATNADASS A., CHANTEREAU J., GIGOU J. (éditeurs), 1998, *Amélioration du sorgho et de sa culture en Afrique de l'Ouest et du centre.* Atelier de restitution du programme conjoint sur le sorgho, 17-20 mars 1997, Bamako, Mali. Collection Colloques, Montpellier, CIRAD-CA, 315p.

HARMAND J.M., NJITI C.F., BERNARD-REVERSAT F., FELLER C., OLIVER R., 2000. *Variations de stock de carbone dans le sol au cours du cycle jachère arborée-culture. Zone soudanienne du Cameroun.* In: Floret C., Pontanier R. (eds.) *La Jachère en Afrique Tropicale*, pp. 706-713. J. Libbey, Eurotext, Paris.

HILLEL D., DE BACKER L. (Traduction), 1974. *L'eau et le sol : principes et processus physiques*, Paris, Vander, 288p.

ITIER B., RIOU C., 1984. *Une possibilité de suivi de l'état hydrique des cultures en zone semi-aride à partir de mesures micrométéorologiques simples.* INRA Grignon. (Tp entre deux feuilles : mieux)

KAM A.M., 1993. *Contribution à l'étude des systèmes de production et de la gestion de la fertilité dans la région de Na'ari (Nord-Cameroun).* Mémoire de DAT, CNEARC.

KOFFI-KOFFI D., 1983. *Variabilité spatiale d'un sol – suivi énergétique, hydrique et minéral d'une culture de sorgho.* Mémoire DAA, CNEARC.

KONATE J.M., 1990. *Etude écophysiological de la résistance à la sécheresse du sorgho grain.* Mémoire DAT, CNEARC.

KONE M., DOUMBIA M.D., 1997. *Difficultés pour maintenir la fertilité des sols en cultures paysannes,* dans RATNADASS A., CHANTEREAU J., GIGOU J. (éditeurs), 1998, *Amélioration du sorgho et de sa culture en Afrique de l'Ouest et du centre.* Atelier de restitution du programme conjoint sur le sorgho, 17-20 mars 1997, Bamako, Mali. Collection Colloques, Montpellier, Cirad-ca, 315p.

LECOMTE P., 2003. *Mission d'appui au projet ESA. Intégration SCV-élevage au Nord et Extrême-Nord du Cameroun,* CIRAD.

MATHIEU C., PIELTAIN F., 1998. *Analyse physique des sols, méthodes choisies.*

MOUDOUKEMTAR NGUENKO B., 1991. *Effet du stress hydrique sur le comportement du sorgho à grain.* Mémoire DAT, CNEARC.

NAUDIN K., 2002. *Système de culture sur couverture végétale. Rapport d'activité. Saison 2001/2002.* DPGT Garoua Cameroun.

NAUDIN K., BALARABE O., 2003. *Système de culture sur couverture végétale. Résultats campagne 2002.* Sodecoton projet Eau-Sol-Arbre.

NAUDIN K., 2004. *Expérimentation du coton SCV chez les paysans de l'Extrême-Nord en 2003.* Sodecoton projet Eau-Sol-Arbre.

- NAUDIN K., 2004.** *Expérimentation des céréales en SCV chez les paysans de l'Extrême-Nord en 2003.* Sodecoton projet Eau-Sol-Arbre.
- NAUDIN K., BALARABE O., 2004.** *Les SCV, qu'en pensent les paysans.* Sodecoton projet Eau-Sol-Arbre.
- OLINA J.P., 2003.** *Rapport analytique de l'opération sur la comparaison des systèmes de culture traditionnels et système de culture sous couverture végétales. Résultat des campagnes agricoles 2001-2002.* Sodecoton/FFEM-IRAD.
- OLIVRY J.C., 1986.** *Fleuves et rivières du Cameroun,* MESRES – ORSTOM. Paris, ORSTOM, coll. Monographie hydrologiques n°9, 733p, cité dans Seignobos et al., 2000.
- OLIVRY J.C., CHOURET A., VUILLAUME G., LEMOALLE J., BRIQUET J.C., 1996.** *Hydrologie du lac Tchad.* Paris, ORSTOM, coll. Monographie hydrologiques n°12, 266p, cité dans Seignobos et al., 2000.
- OLUFAYO A., 1994.** *Caractérisation des réponses du sorgho à grain au déficit hydrique à l'aide d'indicateurs bioclimatiques.* Thèse de doctorat ENSAR, LEPSE.
- OUMAROU A., 2004.** *Titre inconnu. Rapport de stage.* Université de Dchang, Cameroun. A paraître.
- PARRY G., 1982.** *Le Cotonnier et ses produits.* Maisonneuve & Larose, 502p.
- PERRIER A., 1984.** *Mise à jour des définitions sur l'évaporation et les besoins en eau des cultures.* Dictionnaire technique multilingue.
- PITRE H.N. et PORTER R.P., 1990.** *Effect of non-crop végétation on insect infestations and IPM in reduced-tillage corn and sorghum production systems in low and high technology agriculture.* Mississippi Agricultural and Forestry Experiment Station, Dept. Of Entomol., Drawer EM, Mississippi State. Publication n° S7203.
- POSS R., 1991.** *Transfert de l'eau et des éléments minéraux dans les terres de barre du Togo. Conséquences agronomiques.* Thèse de doctorat, Université de Paris 6.
- RAUNET M., 2003.** *Quelques clefs morphopédologiques pour le Nord-Cameroun à l'usage des agronomes.*
- ROOSE, 19...** *Compte rendu de la 3^{ème} Mission Roose au Nord-Cameroun.*
- ROOSE E, SARRAILH JM, 1989.** *Erodibilité de quelques sols tropicaux. Vingt années de mesures en parcelles d'érosion sous pluies naturelles.* Cahier ORSTOM Pédol, 25, 1 : 7-30.
- ROOSE E. 1991.** *Dégradation, érosion et restauration des sols ferrugineux sableux sous culture intensive dans la zone cotonnière du Nord-Cameroun (S.E. Benoué). Application de la Gestion Conservatoire de l'Eau, de la biomasse et de la fertilité des Sols (G.C.E.S).* Compte rendu de la 4^{ème} Mission Roose au Nord-Cameroun.
- ROOSE E., 1994.** *Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES).* Bulletin pédologique de la FAO 70.
- SANON K., 1992.** *Etude du bilan hydrique en fonction des techniques culturales dans un système de culture intensif (coton / maïs) sur sol ferrugineux du Nord-Cameroun.* Mémoire de DAT, CNEARC.
- SCOPEL E., 1994.** *Le semis direct avec paillis de résidus dans la région de V. Carranza au Mexique : Intérêt de cette technique pour améliorer l'alimentation hydrique du maïs pluvial en zone à pluviométrie irrégulière.* Thèse doctorat, INA-PG.
- SCOPEL E., CHAVEZ GUERRA E., TOSTADO J.M., 1999.** *Le semis direct avec paillis de résidus dans l'ouest mexicain : une histoire d'eau ?* Agriculture et développement no 21 pp 71-21.
- SCOPEL E., 2004.** *Rapport de mission au Nord Cameroun du 01 au 10/05/2004 : Appui au volet SCV du projet Eau-Sol-Arbre sur l'analyse des impacts des SCV sur la valorisation de la ressource pluviométrique.* A paraître.
- SEIGNOBOS C., IYEBI MANDJEK O., 2000.** *Atlas de la province Extrême-Nord du Cameroun.* IRD, MINREST. Paris.

SEGUY L., BOUZINAC S., 1999. *Quelles recherches thématiques pour aborder la modélisation du fonctionnement comparé entre les systèmes de culture avec travail mécanique du sol et des systèmes en semis direct sur couverture morte ou vivante ?* In Gestion agro-biologique des sols et des systèmes de culture, Acte de l'atelier international, Antsirabe, Madagascar, 23-28 mars 1998. CIRAD, collection Colloques, Montpellier, pp 495-502.

SEGUY L., 2003. *Rapport de la mission d'appui au Nord Cameroun*, CIRAD.

SEGUY L., BOUZINAC S., TRENTINI A., CORTES N.A., 1996. *L'agriculture brésilienne des fronts pionniers.* Agriculture et développement n°12 (spécial).

SEMENT Gérard, 1986. *Le cotonnier en Afrique tropicale*, Maisonneuve & Larose, 132p

SUCHEL J.-B., 1988. *Les climats du Cameroun.* Thèse de doctorat, Univ. de St-Étienne, 4 vol. 1 188 p. + atlas, 18 images satellitaires, cité dans Seignobos et al., 2000.

TRAORE K., 1997. *Intérêt des associations de légumineuses au sorgho*, dans RATNADASS A., CHANTEREAU J., GIGOU J. (éditeurs), 1998. *Amélioration du sorgho et de sa culture en Afrique de l'Ouest et du centre.* Atelier de restitution du programme conjoint sur le sorgho, 17-20 mars 1997, Bamako, Mali. Collection Colloques, Montpellier, CIRAD-Ca, 315p.

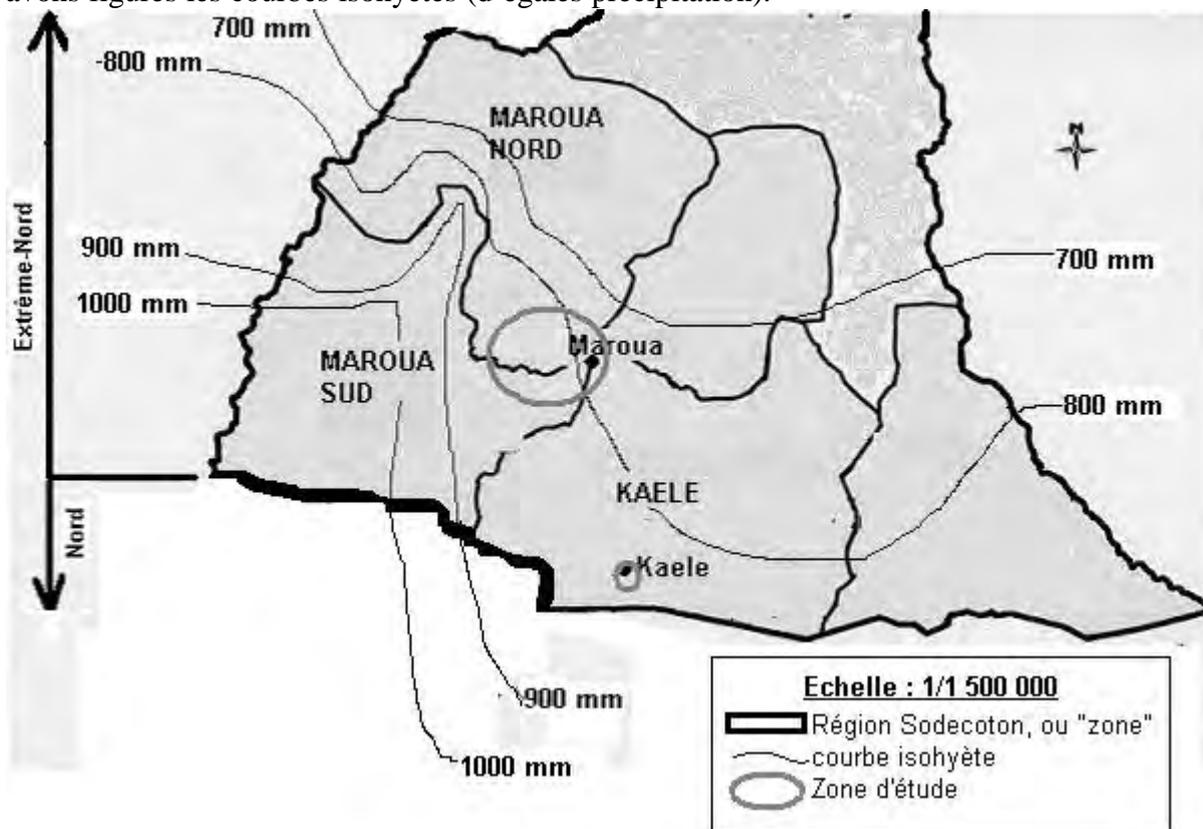
ANNEXES

Liste des annexes

- Annexe 1 : Carte des « régions Sodecoton » de l'Extrême-Nord.
- Annexe 2 : Itinéraires technique des 3 zones étudiées
- Annexe 3 : Parcellaire détaillé
- Annexe 4 : Zouana : Intrants pour les 3 niveaux de fumure de chaque culture
- Annexe 5 : Estimation de la biomasse du cotonnier et du sorgho.
- Annexe 6a : Cotonnier : Mesure de SFf en fonction de Lf
- Annexe 6b : Cotonnier : Estimation de SF/pied en fonction de h
- Annexe 7 : Sorgho : Estimation de SF
- Annexe 8 : Les sols.
- Annexe 9 : Pluviométrie et périodes de sécheresse par site
- Annexe 10 : Itinéraire technique des parcelles
- Annexe 11 : Composantes du rendement du cotonnier
- Annexe 12 : Composantes du rendement en sorgho
- Annexe 13 : Résultats de l'expérience de ruissellement
- Annexe 14 : Analyses 2) sur PFH
- Annexe 15 : Distribution des variables
- Annexe 16 : Cotonnier : Analyses 2) sur Hv
- Annexe 17 : Cotonnier : Analyses 3) sur Hv
- Annexe 18 : Paramètres des parcelles
- Annexe 19 : Paramétrage de la parcelle 3003 SCV avec $RU = RU_{ini}/1,8$.
- Annexe 20 : Résultats des simulations pour le cotonnier
- Annexe 21 : Résultats des simulations pour le sorgho
- Annexe 22 : Résultats de l'ACP sur le cotonnier
- Annexe 23 : Résultats de l'ACP sur le sorgho

ANNEXE 1 : Carte des « régions Sodecoton » de l'Extrême-Nord.

La Sodecoton a divisé les provinces du Nord et de l'Extrême-Nord du Cameroun en plusieurs « régions Sodecoton ». Elles n'ont rien en commun avec les régions administratives. Notre étude se concentre sur les 3 « régions Sodecoton » mentionnées, que nous appelons **les 3 zones**. Nous avons figurés les courbes isohyètes (d'égales précipitation).



ANNEXE 2 : Itinéraires technique des 3 zones étudiées. (D'après Assana & Gaudard, 2003).**Surfaces en 2003 (ha) :**

	Maroua Nord	Maroua Sud	Kaele	total
coton intensif	16324	24232	19124	59680
coton extensif	1673	1507	1032	4212
surface totale	17997	25739	20156	63892
%age du total	28	40	32	100

Evolution des surfaces (ha) :

	Maroua Nord	Maroua Sud	Kaele	total
1994	15620	15750	16595	47965
2000	20373	26931	24856	72160
2001	20692	26954	20177	67823
2002	15952	22996	12283	51231
2003	17997	25739	20156	63892
augmentation surf. 1994/2003	0,15%	63,40%	21,40%	33,2%

Précédent culturel du coton intensif (%age d'ha):

	Maroua Nord	Maroua Sud	Kaele	total
coton	2	4	2	2,8
arachide	2	12	2	6
céréale	93	77	85	84,04
jachère	1	4	6	3,8
brousse	1	2	3	2,04
autres	1	1	2	1,32

Mode de préparation du sol du coton intensif (%age d'ha) :

	Maroua Nord	Maroua Sud	Kaele	total
Manuelle	1	0	0	0,28
attelée	60	67	69	65,68
motorisée	1	0	0	0,28
SD	39	33	31	34,04
SD en 2002	34	20	23	24,88

Travail de préparation du sol du coton intensif (%age d'ha) :

	Maroua Nord	Maroua Sud	Kaele	total
houage manuel	1	0	0	0,28
billonnage manuel	0	0	0	0
tiller/griffer	0	0	0	0
labour (attelée ou manuel)	60	67	68	65,36
billonnage attelé	0	0	1	0,32
SD	39	33	31	34,04

Traitements herbicide au semis (%age des surfaces) :

	Maroua Nord	Maroua Sud	Kaele	total
paraquat ou glyphosate seuls	12	25	19	19,44
prélevé seul	6	6	6	6
association prélevé + paraquat	7	25	19	18,04
total	25	56	44	43,48

Traitements herbicide après semis (%age des surfaces) :

	Maroua Nord	Maroua Sud	Kaele	total
	0	0	0	0

Evolution du %age de surface de coton intensif traité à l'herbicide :

	Maroua Nord	Maroua Sud	Kaele	total
1996	2	13	4	7,04
1998	4	18	10	11,52
2000	12	26	22	20,8
2001	19	37	32	30,36
2002	24	44	38	36,48
2003	25	56	44	43,48

Evolution des semis en 2003 (en %age des surfaces) :

	Maroua Nord	Maroua Sud	Kaele	total
31-mai	4	5	0	3,12
10-juin	68	45	21	43,76
20-juin	92	74	49	71,04
30-juin	96	97	85	92,88
10-juil	100	100	100	100

Variétés de coton (%age des surfaces) :

	Maroua Nord	Maroua Sud	Kaele	total
IRMA 1243	17	0	40	17,56
BLT PF	5	100	34	52,28
IRMA A 1239	0	0	0	0
IRMA D 742	78	0	26	30,16

Fumure (%age des surfaces) :

	Maroua Nord	Maroua Sud	Kaele	total
Fumure organique	0,4	2,4	3,9	
Fumure 100kg 22-10-15	83	33	86	63,96
Fumure 200kg 22-10-15	13	64	11	32,76

Entretien de la culture (%age des surfaces) :

	Maroua Nord	Maroua Sud	Kaele	total
sarclage manuel	80	47	53	58,16
sarclage en culture attelé	20	53	47	41,84
non sarclé	0	0	0	
buttage manuel	1	6	0	2,68
buttage en culture attelé	74	78	73	75,28
non butté	25	16	27	22,04

Fréquence d'entretien (%age des surfaces) :

	Maroua Nord	Maroua Sud	Kaele	total
sarclé 0 fois	0	0	0	0
sarclé 1 fois	0	1	6	2,32
sarclé plus d'une fois	100	99	94	97,68
sarclé méc. plus d'une fois	7	51	15	27,16
butté 0 fois	25	16	27	22,04
butté 1 fois	54	48	72	57,36
butté plus d'une fois	21	36	1	20,6

Nombre moyen de traitements insecticides :

	Maroua Nord	Maroua Sud	Kaele	total
	5,1	5,4	4,8	5,124

ANNEXE 3 : Parcellaire détaillé.

Les parcelles témoins sont en gras.

	Site	sol	n° parcelle	surface (are)	précédent 2001	précédent 2002	précédent 2003	culture 2004
Milieu contrôlé	Zouana	Sol 3)	1	18,75		Sbra	Sdol	Cp/Sdol
			2	18,75		Sbra	Cp/Sbra	Sbra
			3a	18,75		STsd	CTsd	STsd
			3b	18,75		CTsd	STsd	CTsd
			4a	18,75		STIa	CTIa	STIa
			4b	18,75		CTIa	STIa	CTIa
			5	18,75		Cp/and	Sbra	Cp/Sbra
			11	18,75		Sbra	Scro	Cp/Scro
			14	18,75		Sbra	Cp/Sbra	Sbra
			18	18,75		Cp/and	Sbra	Cp/Sbra
			20	18,75		Sbra	Scro	Cp/Scro
Milieu paysan	Mambang	Sol 4)	3103 T	12,5		STsd	CTIa	STsd
			3103 SCV	12,5		Sbra	CT/Sbra	Sbra
			3104 T	10	STsd	CTIa	STsd	CTIa
			3104 SCV	8,1	Sbra	Cp/Sbra	Sbra	Cp/Sbra
	Mbozo	Sol 2)	3105 T	9,5		STsd	CTIa	STsd
			3105 SCV	7,5		Sbra	Cp/Sbra	Sbra
			3106 T	7,5	STsd	CTIa	STsd	CTIa
			3106 SCV	7,5	Sbra	Cp/Sbra	Sbra	Cp/Sbra
	Kilowo	Sol 1)	2701 T	6,5		STsd	CTIa	STsd
			2701 SCV	5,4		Sbra	Cp/Sbra	Sbra
			2702 T	7,5		CTsd	STsd	CTIa
			2702 SCV	7,5		Cp/and	Sbra	Cp/Sbra
			2706 T	4,8		CTsd	STsd	CTIa
			2706 SCV	4,8		Cp/and	Sbra	Cp/Sbra
	Gawel	Sol 2)	3003 T	7			CTIa	STsd
			3003 SCV	3			Cp/and	Sbra
			3002a T	6,25			STsd	CTIa
			3002a SCV	6,25			Sbra	Cp/Sbra
			3002b T	6,25			STsd	CTIa
			3002b SCV	6,25			Sdol	Cp/Sdol
3004a T			6,25			STsd	CTIa	
3004a SCV			6,25			Sbra	Cp/Sbra	
3004b T			6,25			STsd	CTIa	
3004b SCV			6,25			Scro	Cp/Scro	

	ZOUANA	MAMBANG	MBOZO	KILWO	GAWEL
Zone	Kaele	Maroua Nord	Maroua Nord	Maroua Sud	Maroua Sud
Sol	Sol 3)	Sol 4)	sol 2)	Sol 1)	Sol 2)
Parcelle :	CTsd	1			
	CTla	1	1	1	2
	STsd	1	1	1	1
	STla	1			
	Sbra	2	1	1	1
	Cp/Sbra	2	1	1	2
	Cp/Scro	1			
	Cp/Sdol	1			

ANNEXE 4 : Zouana : Intrants pour les 3 niveaux de fumure de chaque culture.

Nous ne tiendrons pas compte des niveaux de fumure dans cette étude. Les mesures sont donc réparties sur les 3 niveaux de fumure

Intrants coton (Kg/ha)	F1	F2	F3
Dolomie 2002 (avant semis)	0	0	2 000
Zinc ZnSO4 2002 (avant semis)	0	0	40
CuSO4 2002 (avant semis)	0	0	10
NPK (semis)	0	0	100
NPK (4 feuilles)	100	200	200
Urée (30JAL)	0	0	50

Intrants sorgho (Kg/ha)	F1	F2	F3
Dolomie 2002(avant semis)	0	0	2 000
Zinc ZnSO4 2002(avant semis)	0	0	40
CuSO4 2002 (avant semis)	0	0	10
NPK (semis)	0	0	100
Zinc (30 JAL)	0	4	4
Urée (30 JAL)	0	50	50

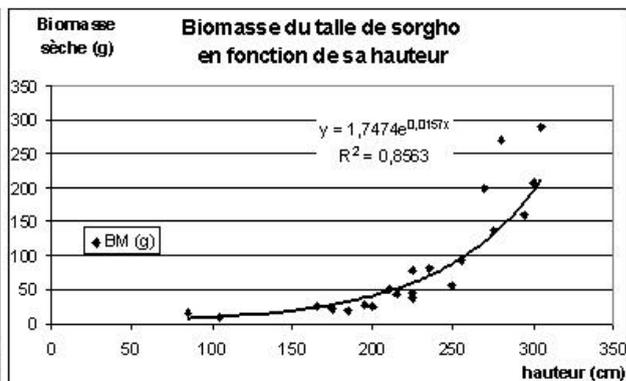
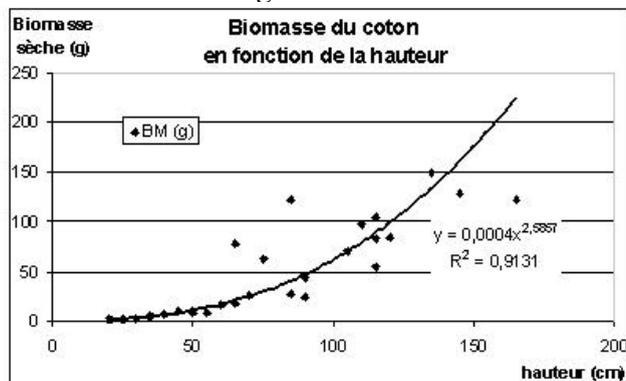
ANNEXE 5 : Estimation de la biomasse du cotonnier et du sorgho.

Les résultats suivants nous ont permis d'établir des relations entre la hauteur du plant ou du talle et sa biomasse.

COTON		
n° poquet	hauteur (cm)	BM (g)
p1 (13a)	20	0,5
p1 (13b)	20	0,5
p4b 9b	20	2,3
p3b 10b	25	1
p3b 2c	30	2,4
p3b 9b	35	4,7
p3b 10a	35	4,5
p4b 10a	35	5,6
p4b 10b	40	6,3
p4b 9a	45	9
p1 8a	50	11,3
p3b 11b	50	8,3
p3b 2b	55	8
p3b 3b	60	16,1
p3b 9a	65	17,6
p3b 12b	65	77,6
p1 4b	70	25,9
p3b 12a	75	62,5
p1 8b	85	26,3
p3b 11a	85	121,4
p1 2b	90	24,6
p1 4a	90	44,3
p1 2a	105	71,2
p1 1a	110	97,2
p1 1b	115	82,9
p1 3a	115	55,2
p3b 2a	115	104,8
p1 3b	120	84,1
p3b 3a	135	150,3
p5 1a	145	127,9
p5 1b	165	121,5

SORGHO		
n° talle	hauteur (cm)	BM (g)
3003 T t1a	275	135,9
3003 T t1b	280	269,6
3003 T t2a	225	44,3
3003 T t2b	185	18,9
3003 T t3a	300	206,6
3003 T t3b	215	42,8
3003 T t3c	105	9,5
3003 T t4a	305	288,8
3003 T t4b	85	15,5
3003 T t5a	235	81,7
3003 T t5b	225	36,6
3003 T t6a	250	56,3
3003 T t6b	200	24,6
3003 T t7a	225	79,1
3003 T t8a	270	199,1
3003 T t8b	165	24,9
3003 T t8c	195	26,7
3003 T t9a	175	21,8
3003 T t9b	235	82,1
3003 T t9c	210	49,9
3003 T t10a	295	160,4
3003 T t10b	255	93,3

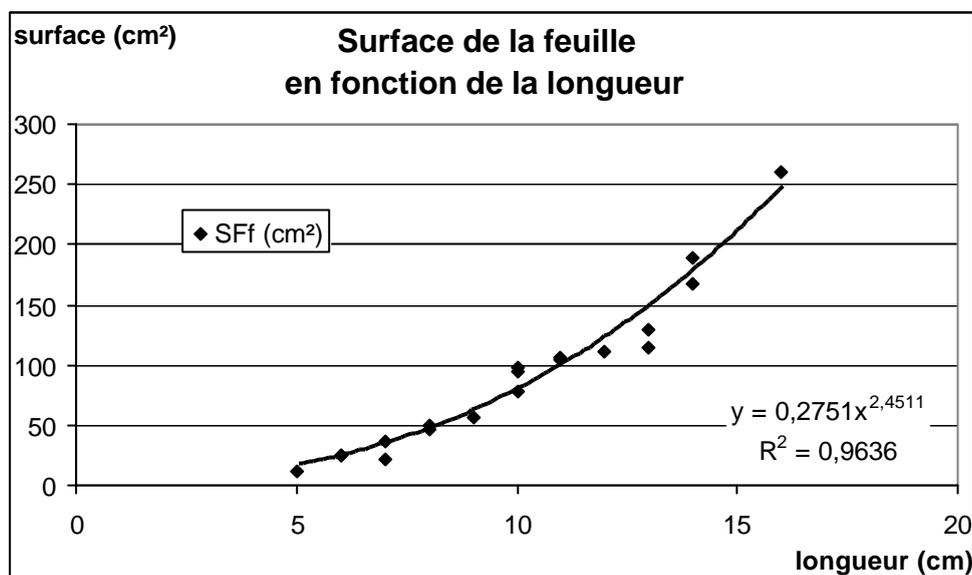
Les relations sont figurées sur les courbes suivantes :



ANNEXE 6a : Cotonnier : Mesure de SFf en fonction de Lf

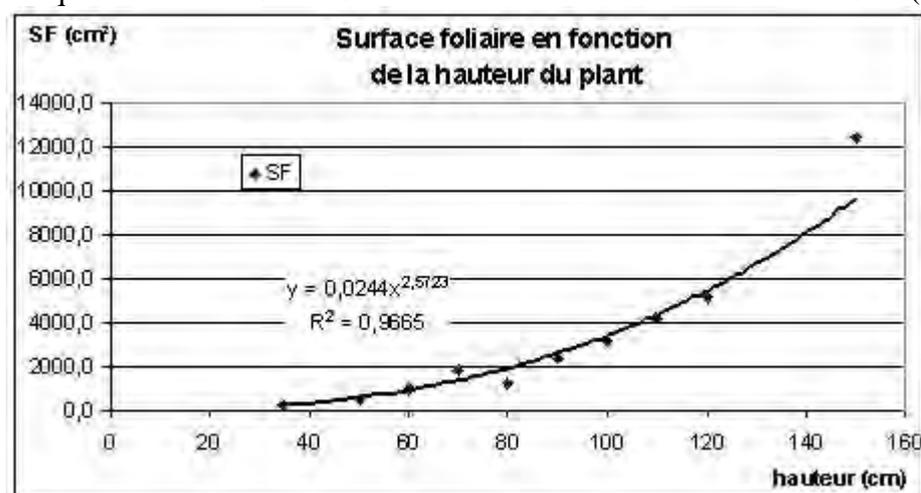
Les résultats suivants nous ont permis d'établir des relations entre la longueur de la feuille Lf et sa surface SFf. Nous n'avons pas tenus compte des deux variétés de cotonnier.

Lf (cm)	6	7	9	8	7	10	12	6	8	5	13	11	11	10	10	13	14	16	14
SFf (cm²)	25	36	56	46	22	78	111	25	50	12	129	105	106	98	95	114	168	260	189



ANNEXE 6b : Cotonnier : Estimation de SF/pied en fonction de h

Nous avons mesuré la surface foliaire de plusieurs plants appliquant la formule SFf=f(Lf) à chaque feuille. Nous avons retenus la relation la mieux corrélée : SF=f(h).

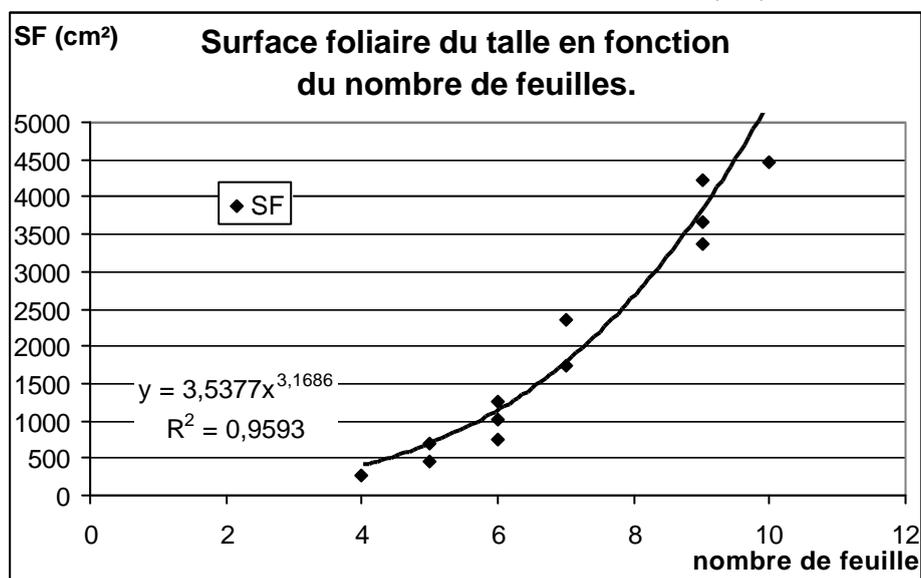


ANNEXE 7 : Sorgho : Estimation de SF

La démarche est identique pour le sorgho que l'annexe 11b pour le coton. Les résultats sont :

n° talle	hauteur (cm)	NF	SF	F 1	F 2	F 3	F 4	F 5	F 6	F 7	F 8	F 9	F 10
3105 SCV pqt2d	145	4	276	98	86	68	24						
3105 SCV pqt1e	180	5	462	136	117	117	46	46					
3105 SCV pqt2a	200	5	696	182	176	156	122	60					
3105 SCV pqt1a	130	6	754	167	212	154	88	85	48				
3105 SCV pqt1b	190	6	1255	268	277	260	236	144	70				
3105 SCV pqt2c	245	6	1025	233	225	224	168	133	42				
3105 SCV pqt2b	235	7	1747	310	335	308	260	231	180	123			
3105 T pqt2b	270	7	2343	364	432	444	418	332	240	113			
3105 SCV pqt1c	310	9	3663	268	286	660	561	544	510	398	273	163	
3105 SCV pqt1d	285	9	3369	623	476	392	487	382	365	300	222	122	
3105 T pqt1a	295	9	4212	430	582	522	546	523	633	398	343	235	
3105 T pqt1c	310	10	4476	317	677	570	684	502	476	436	361	281	172

Nous avons retenus la relation la mieux corrélée : SF=f(NF).



ANNEXE 8 : Les sols.

Tableau 1 : Réserve utile moyenne par parcelle

Cotonnier

Site	n° par.	RU (m/m)
zouana	1	0,151
zouana	3b	0,163
zouana	4b	0,150
zouana	5	0,158
zouana	11	0,145
zouana	18	0,126
zouana	20	0,128
mambang	3104 T	0,207
mambang	3104 SCV	0,205
mbozo	3106 T	0,244
mbozo	3106 SCV	0,229
kilwo	2702 T	0,183
kilwo	2702 SCV	0,168
kilwo	2706 T	0,182
kilwo	2706 SCV	0,216
gawel	3002a T	0,192
gawel	3002a SCV	0,199
gawel	3002b T	0,202
gawel	3002b SCV	0,196
gawel	3004a T	0,196
gawel	3004a SCV	0,198
gawel	3004b T	0,201
gawel	3004b SCV	0,193

Sorgho

Site	n° par.	RU (m/m)
Zouana	2	0,150
Zouana	3a	0,161
Zouana	4a	0,147
Zouana	14	0,150
Mambang	3103 T	0,225
Mambang	3103 SCV	0,228
Mbozo	3105 T	0,192
Mbozo	3105 SCV	0,211
Kilwo	2701 T	0,169
Kilwo	2701 SCV	0,183
Gawel	3003 T	0,206
Gawel	3003 SCV	0,211

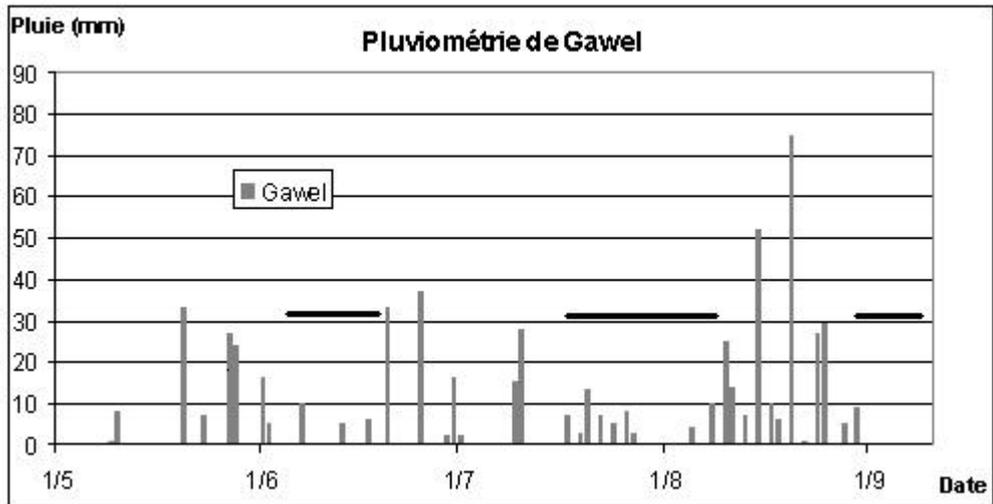
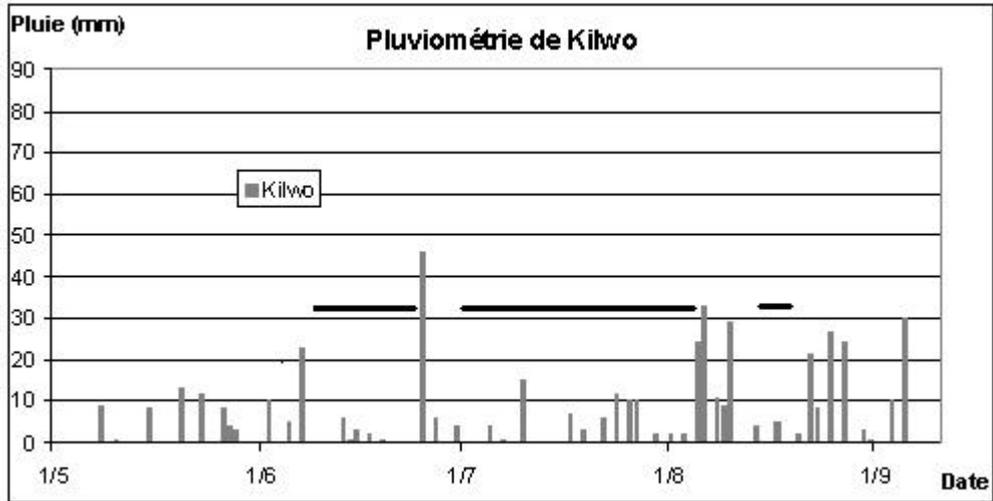
Tableau 2 : RU moyenne par site (m/m)

Site	RU	Ecartype
Zouana	0,148	0,012
Mambang	0,216	0,012
Mbozo	0,219	0,023
Kilwo	0,184	0,017
Gawel	0,199	0,006

Les résultats du tableau 3 proviennent du carottage des parcelles.

Tableau 3 : Profondeur du sol à Zouana

Parcelle	Profondeur du sol (mm)
1	600
2	
3a	
3b	
4a	
4b	500
5	
11	
14	300
18	
20	



Annexe 10 : Itinéraire technique des parcelles

Tableau 1 : Symboles utilisés

S : Site	Nph : nbre de produits herbicides	b : Buttage
p : n° par.	ph1 : Produit herbicide 1	db : Date buttage
sys : système	ph2 : Produit herbicide 2	mb : Modalité buttage
itk : ITK	dth : Date traitement her.	npk : Qté NPK (kg/ha)
srf : surface (are)	ddm : Date démariage	ur : Qté urée (kg/ha)
v : Variété	ndm : note démariage	ni : note intrant
l : Labour	Ns : Nbre sarclages	pccl : Pluie cycle
dl : Date labour	ds1 : Date sarclage 1	nsa : note semis plante associée
Ts : Trait. semence	ms1 : Modalité sarclage 1	
ds : Date de semis	ds2 : Date sarclage 2	
dccl : durée du cycle	ms2 : Modalité sarclage 2	
drs : Date resemis	ds3 : Date sarclage 3	
ns : note semis	ms3 : Modalité sarclage 3	
nlv : Note levée	nmh : note maîtrise enherbement	

Tableau 2 : Itinéraires techniques des parcelles de cotonnier

ddm	dth	ph2	ph1	Nph	nlv	ns	drs	dccl	ds	Td	dl	l	v	srf	itk	sys	p	S
	5/6	1	1	2	3	3		158	5/6	1			1	18,75	Dol	SCV	1	zouana
	5/6	1	1	2	3	3		158	5/6	1			1	18,75	sd	T	3b	zouana
	5/6	1	1	2	3	3		158	5/6	1	1/6	oui	1	18,75	la	T	4b	zouana
	5/6	1	1	2	3	3		158	5/6	1			1	18,75	Bra	SCV	5	zouana
	5/6	1	1	2	3	3		158	5/6	1			1	18,75	cro	SCV	11	zouana
	5/6	1	1	2	3	3		158	5/6	1			1	18,75	Bra	SCV	18	zouana
	5/6	1	1	2	3	3		158	5/6	1			1	18,75	cro	SCV	20	zouana
24/6				1	3	3	24/6	151	12/6	1	4/6	oui	1	10	la	T	3104	mambang
24/6				1	3	3	12/6	151	12/6	1			1	7,5	Bra	SCV	3104	mambang
24/6	28/5	2	1	2	3	3	12/6	166	28/5	2			1	7,5	la	T	3106	mbozo
24/6	28/5	2	1	2	1	3	12/6	166	28/5	2			1	7,5	Bra	SCV	3106	mbozo
24/6	25/5			1	3	1	6/6	169	25/5	2	25/5	oui	2	7,5	la	T	2702	kilwo
24/6	25/5			1	3	1	6/6	169	25/5	2			2	2	Bra	SCV	2702	kilwo
4/7		2	1	2	2	1	26/6	147	16/6	2	?	oui	2	2	la	T	2706	kilwo
4/7		2	1	2	2	1	24/6	151	12/6	2			2	3	Bra	SCV	2706	kilwo
25/6	2/6	3	1	2	2	2	19/6	156	7/6	1	2/6	oui	2	6,25	la	T	3002a	gawel
25/6	2/6	3	1	2	2	2	19/6	156	7/6	1			2	6,25	Bra	SCV	3002a	gawel
25/6	2/6	3	1	2	2	2	19/6	156	7/6	1	2/6	oui	2	6,25	la	T	3002b	gawel
25/6	2/6	3	1	2	2	2	19/6	156	7/6	1			2	6,25	Dol	SCV	3002b	gawel
16/6		3	1	2	2	1		144	19/6	2	7/6	oui	2	6,25	la	T	3004a	gawel
16/6		3	1	2	2	1		144	19/6	2			2	6,25	Bra	SCV	3004a	gawel
16/6		3	1	2	2	1		144	19/6	2	7/6	oui	2	6,25	la	T	3004b	gawel
16/6		3	1	2	2	1		144	19/6	2			2	6,25	cro	SCV	3004b	gawel

1=Marshall 1=IRMA D 742

2=Thioral 2= BLT PF

1=Diuron

1=Biosec

2=glyphosate

3=paraquat

pccl	ni	ur	nPK	mb	db	b	nmh	ms3	ds3	ms2	ds2	ms1	ds1	Ns	ndm
458	3	17	200				3					1	20/6	1	
458	3	17	200	2	28/7	oui	3					2	25/6	1	
458	3	17	200	2	28/7	oui	3					2	25/6	1	
458	3	17	200				3					1	20/6	1	
458	3	17	200				3					1	20/6	1	
458	3	17	200				3					1	20/6	1	
458	3	17	200				3					1	20/6	1	
647	3	0	200	2	24/8	oui	3	3	28/7	3+1	11/7	3+1	24/6	3	3
647	3	25	200				3	1	14/8	1	22/7	1	24/6	3	3
484	2	0	0	1	23/8	oui	2	2	22/8	3	18/7	3+1	24/6	3	2
484	2	25	12				2	1	19/8	1	18/7	1	29/6	3	2
422	2	0	0	2	24/8	oui	3	2	21/8	3+1	21/7	3+1	24/6	3	3
422	2	30	30				3			1	7/8	1	24/6	2	3
371	2	0	200				1	2	26/8	3+1	23/7	3+1	24/6	3	2
372	2	50	200				1	1	29/8	1	4/8	1	4/7	3	2
464	2	0	100	2	18/8	oui	2	2	16/8	3+1	19/7	2	25/6	3	2
464	2	30	100				2	1	16/8	1	16/7	1	25/6	3	2
464	2	0	100	2	18/8	oui	2	1	16/8	1	19/7	2	25/6	3	2
464	2	30	100				2	2	16/8	3+1	16/7	1	25/6	3	2
420	1	0	100				0			2	16/8	2	19/7	2	2
420	1	30	100				0					1	16/7	1	2
420	1	0	100				0			2	16/8	2	19/7	2	2
420	1	30	100				0					1	16/7	1	2

1 = manuel
2 = mécanique
3 = charrie

Tableau 3 : Itinéraires techniques des parcelles de sorgho

ns	drs	dccl	ds	Ts	dl	l	v	srf	itk	sys	p	S
3		131	1/6	1			oui	18,75	Bra	T	2	Zouana
3		131	1/6	1				18,75	sd	SCV	3a	Zouana
3		131	1/6	1	27-mai	oui		18,75	la	SCV	4a	Zouana
3		131	1/6	1			oui	18,75	Bra	T	14	Zouana
3	12/6	131	1/6	1				6,25	sd	SCV	3103	Mambang
3	12/6	131	1/6	1			oui	12,5	Bra	T	3103	Mambang
3	7/6	135	28/5	1				9,5	sd	SCV	3105	Mbozo
3	7/6	135	28/5	1			oui	7,5	Bra	T	3105	Mbozo
3	1/6	141	22/5	0				6,5	sd	SCV	2701	Kilwo
3	1/6	141	22/5	0			oui	5,4	Bra	T	2701	Kilwo
								7	sd	SCV	3003	Gawel
							oui	3	Bra	T	3003	Gawel

1=Marshall
0=aucun

pccl	ni	ur	npk	mb	db	b	nsa	nmh	ms3	ds3	ms2	ds2	ms1	ds1	Ns	ndm	ddm	dth	ph2	ph1	Nph	niv
480,5	3	33	33				3	3					1	20/6	1	3		1/6	1	1	2	3
480,5	3	33	33	2	28/7	oui		3	1		15/7		1	20/6	2	3		1/6	1	1	2	3
480,5	3	33	33	2	28/7	oui		3	1		15/7		1	20/6	2	3		1/6	1	1	2	3
480,5	3	33	33				3	3					1	20/6	1	3		1/6	1	1	2	3
682	3	50	0	2	9/8	oui		3	2	2/8	3+1	29/7	2	8/7	3	3	8/7				0	3
682	3	50	0				3	3	1	2/8	1	29/7	1	8/7	3	3	8/7				0	3
484	3	50	0	2	10/8	oui		2	2	19/8	3+1	21/7	2	24/6	3	3	24/6				0	2
484	3	59	0				3	2	1	19/8	2	21/7	2	24/6	3	3	24/6				0	2
425	2	20	0	2	2/8	oui		1	2	26/7	3+1	23/7	2	24/6	3	2					0	3
425	2	20	0				1	1			2	6/8	2	10/7	2	2					0	3
474																						
474																						

1=manuel

2=mécanique

1 = manuel

2=houe

3=charrue

1=Atrazine

1=Biosec

Tableau 4 : Indice foliaire des mauvaises herbes par parcelle**COTON**

Site	Parcelle	IF m.h.
Zouana	1 SCV	0
Zouana	3b T	0
Zouana	4b T	0
Zouana	5 SCV	0
Zouana	11 SCV	0
Zouana	18 SCV	0
Zouana	20 SCV	0
Mambang	3104 T	0
Mambang	3104 SCV	0
Mbozo	3106 T	0
Mbozo	3106 SCV	0
Kilwo	2702 T	0
Kilwo	2702 SCV	0
Kilwo	2706 T	1
Kilwo	2706 SCV	0
Gawel	3002a T	0,5
Gawel	3002a SCV	0,5
Gawel	3002b T	1
Gawel	3002b SCV	0,5
Gawel	3004a T	0
Gawel	3004a SCV	3
Gawel	3004b T	0
Gawel	3004b SCV	3

SORGHO

Site	Parcelle	IF m.h.
Zouana	2 SCV	1
Zouana	3a T	0
Zouana	4a T	0
Zouana	14 SCV	1
Mambang	3103 T	0
Mambang	3103 SCV	1,5
Mbozo	3105 T	0
Mbozo	3105 SCV	1
Kilwo	2701 T	1
Kilwo	2701 SCV	0
Gawel	3003 T	3
Gawel	3003 SCV	3,5

ANNEXE 11 : Composantes du rendement.**COTONNIER :**

Site	parcelle	poq/m ²	p/poq	p/m ²	IF	BM/p	BM/m ²	BFC/poq	BFC/BM	BFC/m ²
ZOUANA	1	5,00	1,90	9,50	3,34	61,36	582,88	17,00	0,15	85,00
ZOUANA	3b	5,00	1,80	9,00	2,40	46,42	417,81	15,00	0,18	75,00
ZOUANA	4b	5,00	1,70	8,50	1,71	35,04	297,82	15,83	0,27	79,17
ZOUANA	5	5,00	1,90	9,50	4,86	89,42	849,53	21,75	0,13	108,75
ZOUANA	11	5,00	1,90	9,50	3,89	71,43	678,63	17,92	0,13	89,58
ZOUANA	18	4,96	1,70	8,43	2,81	58,14	490,08	16,50	0,17	81,81
ZOUANA	20	4,92	1,70	8,36	2,28	47,42	396,31	18,58	0,23	91,37
MAMBANG	3104 T	4,81	1,50	7,22	1,13	27,30	197,04	13,40	0,33	64,49
MAMBANG	3104 SCV	4,96	1,90	9,42	3,19	59,10	556,75	18,70	0,17	92,72
MBOZO	3106 T	3,94	1,90	7,48	2,97	69,22	517,83	26,60	0,20	104,74
MBOZO	3106 SCV	4,75	1,80	8,55	3,97	81,05	693,02	23,50	0,16	111,63
KILWO	2702 T	4,84	1,90	9,19	4,70	89,51	822,42	22,90	0,13	110,75
KILWO	2702 SCV	4,67	1,90	8,88	5,37	105,80	939,18	16,20	0,08	75,69
KILWO	2706 T	4,54	1,90	8,62	0,63	12,61	108,69	4,30	0,18	19,52
KILWO	2706 SCV	4,38	1,90	8,33	1,99	41,62	346,71	13,30	0,17	58,32
GAWEL	3002a T	4,83	1,90	9,18	1,46	27,62	253,63	7,30	0,14	35,28
GAWEL	3002a SCV	4,43	1,90	8,41	0,69	14,14	118,94	3,00	0,11	13,29
GAWEL	3002b T	4,38	1,70	7,44	1,29	30,14	224,17	13,60	0,27	59,50
GAWEL	3002b SCV	4,88	1,90	9,26	0,63	11,84	109,62	3,20	0,14	15,60
GAWEL	3004a T	3,61	1,40	5,06	0,20	6,71	33,93	0,30	0,03	1,08
GAWEL	3004a SCV	3,98	1,30	5,18	0,30	10,06	52,07	1,10	0,08	4,38
GAWEL	3004b T	3,33	1,50	5,00	0,10	3,41	17,07	0,40	0,08	1,33
GAWEL	3004b SCV	2,87	1,40	4,02	0,21	8,74	35,13	0,80	0,07	2,30

poq : poquet
p : pied
IF : indice foliaire
BM : Biomasse (g)

SORGHO :

Site	Parcelle	poq/m ²	IF	BM/t	BM/m ²	t/poq	t/m ²	pan/t	pan/m ²	gr/pan	gr/m ²
ZOUANA	2	2,50	2,05	195	1708	3,5	8,8	0,97	8,5	731	6220
ZOUANA	3a	2,50	1,84	108	1017	3,8	9,4	0,94	8,8	518	4557
ZOUANA	4a	2,50	2,13	120	997	3,3	8,3	0,98	8,2	567	4623
ZOUANA	14	2,50	1,95	150	1535	4,1	10,2	0,98	10,0	601	6008
MAMBANG	3103 T	3,10	1,50	50	325	2,1	6,5	0,97	6,3	1452	9131
MAMBANG	3103 SCV	3,07	1,77	73	450	2,0	6,1	0,92	5,6	1322	7445
MBOZO	3105 T	2,44	1,63	101	736	3,0	7,3	0,84	6,1	941	5771
MBOZO	3105 SCV	2,41	0,96	65	611	3,9	9,4	0,95	8,9	1146	10213
KILWO	2701 T	2,59	1,76	159	1069	2,6	6,7	1,00	6,7	1338	9017
KILWO	2701 SCV	2,78	2,29	474	3816	2,9	8,1	1,00	8,1	2440	19656
GAWEL	3003 T	1,73	0,66	78	350	2,6	4,5	1,00	4,5	495	2227
GAWEL	3003 SCV	2,05	1,00	70	490	3,4	7,0	0,91	6,3	689	4359

poq : poquet
IF : indice foliaire
BM : biomasse (g)
t : talle
pan : panicule
gr : grains

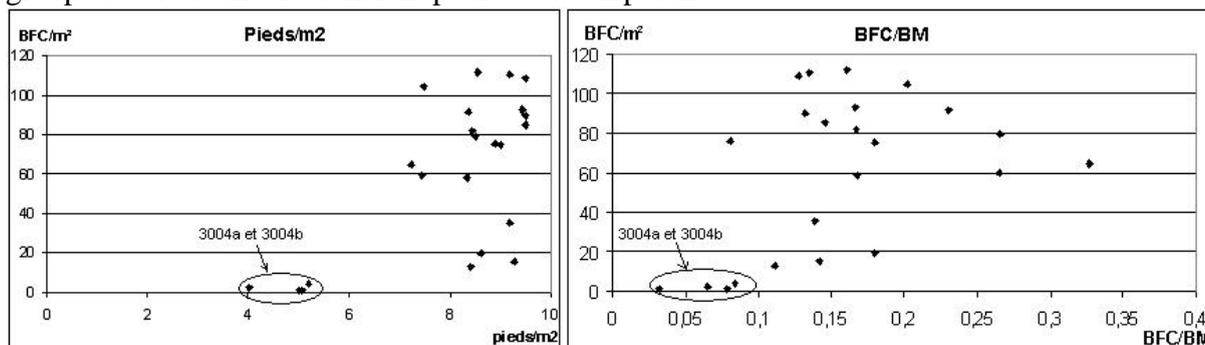
ANNEXE 12 : Poids des composantes dans l'explication des rendements.

LE COTONNIER :

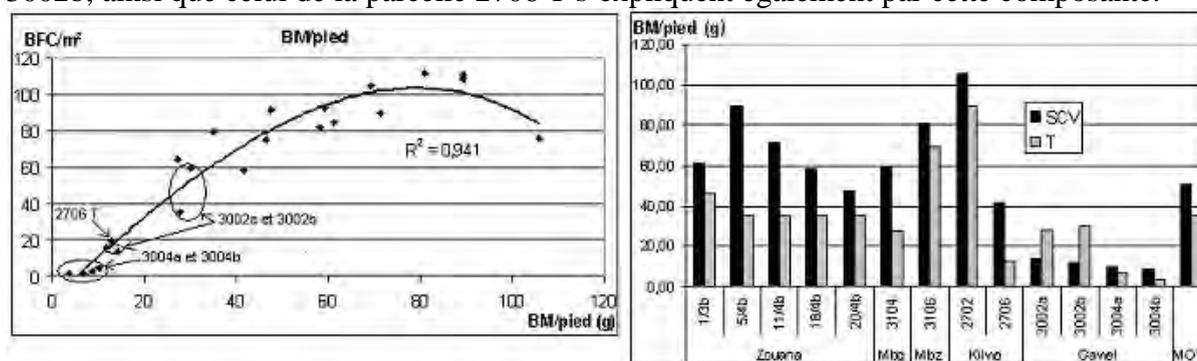
Le rendement est très corrélé à la composante **BM/pied** ($R^2=0,94$). Nous ne décelons aucune corrélation du rendement avec les 2 autres composantes.

Pied/m² : Nous voyons le résultat des problèmes de semis des parcelles des couples 3004a et 3004b. Ces faibles densités expliquent en partie leurs faibles rendements.

BFC/BM : Elle est très variable d'une parcelle à une autre mais n'explique pas le rendement. Le groupe 3004 est encore déficient pour cette composante.



BM/pied : Cette composante explique en grande partie les rendements. En plus des problèmes de levé et de reproduction, les cotonniers des couples 3004a et 3004b se sont très peu développés. Leurs rendements ne pouvaient être que très faibles. Les faibles rendements des couples 3002a et 3002b, ainsi que celui de la parcelle 2706 T s'expliquent également par cette composante.

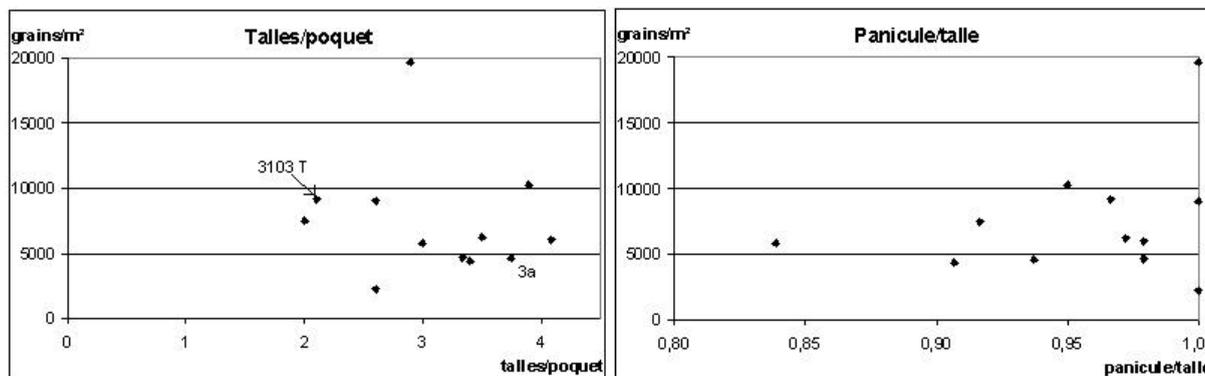


LE SORGHO :

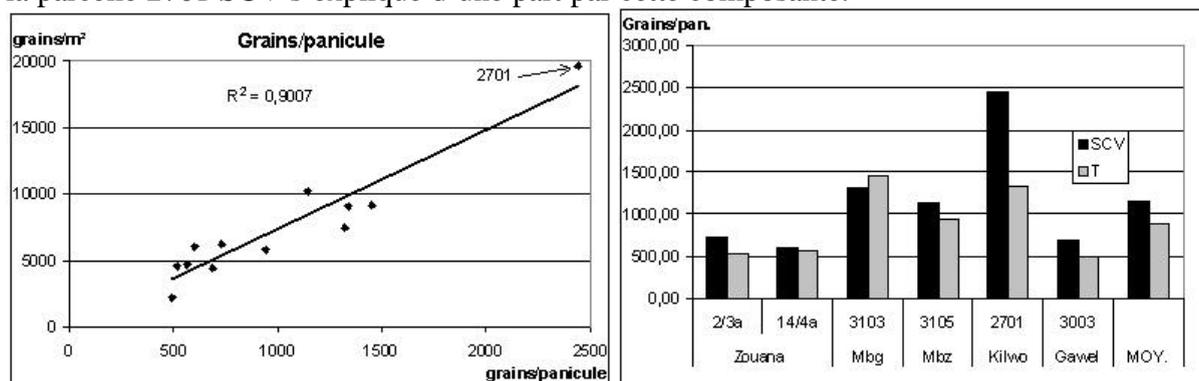
Les principales composantes qui expliquent le rendement sont **grains/panicule** ($R^2=0,90$) et **BM/talle** ($R^2=0,60$). La densité de poquets/m² ($R^2=0,27$) explique très peu le rendement, et nous ne décelons aucune corrélation avec les autres composantes.

Talle/poquet : La parcelle 3103 T illustre qu'un faible tallage n'induit pas un faible rendement, Inversement, la parcelle 3a montre qu'un tallage important n'est pas corrélé à un fort rendement. Cette composante n'explique pas les rendements observés.

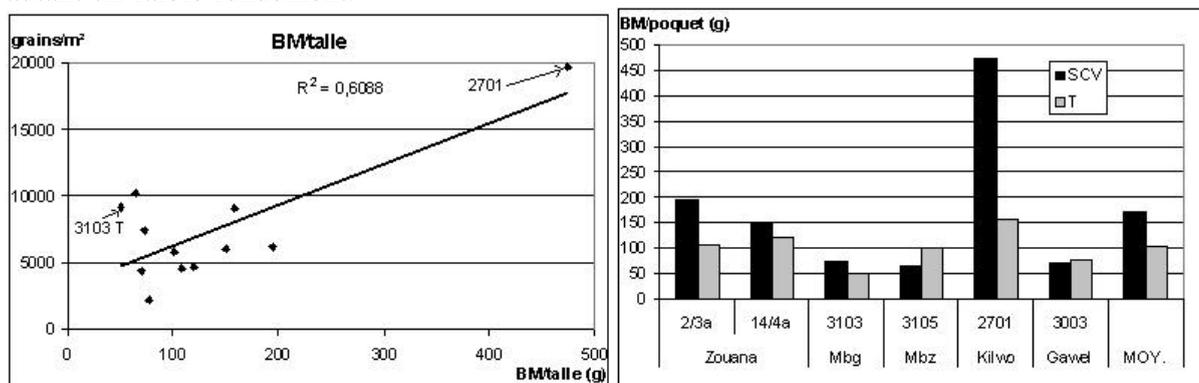
Panicule/poquet : Cette composante n'explique pas davantage les rendements : aucune corrélation n'apparaît avec le rendement.



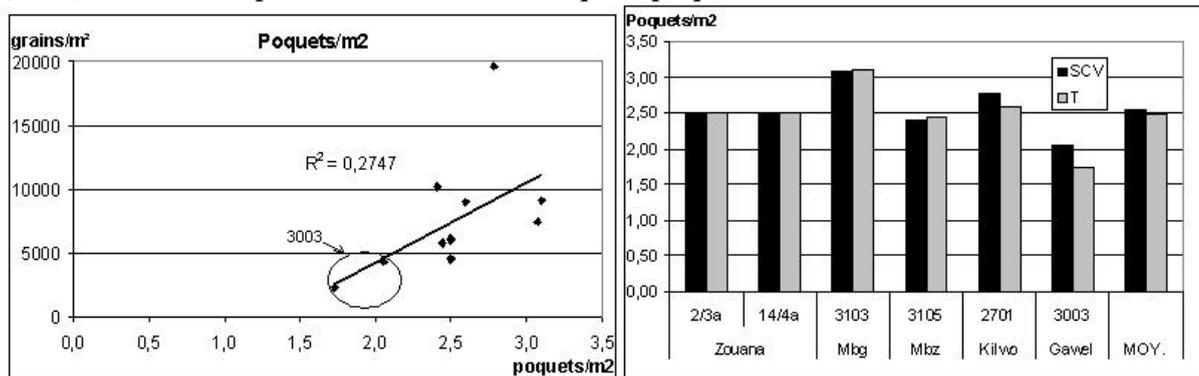
Grains/panicule : C'est la composante qui explique le plus les rendements. Le rendement élevé de la parcelle 2701 SCV s'explique d'une part par cette composante.



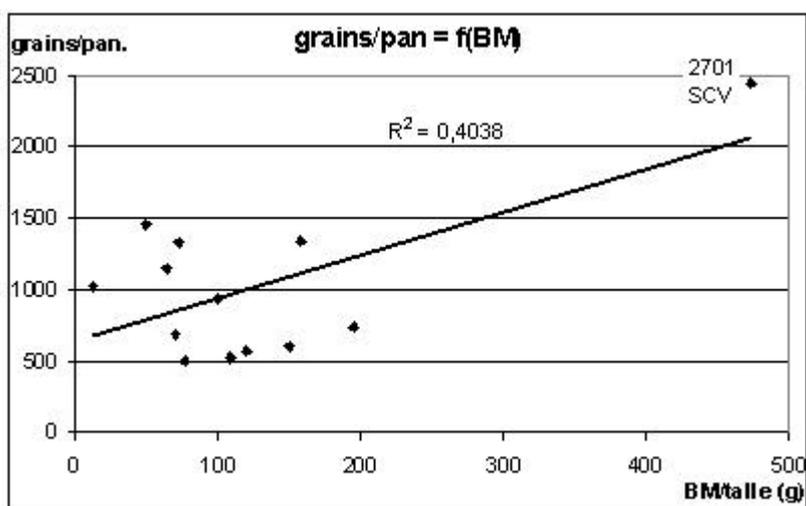
BM/talle : C'est la deuxième composante qui explique les rendements. Le fort rendement de la parcelle 2701 SCV s'explique aussi part la BM/talle. Cette dernière parcelle contribue pour une large part à créer la corrélation. Nous la conservons car ses résultats sont conformes aux observations : les talles étaient effectivement très haut et les panicules plus grosses. Malgré cette corrélation, nous voyons avec la parcelle 3103 T qu'une faible biomasse n'entraîne pas pour autant un faible rendement.



Poquets/m² : Elle explique très peu le rendement final. Nous voyons que les parcelles de Gawel (3003) souffrent de problèmes à la levée, ce qui explique leurs faibles rendements.



Nous avons vérifié que les deux variables explicatrices ne sont pas trop corrélées entre elles (Sans la parcelle 2701 SCV, le R² serait de 0,06).



ANNEXE 13 : Résultats de l'expérience de ruissellement.

Lame d'eau ruisselée en fonction de la hauteur d'eau tombée et de la parcelle. Les « max » indiquent que le bidon a été saturé. Nous n'avons pas pu tenir compte de ces mesures pour calculer les seuils et coefficients de ruissellement des 5 parcelles.

Pluie (mm)	ruiss p2	ruiss p3b	ruiss p4b	ruiss p5	ruiss p11
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
5	0	0	0,5	0	0
6	0	0	0,0	0	0
7	0	0,3	0,3	0	0
7	0	2,3	1,4	0	0,6
8	0	0,9	1,6	0	0,5
9	0	0,3	0,2	0	0,0
9	0	2,8	1,6	0	0,8
12	0	1,4	0,9	0	0,7
12	Pluie séquentielle				
13	0,3	4,9	4,6	0,3	3,1
17	0,7	12,2	8,6	0,2	0,6
18	0,9	0,0	0,0	0,0	3,0
25	6,7	max	max	0,7	max
32	1,2	max	6,9	0,5	4,3
34	0,9	17,1	15,9	0,6	max
36	3,6	max	max	2,4	max
37	6,6	max	max	2,1	max
40	6,5	max	max	1,8	10,2
47	8,1	max	max	0,7	10,1

ANNEXE 14 : Analyses 2) sur PFH

The SAS System 375
17:56 Tuesday, September 14, 2004

----- CULTURE=Coton SYSTEME=SCV -----

General Linear Models Procedure Class Level Information

Class	Levels	Values
DATE	14	02/06/04 10/06/04 11/06/04 14/6 16/6 17/6 21/6 22/6 23/6 25/06/04 28/6 4/6 7/6 8/6
SITE	5	Gawel Kilowo Mambang Mbozo Zouana
PARCELLE	13	11 13 18 20 2702 2706 3004a 3004b 3104 3106 5
CULTURE	1	Coton
SYSTEME	1	SCV
ITK	3	Brachiar Crotalai Niebe
REP	5	1 2 3 4 5

Number of observations in by group = 145

----- CULTURE=Coton SYSTEME=SCV -----

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: PFH

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	7	3659.1595919	522.7370846	3.07	0.0050
Error	137	23354.6748909	170.4720795		
Corrected Total	144	27013.8344828			
	R-Square	C.V.	Root MSE		PFH Mean
	0.135455	36.35859	13.056496		35.910345

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
REP	4	1067.1025480	266.7756370	1.56	0.1871
ITK	3	2592.0570438	864.0190146	5.07	0.0023
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
REP	4	617.8159888	154.4539972	0.91	0.4624
ITK	3	2592.0570438	864.0190146	5.07	0.0023

----- CULTURE=Coton SYSTEME=SCV -----

General Linear Models Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: PFH

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 137 MSE= 170.4721
WARNING: Cell sizes are not equal.
Harmonic Mean of cell sizes= 11.26984

Number of Means 2 3 4
Critical Range 10.88 11.45 11.83

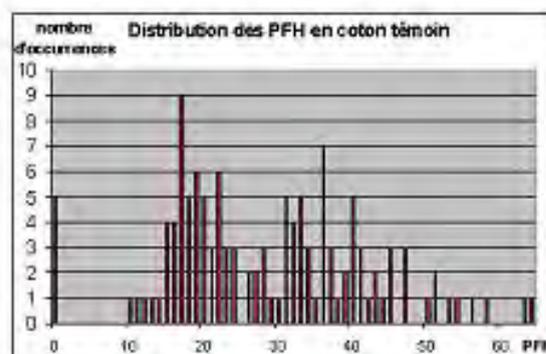
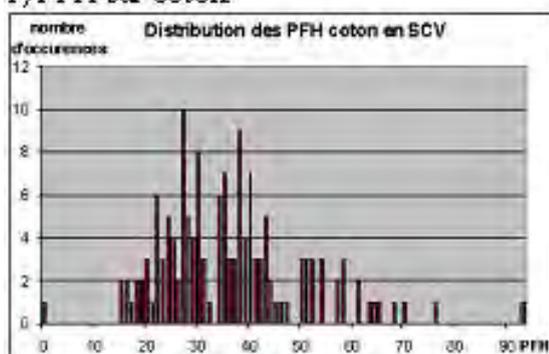
Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	ITK
A	38.921	89	Brachiar
B	31.733	15	Niebe
B	29.324	37	Crotalai

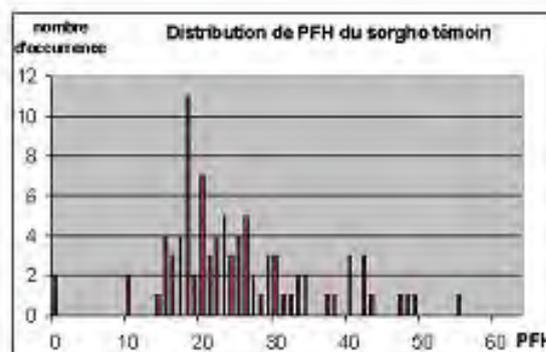
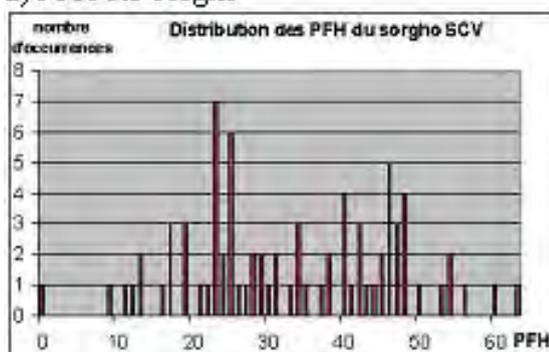
ANNEXE 15 : Distribution des variables

Nous faisons l'hypothèse que chaque distribution est de normale.

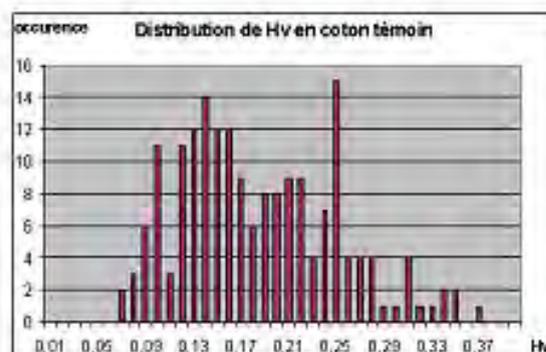
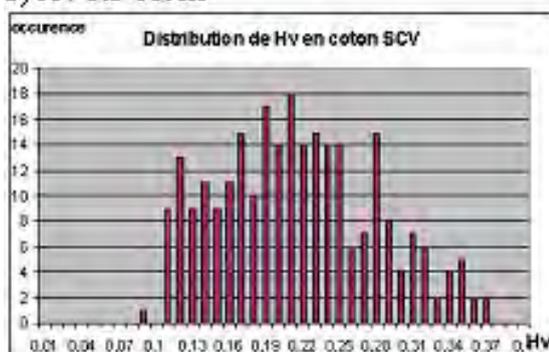
1) PFH sur coton



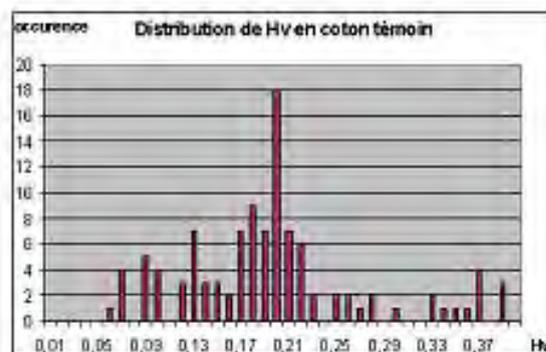
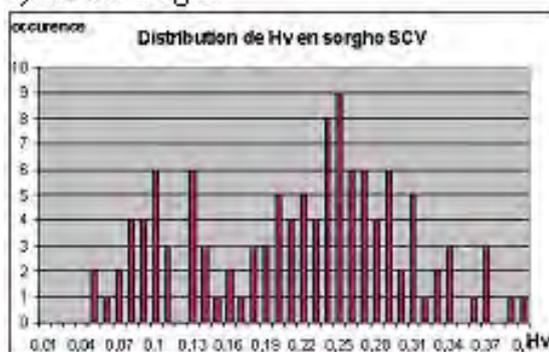
2) PFH sur sorgho



3) Hv sur coton



4) Hv sur sorgho



ANNEXE 16 : Cotonnier : Analyses 2) sur Hv

----- CULTURE=Coton, par ITK -----

General Linear Models Procedure Class Level Information

Class	Levels	Values
SITE	5	Gawel Kilowo Mambang Mbozo Zouana
PARCELLE	15	1 11 18 20 2702 2706 3002a 3002b 3004a 3004b 3104 3106 3b 4b 5
CULTURE	1	Coton
SYSTEME	2	SCV T
ITK	5	Brachiar Crotalai Dolique la sd

Number of observations in by group = 490

NOTE: Due to missing values, only 489 observations can be used in this analysis.

----- CULTURE=Coton -----

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: HV

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	0.34731886	0.08682972	12.04	0.0001
Error	484	3.48971795	0.00721016		
Corrected Total	488	3.83703681			
	R-Square	C. V.	Root MSE		HV Mean
	0.090517	45.33496	0.0849127		0.1873006

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
ITK	4	0.34731886	0.08682972	12.04	0.0001
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
ITK	4	0.34731886	0.08682972	12.04	0.0001

----- CULTURE=Coton -----

General Linear Models Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: HV

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 484 MSE= 0.00721
WARNING: Cell sizes are not equal.
Harmonic Mean of cell sizes= 54.32034

Number of Means	2	3	4	5
Critical Range	.03202	.03371	.03484	.03567

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	ITK
A	0.22237	173	Brachiar
B	0.17714	42	Dolique
B	0.17462	65	Crotalai
B	0.16659	185	la
B	0.14625	24	sd

ANNEXE 17 : Cotonnier : Analyses 3) sur Hv

Horizon 1 = 0-10 cm
 Horizon 2 = 10-20 cm
 Horizon 3 = 20-30 cm
 Horizon 4 = 30-40 cm
 Horizon 6 = 40-60 cm
 Horizon 10= 60-100 cm

The SAS System 531
 17:56 Tuesday, September 14, 2004

----- CULTURE=Coton HORIZON=1, par ITK -----

General Linear Models Procedure
 Class Level Information

Class	Levels	Values
DATE	20	02/08/04 03/08/04 05/08/04 09/07/04 10/08/04 11/08/04 12/08/04 16/08/04 17/08/04 19/07/04 19/08/04 20/07/04 20/08/04 22/07/04 23/07/04 23/08/04 25/08/04 27/07/04 28/07/04 30/07/04
SITE	5	Gawel Kilowo Mambang Mbozo Zouana
PARCELLE	15	1 11 18 20 2702 2706 3002a 3002b 3004a 3004b 3104 3106 3b 4b 5
CULTURE	1	Coton
SYSTEME	2	SCV T
ITK	5	Brachiar Crotalai Dolique la sd

Number of observations in by group = 82

The SAS System 532
 17:56 Tuesday, September 14, 2004

----- CULTURE=Coton HORIZON=1 -----

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: HV

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	0.05899262	0.01474815	2.06	0.0944
Error	77	0.55163177	0.00716405		
Corrected Total	81	0.61062439			
	R-Square	C. V.	Root MSE		HV Mean
	0.096610	42.63230	0.0846407		0.1985366

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
ITK	4	0.05899262	0.01474815	2.06	0.0944
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
ITK	4	0.05899262	0.01474815	2.06	0.0944

The SAS System 533
 17:56 Tuesday, September 14, 2004

----- CULTURE=Coton HORIZON=1 -----

General Linear Models Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: HV

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 77 MSE= 0.007164
 WARNING: Cell sizes are not equal.
 Harmonic Mean of cell sizes= 9.082536

Number of Means 2 3 4 5

Critical Range .07909 .08322 .08595 .08795

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	ITK
A	0.23276	29	Brachiar
A			
A	0.23250	4	sd
A			
A	0.19286	7	Dolique
A			
A	0.18818	11	Crotal ai
A			
A	0.17097	31	la

The SAS System 534
17:56 Tuesday, September 14, 2004

----- CULTURE=Coton HORIZON=10, par ITK -----

General Linear Models Procedure
Class Level Information

Class	Levels	Values
DATE	20	02/08/04 03/08/04 05/08/04 09/07/04 10/08/04 11/08/04 12/08/04 16/08/04 17/08/04 19/07/04 19/08/04 20/07/04 20/08/04 22/07/04 23/07/04 23/08/04 25/08/04 27/07/04 28/07/04 30/07/04
SITE	5	Gawel Kilowo Mambang Mbozo Zouana
PARCELLE	15	1 11 18 20 2702 2706 3002a 3002b 3004a 3004b 3104 3106 3b 4b 5
CULTURE	1	Coton
SYSTEME	2	SCV T
ITK	5	Brachiar Crotal ai Dolique la sd

Number of observations in by group = 82

NOTE: Due to missing values, only 81 observations can be used in this analysis.

The SAS System 535
17:56 Tuesday, September 14, 2004

----- CULTURE=Coton HORIZON=10 -----

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: HV

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	0.14330008	0.03582502	3.46	0.0120
Error	76	0.78792214	0.01036740		
Corrected Total	80	0.93122222			

	R-Square	C. V.	Root MSE	HV Mean
	0.153884	77.22335	0.1018204	0.1318519

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
ITK	4	0.14330008	0.03582502	3.46	0.0120

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
ITK	4	0.14330008	0.03582502	3.46	0.0120

The SAS System 536
17:56 Tuesday, September 14, 2004

----- CULTURE=Coton HORIZON=10 -----

General Linear Models Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: HV

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 76 MSE= 0.010367
 WARNING: Cell sizes are not equal.
 Harmonic Mean of cell sizes= 8.934986

Number of Means 2 3 4 5
 Critical Range .0959 .1010 .1043 .1067

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	ITK
A	0.18241	29	Brachiar
A			
B A	0.11355	31	1a
B A			
B A	0.10571	7	Dolique
B A			
B A	0.10300	10	Crotalai
B A			
B	0.02500	4	sd

The SAS System 537
 17:56 Tuesday, September 14, 2004

----- CULTURE=Coton HORIZON=2, par ITK -----

General Linear Models Procedure
Class Level Information

Class	Levels	Values
DATE	20	02/08/04 03/08/04 05/08/04 09/07/04 10/08/04 11/08/04 12/08/04 16/08/04 17/08/04 19/07/04 19/08/04 20/07/04 20/08/04 22/07/04 23/07/04 23/08/04 25/08/04 27/07/04 28/07/04 30/07/04
SITE	5	Gawel Kilowo Mambang Mbozo Zouana
PARCELLE	15	1 11 18 20 2702 2706 3002a 3002b 3004a 3004b 3104 3106 3b 4b 5
CULTURE	1	Coton
SYSTEME	2	SCV T
ITK	5	Brachiar Crotalai Dolique 1a sd

Number of observations in by group = 82

The SAS System 538
 17:56 Tuesday, September 14, 2004

----- CULTURE=Coton HORIZON=2 -----

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: HV

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	0.02439032	0.00609758	1.45	0.2266
Error	77	0.32445846	0.00421375		
Corrected Total	81	0.34884878			
	R-Square	C. V.	Root MSE		HV Mean
	0.069917	31.64624	0.0649134		0.2051220
Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
ITK	4	0.02439032	0.00609758	1.45	0.2266
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
ITK	4	0.02439032	0.00609758	1.45	0.2266

The SAS System 539
17:56 Tuesday, September 14, 2004

----- CULTURE=Coton HORIZON=2 -----

General Linear Models Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: HV

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 77 MSE= 0.004214
WARNING: Cell sizes are not equal.
Harmonic Mean of cell sizes= 9.082536

Number of Means	2	3	4	5
Critical Range	.06066	.06382	.06592	.06745

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	ITK
A	0.22621	29	Brachiar
A			
A	0.22000	4	sd
A			
A	0.20091	11	Crotalai
A			
A	0.19286	7	Dolique
A			
A	0.18774	31	la

The SAS System 540
17:56 Tuesday, September 14, 2004

----- CULTURE=Coton HORIZON=3, par ITK -----

General Linear Models Procedure
Class Level Information

Class	Levels	Values
DATE	20	02/08/04 03/08/04 05/08/04 09/07/04 10/08/04 11/08/04 12/08/04 16/08/04 17/08/04 19/07/04 19/08/04 20/07/04 20/08/04 22/07/04 23/07/04 23/08/04 25/08/04 27/07/04 28/07/04 30/07/04
SITE	5	Gawel Kilowo Mambang Mbozo Zouana
PARCELLE	15	1 11 18 20 2702 2706 3002a 3002b 3004a 3004b 3104 3106 3b 4b 5
CULTURE	1	Coton
SYSTEME	2	SCV T
ITK	5	Brachiar Crotalai Dolique la sd

Number of observations in by group = 82

The SAS System 541
17:56 Tuesday, September 14, 2004

----- CULTURE=Coton HORIZON=3 -----

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: HV

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	0.02300750	0.00575187	1.35	0.2576
Error	77	0.32695348	0.00424615		
Corrected Total	81	0.34996098			
	R-Square	C.V.	Root MSE		HV Mean
	0.065743	30.77951	0.0651625		0.2117073
Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F

ITK	4	0.02300750	0.00575187	1.35	0.2576
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
ITK	4	0.02300750	0.00575187	1.35	0.2576

The SAS System 542
17:56 Tuesday, September 14, 2004

----- CULTURE=Coton HORIZON=3 -----

General Linear Models Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: HV

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 77 MSE= 0.004246
WARNING: Cell sizes are not equal.
Harmonic Mean of cell sizes= 9.082536

Number of Means	2	3	4	5
Critical Range	.06089	.06407	.06617	.06771

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	ITK
A	0.23172	29	Brachiar
A			
A	0.21750	4	sd
A			
A	0.21364	11	Crotalai
A			
A	0.20571	7	Dolique
A			
A	0.19290	31	la

The SAS System 543
17:56 Tuesday, September 14, 2004

----- CULTURE=Coton HORIZON=4, par ITK -----

General Linear Models Procedure
Class Level Information

Class	Levels	Values
DATE	20	02/08/04 03/08/04 05/08/04 09/07/04 10/08/04 11/08/04 12/08/04 16/08/04 17/08/04 19/07/04 19/08/04 20/07/04 20/08/04 22/07/04 23/07/04 23/08/04 25/08/04 27/07/04 28/07/04 30/07/04
SITE	5	Gawel Kilowo Mambang Mbozo Zouana
PARCELLE	15	1 11 18 20 2702 2706 3002a 3002b 3004a 3004b 3104 3106 3b 4b 5
CULTURE	1	Coton
SYSTEME	2	SCV T
ITK	5	Brachiar Crotalai Dolique la sd

Number of observations in by group = 81

The SAS System 544
17:56 Tuesday, September 14, 2004

----- CULTURE=Coton HORIZON=4 -----

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: HV

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	0.04992698	0.01248175	2.64	0.0399
Error	76	0.35876190	0.00472055		
Corrected Total	80	0.40868889			

R-Square	C. V.	Root MSE	HV Mean
0.122164	33.72853	0.0687063	0.2037037

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
ITK	4	0.04992698	0.01248175	2.64	0.0399
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
ITK	4	0.04992698	0.01248175	2.64	0.0399

The SAS System 545
17:56 Tuesday, September 14, 2004

----- CULTURE=Coton HORIZON=4 -----

General Linear Models Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: HV

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 76 MSE= 0.004721
WARNING: Cell sizes are not equal.
Harmonic Mean of cell sizes= 9.06483

Number of Means	2	3	4	5
Critical Range	.06428	.06763	.06985	.07147

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	ITK
A	0.23655	29	Brachiar
A	0.19429	7	Dolique
A	0.18633	30	la
A	0.18250	4	sd
A	0.17818	11	Crotalai

The SAS System 546
17:56 Tuesday, September 14, 2004

----- CULTURE=Coton HORIZON=6, par ITK -----

General Linear Models Procedure
Class Level Information

Class	Levels	Values
DATE	20	02/08/04 03/08/04 05/08/04 09/07/04 10/08/04 11/08/04 12/08/04 16/08/04 17/08/04 19/07/04 19/08/04 20/07/04 20/08/04 22/07/04 23/07/04 23/08/04 25/08/04 27/07/04 28/07/04 30/07/04
SITE	5	Gawel Kilowo Mambang Mbozo Zouana
PARCELLE	15	1 11 18 20 2702 2706 3002a 3002b 3004a 3004b 3104 3106 3b 4b 5
CULTURE	1	Coton
SYSTEME	2	SCV T
ITK	5	Brachiar Crotalai Dolique la sd

Number of observations in by group = 81

The SAS System 547
17:56 Tuesday, September 14, 2004

----- CULTURE=Coton HORIZON=6 -----

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: HV

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	0.17745129	0.04436282	5.30	0.0008
Error	76	0.63574871	0.00836511		
Corrected Total	80	0.81320000			
	R-Square	C. V.	Root MSE		HV Mean
	0.218214	53.10639	0.0914610		0.1722222

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
ITK	4	0.17745129	0.04436282	5.30	0.0008

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
ITK	4	0.17745129	0.04436282	5.30	0.0008

The SAS System 548
17:56 Tuesday, September 14, 2004

----- CULTURE=Coton HORIZON=6 -----

General Linear Models Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: HV

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 76 MSE= 0.008365
WARNING: Cell sizes are not equal.
Harmonic Mean of cell sizes= 9.062263

Number of Means	2	3	4	5
Critical Range	.08558	.09004	.09300	.09516

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	ITK
A	0.22464	28	Brachiar
A			
A	0.17143	7	Dolique
A			
A	0.15727	11	Crotalai
A			
A	0.14871	31	la
B	0.03000	4	sd

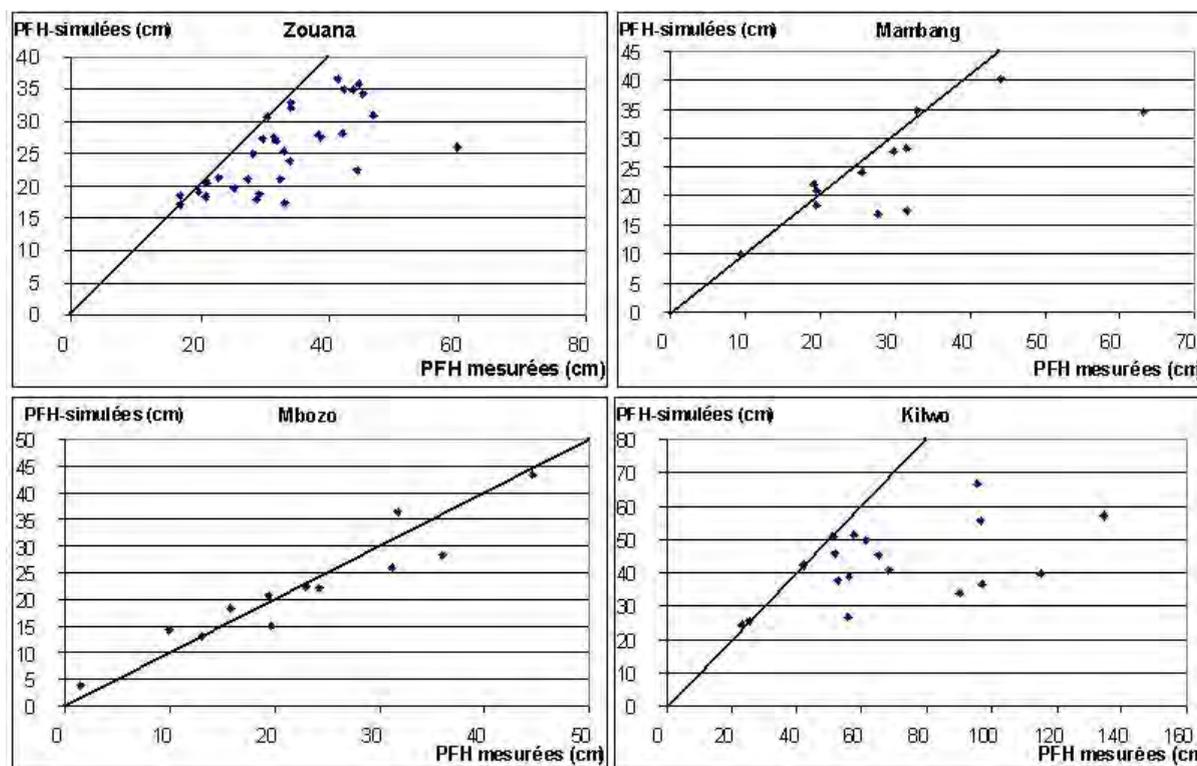
ANNEXE 18 : Adéquation du modèle avec les données mesurées.

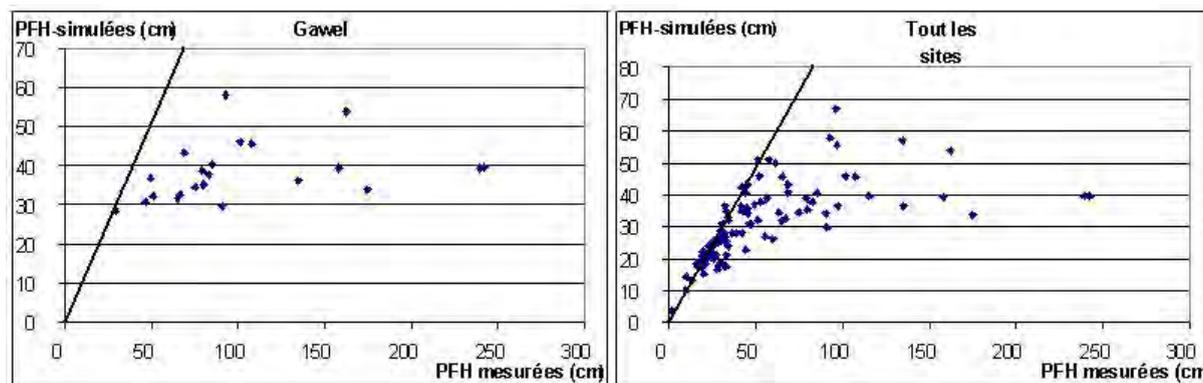
Les modifications des paramètres dues au calage sont présentés sur le tableau suivant. Du fait de la surestimation de la RU, nous avons dû considérablement augmenter l'indice foliaire et la profondeur racinaire pour que la culture transpire plus. Nous avons souvent baissé le coefficient d'évaporation du sol afin de mieux rendre compte des données de profondeur de front d'humectation.

Modifications des paramètres lors du calage.

	Avant calage		Après calage	
	moyenne	écartype	moyenne	écartype
Profondeur racinaire potentielle (mm):	457	92	583	164
Indice foliaire de la culture :	1,99	1,37	2,45	1,23
Durée Kc ini	20,0	0,0	20,0	0,0
Durée Kc ↑	38,3	2,4	37,3	4,9
Durée Kc mid	48,3	2,4	49,7	3,2
seuil de ruissellement (mm):	7,93	0,97	7,78	1,61
coefficient de ruissellement (mm/mm):	0,313	0,092	0,312	0,176
Coefficient d'évaporation du sol :	0,70	0,00	0,50	0,19

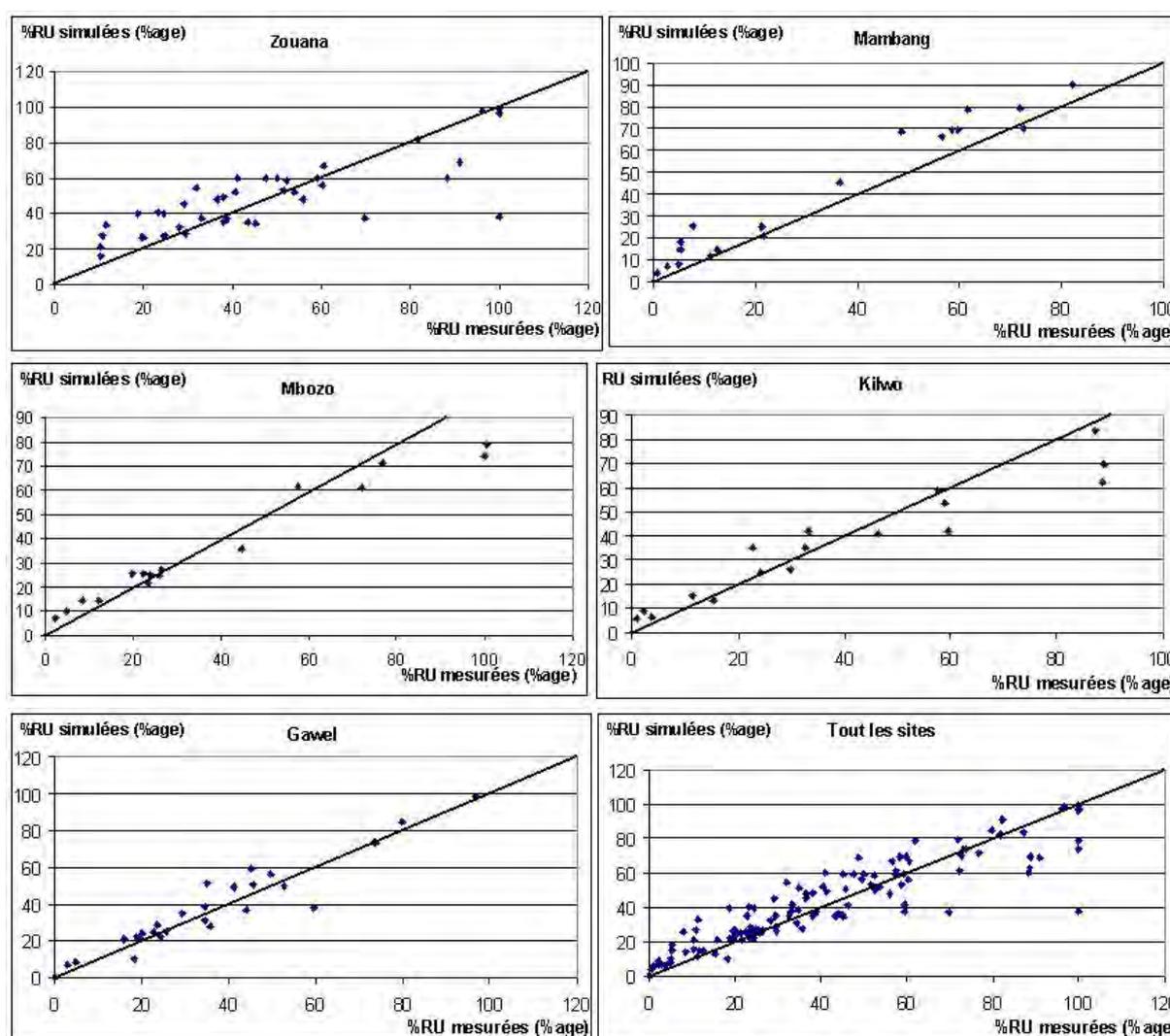
Nous interrogeons maintenant sur l'adéquation du modèle une fois calé avec les données mesurées. Ces données mesurées sont la profondeur du front d'humectation (PFH) et le %age de remplissage de la RU sur 1m (%RU). Sur les graphiques suivants figurent en abscisse la valeur mesurée et en ordonnée la valeur simulée. La droite d'équation $y=x$ représente l'axe sur lequel devraient figurer les points pour un modèle en parfaite adéquation avec la réalité. La distance **verticale** d'un point par rapport à cette droite est proportionnelle à l'erreur du modèle.

Adéquation du modèle avec les mesures de la profondeur du front d'humectation (PFH) :



Sur la dernière figure intitulée « Tous les sites », nous voyons que le modèle a tendance à sous-estimer la profondeur du front d’humectation. Cette tendance se retrouve sur tous les sites à l’exception de Mbozo. Nous avons d’abord interprété cette sous-estimation comme l’indice d’une surestimation de la RU. Cette hypothèse a été confirmée à la fin du stage.

Adéquation du modèle avec les mesures du %age de remplissage de la RU sur 1m (%RU) :



Le modèle estime mieux les %RU. Cependant, les «%RU mesurée» ont été calculées à partir des données d’humidités volumique, mais avec de mauvais paramètres Hcr et Hv. Il en résulte que le modèle est calé sur de mauvaises données. Son adéquation avec «%RU mesuré» ne permet donc pas d’affirmer que le modèle rend bien compte de cette variable.

ANNEXE 19 : Paramétrage de la parcelle 3003 SCV avec RU = RUini/1,8.

En diminuant la RU, le calage est meilleur. Le pourcentage correspond à (s-m)/m, avec s : donnée simulée et m : donnée mesurée.

	Initial	RU/1,8
PFH	82,6%	23,0%
%RU	46,6%	28,0%
moyenne	64,6%	25,5%

ANNEXE 20 : Résultats des simulations**COTONNIER :**

	n° par.	sys	Pluie cycle	Ruis	Dr	ETR totale	Ksccl	Kslev	Ksflo
zouana	1	SCV	457,5	61	91	316	0,56	0,36	0,46
	3b	T	457,5	169	28	268	0,6	0,39	0,53
	4b	T	457,5	124	45	299	0,51	0,31	0,39
	5	SCV	457,5	11	100	360	0,61	0,34	0,5
	11	SCV	457,5	68	79	322	0,57	0,35	0,46
	18	SCV	457,5	65	79	329	0,59	0,34	0,49
	20	SCV	457,5	109	80	280	0,58	0,38	0,54
Mam.	3104	T	647	378	14	266	0,58	0,33	0,66
	3104	SCV	647	107	89	479	0,81	0,55	0,89
Mbo.	3106	T	484	38	23	422	0,6	0,32	0,66
	3106	SCV	484	11	49	425	0,65	0,36	0,66
kilwo	2702	T	422	47	55	333	0,42	0,35	0,56
	2702	SCV	422	43	56	330	0,5	0,41	0,64
	2706	T	371	60	68	216	0,59	0,32	0,86
	2706	SCV	372	4	110	275	0,64	0,5	0,78
gawel	3002a	T	464	139	28	302	0,62	0,44	0,7
	3002a	SCV	464	96	98	251	0,73	0,45	0,85
	3002b	T	464	83	72	314	0,63	0,43	0,75
	3002b	SCV	464	99	118	247	0,7	0,43	0,82
	3004a	T	420	102	85	207	0,61	0,37	0,73
	3004a	SCV	420	76	95	258	0,65	0,39	0,76
	3004b	T	420	94	88	193	0,61	0,37	0,73
	3004b	SCV	420	86	91	262	0,57	0,36	0,68

SORGHO :

	n° par.	sys	Pluie cycle	Ruis	Dr	ETR totale	Ksccl	Kslev	Ksflo
Zouana	2	SCV	480,5	41	61	389	63%	0,27	0,55
	3a	T	480,5	88	86	316	64%	0,29	0,69
	4a	T	480,5	91	40	358	56%	0,27	0,43
	14	SCV	480,5	28	128	368	62%	0,29	0,65
Mam	3103	T	682	208	97	399	64%	0,24	0,88
	3103	SCV	682	43	176	483	64%	0,22	0,91
Mbo.	3105	T	484	153	14	317	56%	0,34	0,66
	3105	SCV	484	108	16	360	61%	0,35	0,78
Kil.	2701	T	425	77	76	365	47%	0,48	0,6
	2701	SCV	425	61	5	361	51%	0,55	0,58
Gaw.	3003	T	474	155	76	264	60%	0,21	0,95
	3003	SCV	474	218	37	235	50%	0,22	0,75

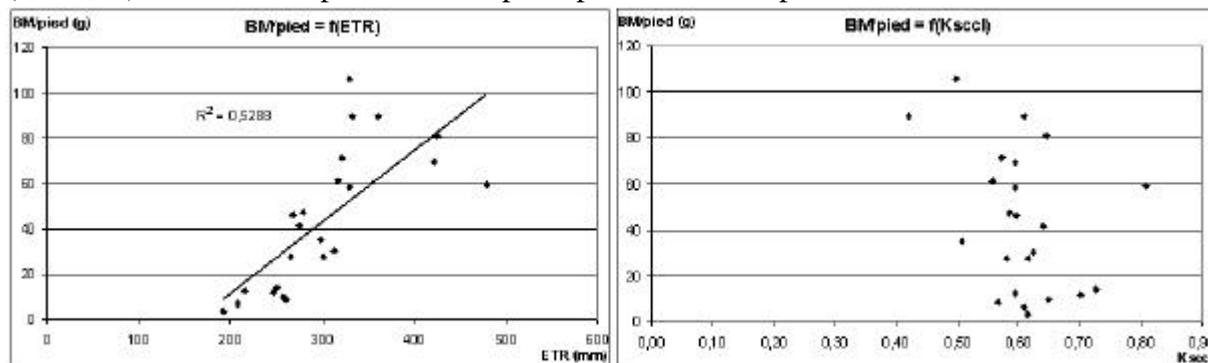
ANNEXE 21 : Poids du facteur hydrique dans l'explication des rendements.

Rappelons que cette analyse ne peut prétendre rendre compte de la réalité. Nous voulons simplement illustrer le fait que le facteur hydrique peut être déterminant dans l'explication des rendements. Cette hypothèse devra être vérifiée en tenant compte des véritables RU. Sur les graphiques, nous avons figuré en abscisse la variable hydrique et en ordonnée la composante du rendement susceptible de lui être corrélée.

LE COTONNIER :

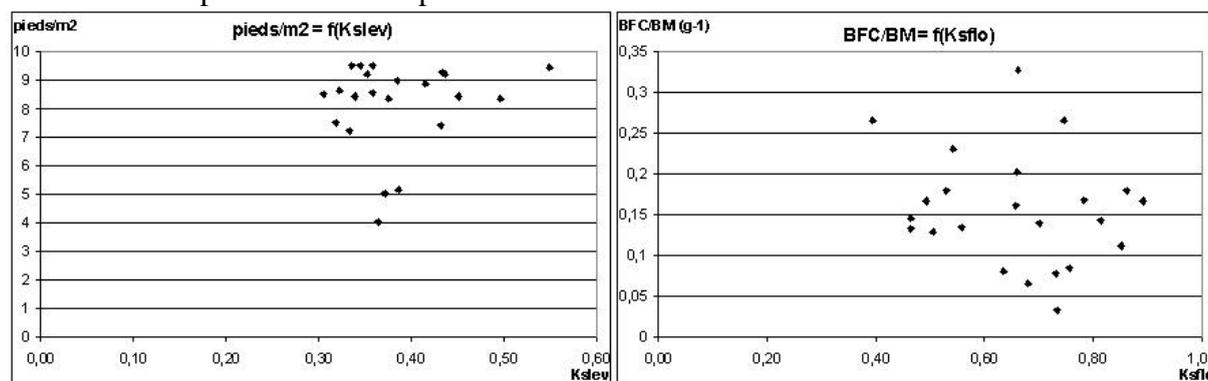
La BM/pied :

Nous constatons que la variable BM/pied est corrélée à la consommation ETR pendant le cycle ($R^2=0,53$). Or cette composante est la principale variable explicatrice des rendements.



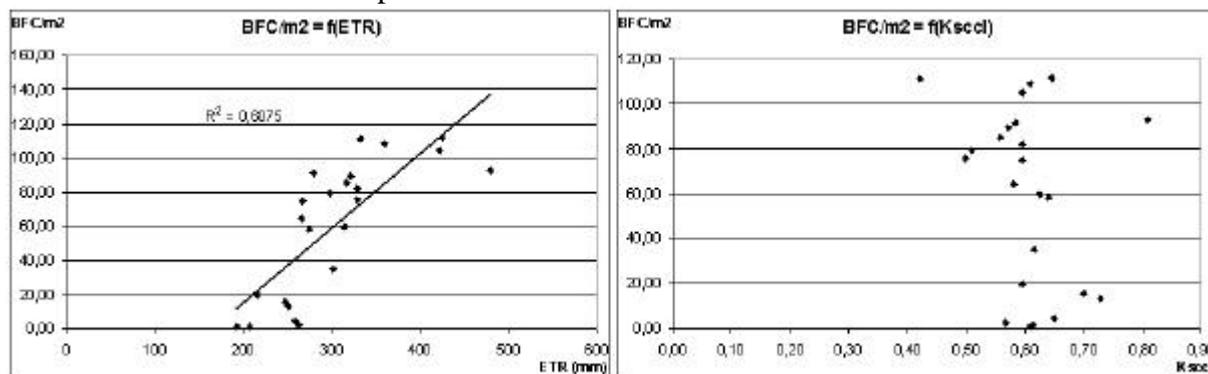
Les autres composantes :

Les autres composantes ne sont pas corrélées au taux de satisfaction du couvert.



Le rendement

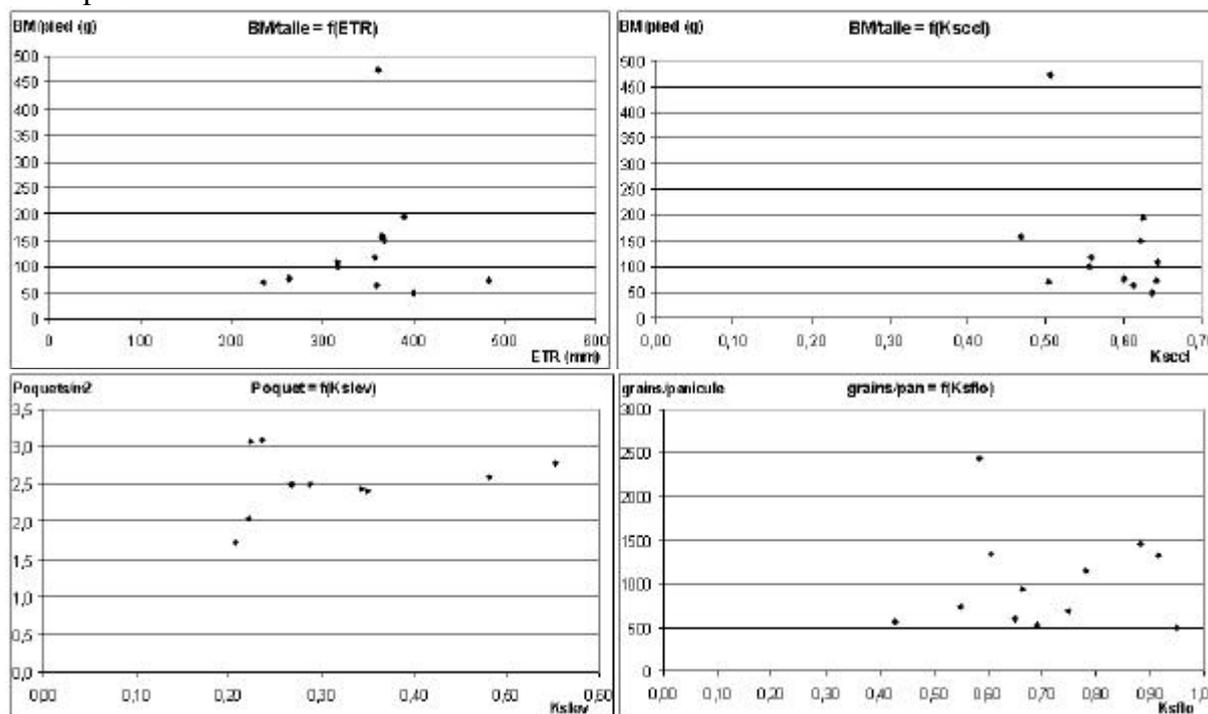
Les rendement final est corrélé à ETR ($R^2=0,61$). Cela provient en grande partie de l'effet de la consommation ETR sur BM/pied.



LE SORGHO

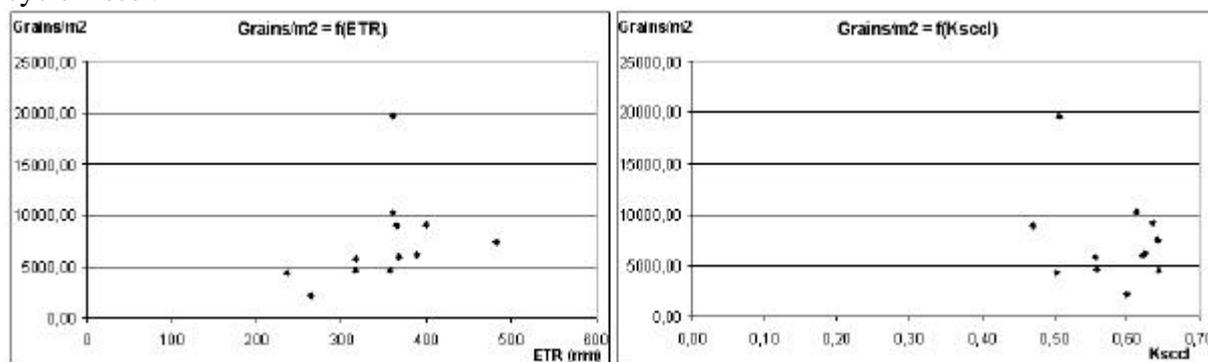
Les composantes du rendement :

Aucune composante du rendement du sorgho n'est corrélée à la variable hydrique qui lui correspond.



Le rendement :

Le rendement final n'est pas corrélée à la consommation ETR ou au taux de satisfaction pendant le cycle Kscl.



Summary

In the Extrem-north of Cameroun, conventional cropping system of sorghum and cotton imply tillage operations as well as the absence of return of organic matter. Since a few years, a process of soil degradation has been noticed, inducing the increase of water run-off and the loss of water for agriculture while water resource is already limited. Inquiries link this degradation to the conventional practices. Since 2001, Sodecoton has been testing and diffusing cropping systems based on sowing under plant cover (In french : semis direct sur couverture végétale = SCV). These are a set of systems with a direct seedling of the crop, no tillage operation, no mechanical weeding and a cover of residual vegetation (Seguy & *al.*, 1996). In the province, some cotton fields are mulched with straws from sorghum and an associated plant. These systems are known for fighting efficiently against water run-off thanks to the mechanical action of the mulch (on the short term) and to the stabilisation of the soil's structure (on the long term). An increase of cotton's yields has been observed with these systems. Some scientists think this increase is mainly due to the positive effects of SCV systems on water run-off, increasing water availability and water use by the plants. The study purpose is to test this hypothesis by evaluating the modification of water balance in SCV systems and the effects due to it on the yields.

The study is focused on cotton/sorgho crops rotation and investigates the effects of different mulch types on cotton crop. It takes place in both controlled station and farmers fields offering a diversity of production contexts. So 35 plots have been followed, spread in 5 places.

We have measured the water run-off on 5 plots in order to observe the direct effects of SCV systems. We have measured the availability of water in the plots and we have used these data to adjust parameters of a water balance model so that it would give us the water consumption of the vegetation. Last, we have estimated the effects of the water factor on the yield and its component.

- We first verified that yields on SCV plots are stable for sorghum and higher for cotton crop (at the condition they are technically well driven). Then we identified the components which are linked to the yields and quantified the effects of SCV system on each.

- Thanks to the water run-off experiment we made the assumption that : A2) the most efficient mulch for cotton crop cover uses *Brachiaria* and A3) long-term effects are important.

- Water availability measurements showed that water availability increase in SCV, that hypotheses A2) is right and confirmed A3).

- Because of problems about the estimation of the soil water stock capacity, we can't use the model to show the SCV increase water use by plants. But show what *could't* be the effects of SCV. Results of water balance simulations showed that, for the cotton plant, vegetation consumption is better in SCV. These results let us make the assumption that it is also true for the sorghum, even if there is a competition with the associated plant for water.

- Finally, we showed that the consumption of the cotton plant cover is linked to the main yield components. For the sorghum, we haven't found any correlation.

SCV systems allow the improvement of the availability of water thanks to a better infiltration in the soil. The result could be a better consumption of the vegetation in the case of the cotton crop. The consumption could explain partly the yield improvement observed.