

**MINISTERE DE L 'AGRICULUTRE
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE DE MONPTELLIER**

THESE

présentée à l 'Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier

pour obtenir: **le DIPLÔME DE DOCTORAT**

Spécialité: SCIENCES DU SOL

Ecole Doctorale: Biologie intégrative

**EVALUATION DE L'EFFET ET DE LA
FAISABILITE DU TRAVAIL DU SOL SUR LE
SORGHO PHOTO-SENSIBLE A SARIA
(BURKINA FASO)**



par:

BARRO

Albert



Soutenu le **21/12/1999**

devant le jury composé de:

M. REMY Jean Claude : Professeur Agronomie ENSAM:

Président

M. MANICHON Hubert :Professeur Agronomie INA-PG:

Directeur de thèse

M. LETERME Philippe: Professeur: Agronomie: ENSAR:

Rapporteur

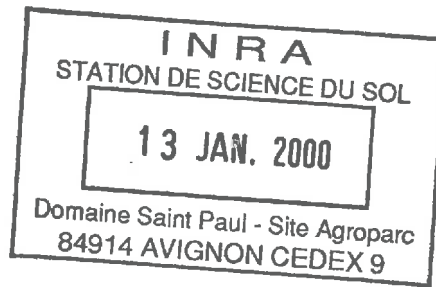
M. FIES Jean Claude: Directeur de recherche: Sciences du sol INRA AVIGNON: Rapporteur

Examineur

M. CHOPART Jean Louis : CIRAD AMIS:

Centre International de Recherche
Agronomique et de Développement
(**CIRAD**)

Centre National de recherche Scientifiques et technologiques
(**CNRST**).
Institut de l 'Environnement et recherches agricoles
(**INERA**)



« TOUT ROYAUME DIVISE CONTRE LUI-
MEME COURT A LA RUINE ; AUCUNE
VILLE, AUCUNE FAMILLE DIVISEE
CONTRE ELLE-MEME NE SE
MAINTIENDRA. » MT. 12.25.

A ma Chère épouse Clarisse,

Et à mes enfants Arnaud Pascal et Euphrasie Laurence.

Remerciements.

Ce travail a pu être réalisé grâce au Professeur Jean Claude REMY de la Chaire de sciences du sol à Montpellier. Malgré ses occupations multiples, il a trouvé le temps nécessaire au suivi des activités à toutes les phases de déroulement des travaux. Je voudrais par ces mots lui adresser mes remerciements sincères.

Je remercie de tout mon cœur le Professeur Hubert MANICHON qui a accepté de diriger les travaux de la conception des protocoles à la rédaction du mémoire. Au-delà de ses fonctions de Directeur du CIRAD-CA et de Délégué du CIRAD en Guadeloupe, il a suivi les travaux à tous les instants. Je voudrais qu'il accepte mes remerciements pour l'appui financier déterminant qu'il a apporté à la réalisation des travaux de terrain depuis 1996. Les travaux de terrains ont été menacés maintes fois dans leurs exécutions par les difficultés financières. Pédagogue patient, il m'a gratifié de son expérience sur l'étude des systèmes de culture et des méthodes de diagnostic par l'examen des composantes du rendement. L'appui du CIRAD a été important. Que Messieurs Jacques DUBERNARD et Georges SUBREVILLE respectivement Délégué du CIRAD- BURKINA entre 1996 et 1999, soient remerciés pour leur appui administratif qui a facilité la communication entre Saria et Montpellier pendant les périodes des travaux de terrain.

Mes remerciements vont à Monsieur. Florent MARAUX qui, en dépit de ses fonctions de Chef de Programme AMIS au CIRAD a trouvé le temps nécessaire au suivi des travaux.

Que Monsieur Jean Louis CHOPART soit remercié pour le suivi qu'il a réalisé pendant les périodes d'étude sur le terrain à Saria et dans la phase de rédaction à Montpellier. Il a su me faire profiter de son expérience sur le travail du sol au Sénégal et en Côte D'Ivoire.

Mes remerciements vont à Monsieur Michel SEDOGO Délégué Général du CRNST et à Monsieur. Paco SEREME Directeur de l'INERA, pour les efforts qu'ils ont faits afin que je puisse m'engager dans ce travail.

A travers Madame AVAZERI je remercie La coopération Française qui a assuré le financement des travaux depuis 1997 entre le Burkina Faso et la France.

Je dis merci à Monsieur Christian BARON du programme AMIS pour l'appui qu'il m'a apporté et les modifications faites sur le logiciel SARRA.

Que Mesdames Nicole FAUTRAT, Josette APPE, Patricia CHEIKHE et Messieurs. Marc ROCH, Ives BENESTANT et Jacques TEISSIER soient remerciés pour l'aide qu'ils ont apporté chaque fois que cela était nécessaire au cours de ces trois années.

Je voudrais adresser mes remerciements sincères à toute l'équipe ECOTROP qui m'a accueilli et mis à ma disposition les moyens matériels nécessaires au bon déroulement des analyses et de la rédaction du mémoire.

Mes remerciements vont à tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation des ces travaux au Burkina Faso. Je ne puis terminer sans remercier et encourager les efforts des Techniciens Adama ZONGO et Martin ZONGO qui ont réalisé les observations sur le terrain.

TABLE DES MATIERES

Table des matières	3
Liste des symboles et des abréviations.....	6
INTRODUCTION GENERALE.....	8
CHAPITRE I : Contraintes et voies d'amélioration de la production du sorgho.....	11
I- Les conditions climatiques	11
I-1 Les précipitations.....	11
I-2 L'insolation à la station de Saria.....	14
I-3 Les vents.....	14
I-4 L'humidité relative de l'air.....	14
I-5 Les températures.....	16
I-6 L'évapotranspiration potentielle.....	16
I-7 L'aridité du climat	17
I-8. Conclusion.....	18
II- LA SITUATION ACTUELLE DE LA CEREAUCULTURE AU BURKINA FASO.....	19
II-1 L'évolution des superficies	19
II-2 L'évolution de la production du sorgho au Bulkiemdé.....	20
III- Les voies d'amélioration de la production.....	21
III-1 La sélection variétale.....	21
III-1.1 La taille de la plante.....	21
III-1.2 La photosensibilité.....	21
III-1.3 Les techniques culturales.....	22
III-1.4 La technologie alimentaire.....	22
III-2 La fertilisation.....	22
III-3 L'irrigation et la conservation des eaux et du sol.....	23
III-4 Les techniques de travail du sol et d'économie d'eau à la parcelle	23
IV- Contraintes et facteurs favorables à la production du sorgho	25
CHAPITRE II : Diagnostic des pratiques paysannes d'installation du sorgho dans la région de Saria.....	26
I- INTRODUCTION.....	26
II- MATERIEL ET METHODE.....	27
II.1- site de l'étude.....	27
II-2 Les variétés de sorgho.....	30
II-3 Le sol.....	30
II-4 Le matériel de préparation du sol en milieu paysan.....	30
II-5 Méthode d'analyse des rendements et de leurs composantes	32
II-6 Méthode d'étude de l'alimentation hydrique du sorgho.....	33
III – RESULTATS – DISCUSSIONS.....	34
III.1 La diversité des exploitations.....	34
III-1.1 La superficie des exploitations	34
III-1.2 La profondeur du sol.....	36
III-1.3 Structure des échantillons de parcelles étudiés en 1997 et 1998.....	39
III-2 Calendrier de mise en place et d'entretien des cultures.....	42

III-2.1 Travail du sol.....	42
III-2.2 Le semis	46
III-2.3 Dates de semis et dates des sarclages.	47
III-3 Analyse de la variabilité des rendements du sorgho.....	50
III-3.1 Variabilité des rendements en grains : effet de la profondeur du sol, du travail du sol et du précédent cultural	50
III.3.3 Elaboration de diagnostics.....	61
IV- CONCLUSIONS ET DISCUSSIONS SUR LES PRATIQUES PAYSANNES D'INSTALLATION DU SORGHO	72
CHAPITRE III - Evaluation de l'effet de la date de semis et de la préparation du sol sur la culture du sorgho : Etude expérimentale à la Station de Saria.	76
I- Introduction.....	76
II- Matériel et méthode.....	78
II-1 Dispositif expérimental et traitements.....	78
II-2 Méthode d'évaluation du système racinaire du sorgho.	78
II- 3 Méthode d'évaluation de la biomasse de la culture.	79
II- 4 Méthode d'étude du bilan hydrique.	79
III- Résultats-discussions.	82
III-1 Détermination de la liaison entre le nombre d'impacts sur la face transversale et la longueur réelle des racines {Saria en 1997}.....	82
III-2 La longueur des racines	82
III-3 La production de biomasse aérienne sur les parcelles	87
III-4 Satisfaction des besoins en eau des parcelles.....	90
III-5 La production de grain	92
III-6 Etude comparative des résultats du milieu paysan et de la station.	97
III-6.1 Les dates de semis.	97
III-6.2 La fertilisation.	97
III-6.3 Le travail du sol et le sol.	97
III-6.4 La densité de semis.....	98
III-6.5 La production de grains.....	98
IV- Conclusion	100
Chapitre IV : Détermination des jours disponibles pour le travail du sol.	101
I- Introduction.....	101
II- Rappel de quelques Définitions.	103
II-1 Le sol : système à trois phases.....	103
II-2 L'humidité pondérale($w = M_w/M_s$)	103
II-3 L'humidité volumique.	103
II-4 La densité apparente	103
II-5 Le potentiel de l'eau dans le sol.	104
II-6 La capacité au champ.....	104
II-7 Le travail du sol.....	105
III- Matériel et méthode.	105
III-1 Caractéristiques physiques et mécaniques du sol de la station de Saria.....	105
III-1.1 La densité du sol et la texture.	105
III-1.2 Le diagramme des états de consistance.....	105

III-1.3 La courbe de compactage.....	107
III-2 Détermination des bornes de travail du sol en conditions humides.....	108
III-2.1 Les conditions du terrain.....	108
III-2.2 La variation de la cohésion du sol à Saria.....	109
III-2.3 Les bornes du travail du sol de Saria.....	110
III-3 Principe de l'étude.....	112
III-4 Adaptation du modèle à l'étude prévisionnelle du travail du sol.....	113
III-4.1 Les réservoirs virtuels ou réservoirs de surface.....	113
III-4.2 La prise en compte des pertes d'eau de la partie du sol travaillé.....	113
III- 5 Concordance entre les résultats obtenus avec l'ETP journalier et ceux obtenus avec ETP moyenne décadaire.....	116
III-6 Les périodes de travail du sol étudiées.....	116
III-7 Evaluation des efforts de traction à Saria.....	116
IV- RESULTATS-Discussions.....	118
IV-1 Variation du nombre de jours disponibles en fonction de la réserve utile du sol.....	118
IV-2 La réalisation du travail du sol.....	118
IV-2.1 La réalisation du labour.....	118
IV-2.2 La réalisation du scarifiage.....	120
IV-2.3 La réalisation du grattage.....	120
IV-3 Cas des sols à réserve utile faible.....	120
IV-4 Limites d'effort de mise en œuvre du labour.....	121
IV-5 Conséquences sur la réalisation du travail du sol dans la région.....	124
IV-5.1 Le temps de mise en œuvre des techniques de préparation du sol.....	124
IV-5.2 Superficies potentiellement réalisable dans la région de Saria.....	124
V- CONCLUSION.....	126
CONCLUSION GENERALE.....	128
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	132
Liste des figures et illustrations.....	139
Annexes.....	142

LISTE DES SYMBOLES ET DES ABREVIATIONS.

F.A.O : Food and agriculture organization of united Nation,
 I.R.A.T : Institut de recherches Agronomiques Tropicales et des cultures vivrières,
 ICRISAT : International Crops Research Institute for Semi-Arid tropics,
 C.I.R.A.D : Centre Internationale de Recherche Agronomique pour le Développement,
 I.N.E.R.A : Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles,
 D.S.A : Direction des Services Agricoles,
 F.I. T : Front intertropical,
 E.T.P : Evapotranspiration potentielle (mm/j),
 ETR : Evapotranspiration Réelle(mm/j),
 ETM : Evapotranspiration maximale(mm/j),
 w : humidité pondérale (%),
 θ : humidité volumique (%),
 ρ_p : densité apparente du sol (g/cm³),
 ρ_w : densité apparente de l'eau(g/cm³),
 H : Charge hydraulique (cm),
 Hg : Charge du potentiel gravitationnel,
 Hp : pression hydraulique de l'eau,
 pF : log(pression : tension ou succion),
 P : profondeur du sol (cm),
 Ll : Limite de liquidité(%),
 Lp : Limite de plasticité (%),
 Lr : Limite de retrait (%),
 Ip : Indice de plasticité(%),
 C : Cohésion(kg/cm²),
 RU : Réserve utile(mm),
 EPS : Evaporation potentielle du sol (mm/j),
 ES : Evaporation du sol(mm/j),
 Stocksurf : Stock utile dans le réservoir de surface (mm),
 Hrsurf : Taux de remplissage du réservoir de surface(%),
 RUsurf : Capacité du réservoir de surface(mm),

Res : Stock utile dans le réservoir sol (mm),
Irrig : Irrigation (mm),
LR : Lamé d'eau ruisselée (mm),
EPC : Evaporation Potentielle de la Culture (mm/j),
kc : coefficient culturaux,
KS : Coefficient de baisse de l'évaporation du sol.
DAR : Days after run,
S1 : Stock du premier horizon (mm),
S1max : Stock maximal du premier horizon (mm),
S1min : Stock minimal du premier horizon(mm),
Fi : coefficient d'extinction de l'évaporation,
Ei : Evaporation de la couche i,
H.E : humidité équivalente(%),
C.R : Capacité de rétention (mm)
Dent RS8 : dent Réversible de 8 mm d'épaisseur de lame,
Dsem : Date de semis,
D1 : Première date de semis (14/5 en 1998),
D2 : Seconde date de semis (22/6 en 1998),
D3 : Troisième date de semis (9/7 en 1998),
J.A.S : Jours Après Semis,
Sarcl1 : premier Sarclage,
Sarcl2 : second Sarclage,
Rdtgr. : Rendement grain,
Np/ha : Nombre de plantes par hectare,
NGP : Nombre de grains par panicule,

INTRODUCTION GENERALE.

Le sorgho constitue l'une des céréales les plus importantes dans l'alimentation des populations du Sahel. Sa production est cependant insuffisante pour couvrir leurs besoins, face à un accroissement important du nombre d'habitants (2,5 % en taux annuel en zone rurale, et 8 % dans la capitale, au Burkina), ce qui impose d'avoir recours à des importations importantes de produits vivriers. L'accroissement de la production de cette céréale revêt donc une importance capitale pour l'économie des pays de la région.

Or, depuis plusieurs décennies, et malgré une augmentation des surfaces cultivées, la production stagne (Somé, 1989) et les rendements restent très faibles et fortement conditionnés par les conditions climatiques des années successives. Les raisons souvent avancées pour expliquer cette situation, sous l'action d'une pression accrue sur l'espace agricole liée à l'accroissement de la densité de population sont :

- une dégradation de l'écosystème : déboisement excessif pour subvenir aux besoins en bois de chauffe des populations urbaines et rurales, pression exercée par les animaux (petits ruminants en particulier) sur la végétation naturelle ;
- une pratique de l'agriculture de plus en plus "extensive" : ne disposant pas des moyens (engrais,...) qui pourraient permettre l'accroissement des rendements du sorgho, chaque paysan étend sa surface pour tenter de produire suffisamment pour ses propres besoins. C'est ainsi que, grâce à la généralisation de la traction animale, la surface cultivée par habitant est passée, dans le nord du Burkina, de 0,4 Ha dans les années 50 à 0,73 Ha en 1985. Cette extension des surfaces cultivées se fait au détriment des surfaces en jachères et de la durée de celles-ci, remettant en cause le mécanisme principal de restauration de la fertilité des sols utilisé jusqu'ici.

Globalement, dans la zone nord-soudanienne, la capacité du milieu à subvenir de façon durable aux besoins des habitants correspond à une densité de population de 20 à 40 habitants au Km² (Piéri, 1989). Cette densité est largement dépassée dans plusieurs régions, et atteint 100 habitants au Km² dans la région centrale du Burkina (Sédogo, 1993). Dans ces conditions, les limites à l'extension des surfaces cultivées sont atteintes. Il est nécessaire de trouver les moyens d'un accroissement des rendements des cultures, et en particulier du sorgho, qui puissent conduire à un meilleur taux de satisfaction des besoins des populations, tout en préservant la capacité à produire du milieu.

Pour atteindre ces objectifs, plusieurs voies doivent être explorées simultanément, elles font l'objet de programmes de recherche et de développement au Burkina. L'amélioration variétale, tout d'abord, qui privilégie l'augmentation du rapport grain/paille et l'obtention de durées des cycles de développement courts permettant une bonne adéquation aux contraintes climatiques. A noter que la création de variétés précoces, non sensibles à la photopériode, s'oppose à une autre voie qui est justement la valorisation du caractère photosensible. Les techniques de fertilisation minérale et organique, ensuite, avec le souci d'une forte efficacité et en privilégiant la valorisation des ressources locales en matières organiques (déjections des animaux, résidus de récolte,...). Les techniques de travail du sol, enfin, visant à améliorer l'infiltration de l'eau et à la rendre disponible pour la culture tout au long de son cycle. S'agissant de ce dernier objectif, il est essentiel que la technique de travail du sol elle-même ne soit pas cause d'un retard des dates de semis, la saison de culture étant chaque année limitée par le calendrier des pluies.

C'est dans ce dernier axe, l'étude des techniques d'implantation de la culture du sorgho, que se situe notre travail.

Après avoir, dans un premier chapitre, dressé l'état des contraintes à la culture du sorgho dans la région centrale du Burkina, et des voies d'amélioration de sa production, nous présentons dans un second chapitre les résultats des enquêtes que nous avons conduites dans cette région au cours de deux années. L'objectif de ces enquêtes était le diagnostic des causes de la variabilité des rendements en grains, entre les parcelles cultivées par les paysans. Les résultats obtenus montrent que les semis précoces sont indispensables pour assurer un certain niveau de rendement dans les sols superficiels, fortement soumis au déficit hydrique, mais que cette exigence doit être nuancée pour les sols plus profonds. Les techniques de travail du sol, qui vont du grattage manuel superficiel au labour en traction animale, en passant par le scarifiage, ne paraissent pas liées directement aux rendements obtenus. En fait, ni un semis réalisé précocement, ni l'utilisation de la charrue ne sont des garanties pour l'obtention de rendements élevés. La maîtrise des adventices et du striga, et la maîtrise de la densité de peuplement, apparaissent des facteurs importants de réussite de la culture.

Il importait de vérifier, en milieu expérimental contrôlé, ces résultats qui mettent en cause certains dogmes. Le troisième chapitre de ce mémoire y est consacré. Il apparaît effectivement que, lorsque l'on se rapproche des conditions des champs paysans (labour à profondeur limitée, absence de fertilisation minérale), la technique d'implantation de la culture ne représente pas une cause majeure de variabilité des rendements.

La question qui est alors posée est celle de la praticabilité des différentes techniques de travail du sol, pour fournir les bases de l'établissement des modalités de gestion du sol adaptées aux différentes situations. Le quatrième chapitre traite donc des jours disponibles pour les différentes techniques, dans les conditions de la région étudiée.

Ces résultats ne remettent pas en cause la supériorité de principe, bien établie expérimentalement, du labour technique de travail du sol. Mais ils permettent une mise en perspective différente pour la gestion de la sole de sorgho dans son ensemble.

CHAPITRE I : CONTRAINTES ET VOIES D'AMELIORATION DE LA PRODUCTION DU SORGHO.

On présentera d'abord dans ce chapitre une analyse des conditions climatiques, qui constituent une contrainte majeure à la production agricole. On esquissera ensuite la situation actuelle de la céréaliculture au Burkina-Faso, avant de faire l'inventaire des voies possibles de son amélioration, à partir des travaux de la recherche.

I- LES CONDITIONS CLIMATIQUES

I-1 Les précipitations

Le Burkina Faso comprend trois régions climatiques (Guiko, 1985) :

- la zone **sahélienne** qui se définit comme étant celle qui se trouve au nord de l'isohyète 650 mm,
- la zone **Nord-soudanienne** délimitée au nord par l'isohyète 650 mm et au sud par l'isohyète 1000 mm.,
- la zone **Sud-soudanienne** située au sud de l'isohyète 1000 mm.

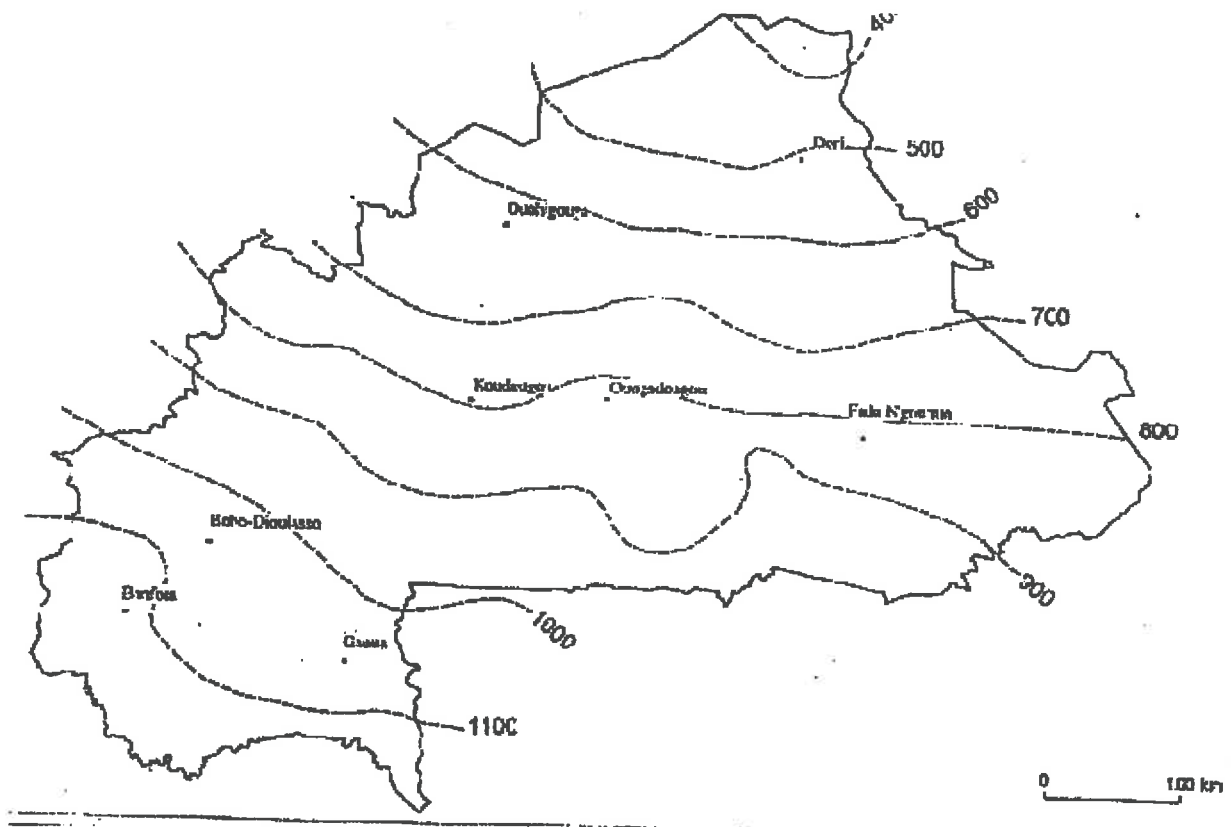
Depuis les années 50, une tendance à la diminution de la pluviométrie entraîne un **glissement** des isohyètes vers le sud. L'isohyète de 1200 mm a disparu du pays (Somé et Sivakumar, 1994)(voir carte page 12).

Le plateau central du Burkina, où se situe la station de Saria (latitude 12° 16 N, longitude 2° 9 W, à 300 m d'altitude) d'où sont issues les données climatiques présentées ici, appartient à la zone nord-soudanienne. La moyenne annuelle des précipitations est de 800 mm, mais fluctue considérablement d'une année sur l'autre, comme le montre la **Figure 1** établie à partir d'un suivi sur 11 années.

La pluviométrie de la zone se caractérise par **des pluies violentes** et irrégulières surtout en début et en fin de saison des pluies. Celle-ci est engendrée par la remontée du **FIT (front intertropical)**. La variation de la pluviométrie au sein de la saison humide présente deux maxima, le premier en juin et le second, plus accentué, entre août et septembre. Entre ces deux périodes, la baisse de la pluviométrie engendre un stress sur les cultures en phase de développement végétatif ou de levée. Pour que les cultures soient tolérantes à ce phénomène qui arrive pratiquement tous les ans, il faut que le système racinaire soit profond. A la fin du mois de septembre on observe aussi une baisse de la pluviométrie qui peut entraîner certaines années un mauvais remplissage des grains. Son effet dépend de la **réserve en eau du sol sur**

lequel est installée la culture, celle-ci dépendant essentiellement de la profondeur utilisable par les racines.

Dans le cadre de ce travail c'est le manque d'eau qui retiendra surtout notre attention. Mais il est important de noter aussi que l'excès d'eau en début et en fin de saison des pluies peut constituer un handicap pour les cultures, entraînant par exemple la moisissure des grains des céréales, ou favorisant l'attaque des gousses d'arachide par les Iules induisant ainsi un développement de l'aflatoxine.



Burkina Faso. Isohyètes de pluviométrie moyenne annuelle (mm). (D'après Somé et Sivakumar, 1994)

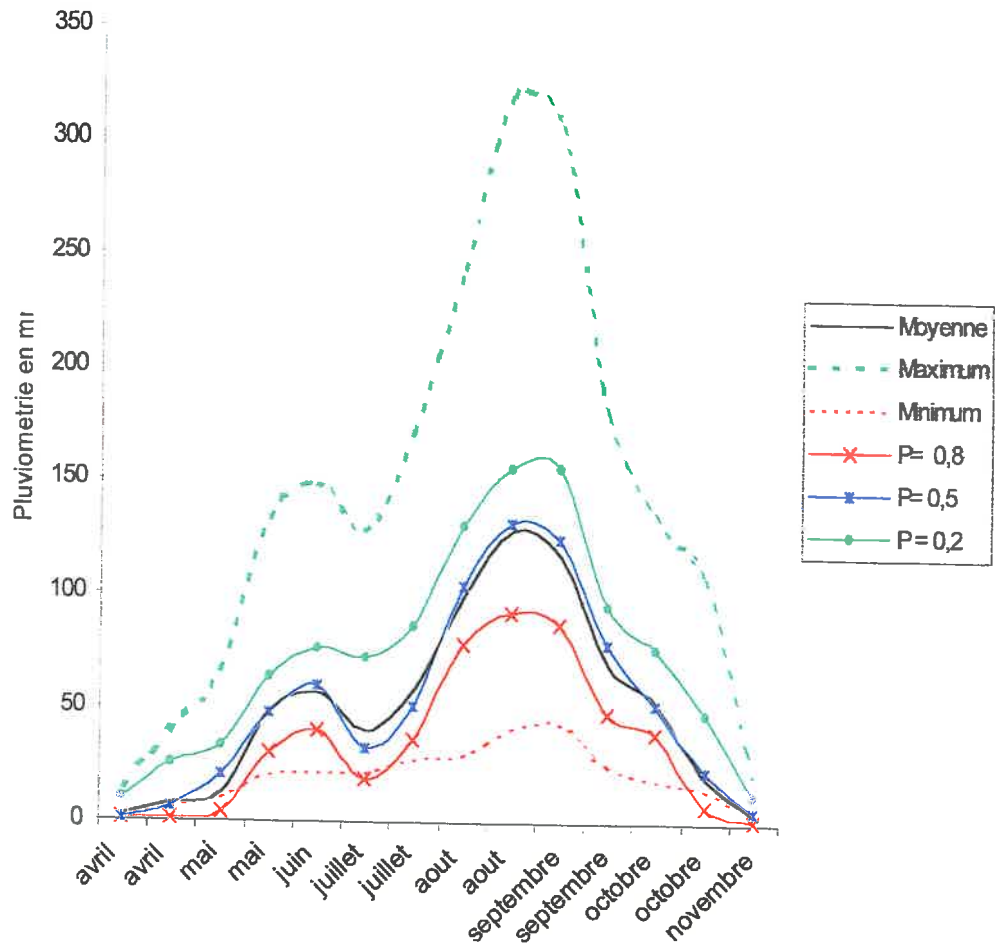


Figure 1: Variation de la pluviosité annuelle de la station de Saria.

I-2 L'insolation à la station de Saria

Dans la région de Saria l'insolation est forte d'octobre à juin (Figure 2). Elle baisse de juillet à septembre à cause de la **couverture nuageuse** de la saison des pluies. Entre les années extrêmes, l'écart est presque du simple au double pour cette période. On notera que les faibles valeurs de l'insolation ont pour effet la baisse du potentiel de production de biomasse et par conséquent de grains, même si l'on a une **pluviométrie satisfaisante**.

I-3 Les vents.

Le climat de la région est déterminé par la position de deux masses d'air. Un anticyclone du Sahara souffle du Nord-est, de novembre à avril, créant l'harmattan, sec et chargé de poussière. La mousson est un vent maritime du Sud-ouest qui souffle de mai à octobre.

Pendant la phase d'installation (de mai à juillet), et de retrait (de septembre à octobre) de la mousson, on a des vents forts qui peuvent atteindre 5 m/s en moyenne journalière (Somé, 1989).

I-4 L'humidité relative de l'air.

Ses variations intra-annuelles suivent la présence du F.I.T. (Figure 3). En saison des pluies, la **moyenne journalière** peut atteindre **80 ou 90 %** en Août. Avec la fin de la saison pluvieuse, elle descend à **30% en moyenne journalière**. Cette faible valeur est due à l'air **chaud et sec du Sahara** qui succède à la mousson.

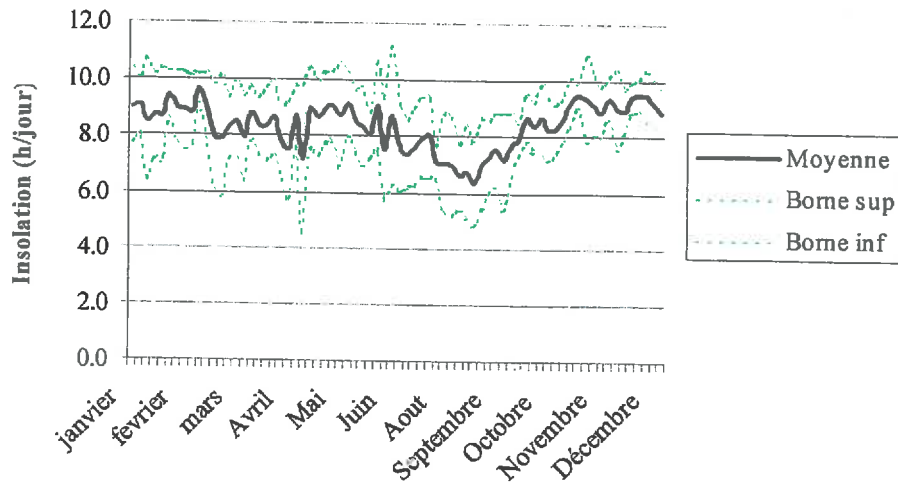


Figure 2 : Evolution de l'insolation moyenne à la station de Saria sur 11 années.

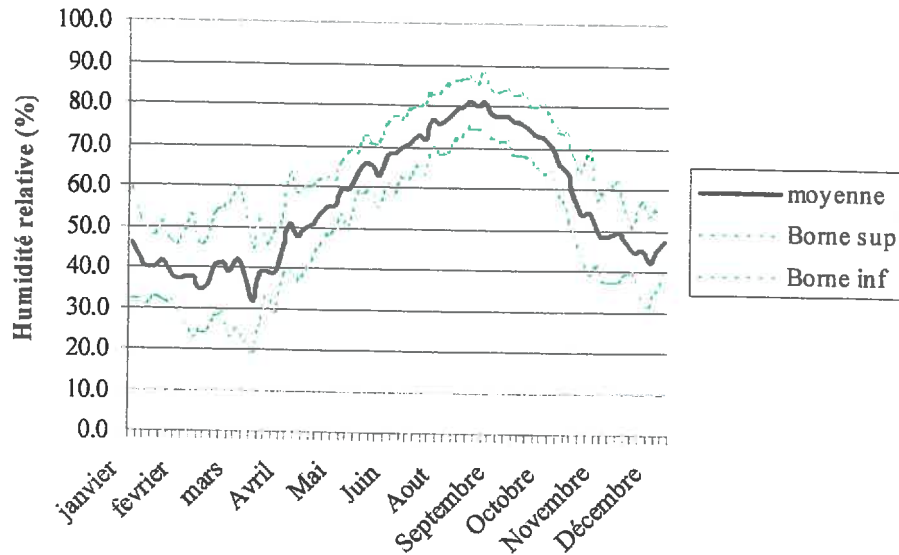


Figure 3 : Evolution de l'humidité relative moyenne à la station de Saria sur 11 années

I-5 Les températures.

La variation de la **température moyenne** de 1987 à 1997 est présentée à la **Figure 4**. Les températures moyennes les plus fortes s'observent en avril et mai où la moyenne journalière peut dépasser 33° C. Elle baisse avec la saison des pluies, puis remonte légèrement au moment des récoltes en octobre. Les mois de décembre et de janvier sont les plus frais. Les températures moyennes oscillent autour de 23°C avec des minima qui peuvent atteindre 10 °C.

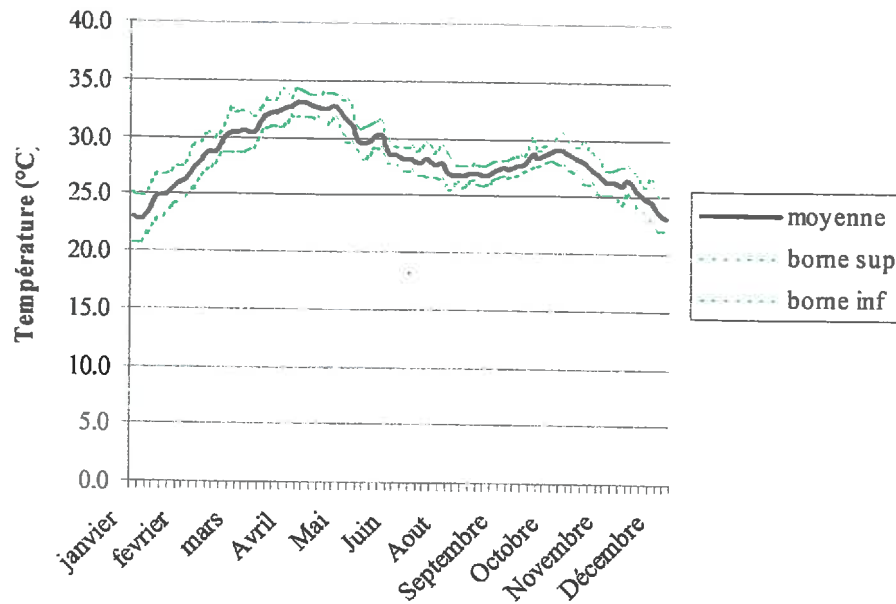


Figure 4 : Variation de la température moyenne à la Station de Saria sur 11 années.

I-6 L'évapotranspiration potentielle

La **Figure 5** présente la variation pentadaire de l'évapotranspiration potentielle sur 11 années. L'ETP est calculée selon la formule d'Eagleman. On observe qu'elle est maximale en avril, mai et juin. Cela correspond aux périodes de vents à grande vitesse et de forte température. Le mois de juin est par excellence le mois d'installation des cultures. Cela induit des risques de stress sur les jeunes plantes qui sont mises en culture à cette période. Cette

valeur moyenne passe de 6 à 5 mm/j pendant toute la saison pluvieuse. Elle descend à 4 et 3 de novembre à février.

I-7 L'aridité du climat

Les études sur l'évolution de la pluviométrie montrent que la moyenne annuelle a tendance à diminuer. Piéri (1989) affirme que dans la zone soudanienne, l'isohyète de 1000 mm en 1965 est devenu celui de 800 mm en 1985. Kaboré (1996) explique, que dans la zone de KOUDOUGOU les relevés montrent que la **baisse** tendancielle de la **moyenne annuelle est de 4,71 mm/an**. En conséquence, le niveau des nappes d'eau baisse, entraînant la disparition des arbres et l'assèchement de certains puits. Cependant l'examen des relevés de la station de Saria montre une baisse régulière de 1950 à 1985 puis **une tendance à la hausse** (Figure 6).

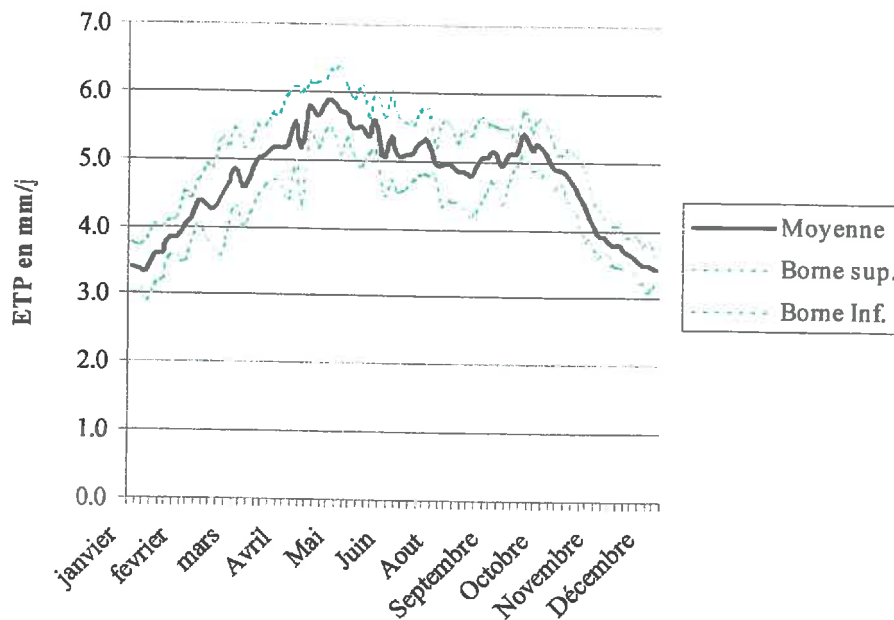


Figure 5 : Evolution de L'ETP pentadaire à la Station de Saria sur 11 années

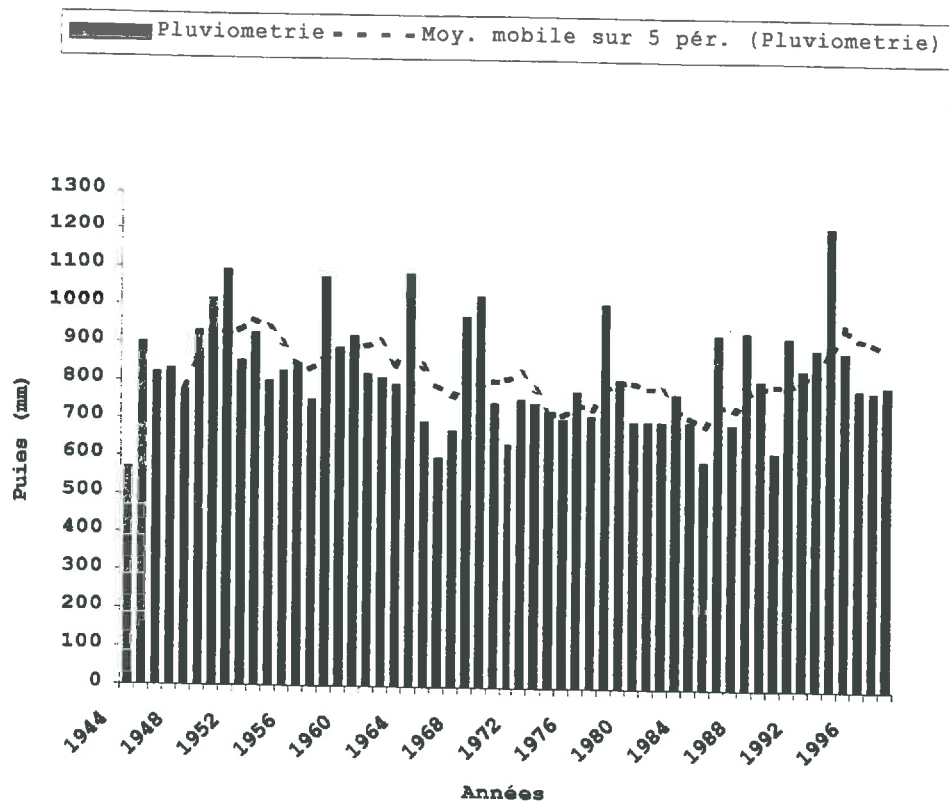


Figure 6 : Evolution de la pluviométrie annuelle de la Station de Saria sur 55 années

I-8. Conclusion.

Les caractéristiques climatiques qui viennent d'être présentées font ressortir l'instabilité du climat et l'importance des phénomènes de sécheresse. Ceux-ci sont accentués par les caractéristiques des sols de la région qui, comme la plupart des sols du plateau central, sont peu profonds. Une analyse plus détaillée sera présentée plus loin. On peut déjà noter ici que les sols de la station de Saria appartiennent à la classe des sols à sesquioxydes et au

groupe des **sols ferrugineux tropicaux lessivé ou non** (Jenny, 1964). Sedogo (1981) montre par la carte morphopédologique de reconnaissance que dominent les sols rajeunis et parfois indurés en haut de versant.

Dans les conditions climatiques ci-dessus citées les sols subissent l'alternance de la saison sèche et de la saison des pluies. Ils se trouvent soumis à la forte température de la saison chaude et sèche ainsi qu'aux feux de brousse. Au début de la saison pluvieuse on trouve des parcelles nues et compactes particulièrement sensibles à l'érosion. En effet, les premières pluies sont souvent intenses sous ce climat tropical, et génèrent du ruissellement qui à son tour provoque de l'érosion. **L'érosion peut entraîner, même en culture extensive, la perte d'une partie importante de l'azote, du phosphore et de la potasse du sol** (Roose, 1981). Ces pertes sont importantes car les sols, pauvres en matière organique et constitués surtout de **Kaolinite pour leur fraction argileuse**, n'ont pas une capacité importante de **rétenion des éléments minéraux**.

La combinaison des facteurs climatiques et des caractéristiques des sols constitue ainsi un ensemble de contraintes très fortes pour la production agricole.

II- LA SITUATION ACTUELLE DE LA CEREALICULTURE AU BURKINA FASO

La culture du sorgho est pratiquée par les paysans du Burkina Faso essentiellement dans un objectif d'**autoconsommation**. Ils utilisent des variétés locales dont les potentialités sont faibles mais qui sont rustiques, garantissant un **minimum de production dans de mauvaises conditions climatiques**. Les rendements sont faibles, de **0,80 à 1,00 t/ha dans la région de Saria selon les années**. Les variétés améliorées, plus productives, ne sont pas utilisées par les paysans car le risque est plus important et parce qu'elles nécessitent plus d'intrants. C'est donc par l'augmentation des surfaces cultivées que les paysans cherchent à obtenir le volume de production dont ils ont besoin pour leurs familles. Les techniques qu'ils utilisent, variables selon les moyens dont ils disposent, tiennent compte du risque que le climat impose à la production agricole.

II-1 L'évolution des superficies

Somé (1989) montre que, de 1978 à 1987, les superficies cultivées en sorgho sont **passées de 1,8 à 2,5 millions d'hectares**. Selon Kaboré (1996) le sorgho et le mil occupent près de 90 % de la superficie cultivée dans la province du Bulkiemdé. Piéri (1989), révèle que dans de nombreuses situations l'usage de la traction animale a amené les paysans à augmenter les superficies exploitées. Comme on peut l'observer sur les cartes d'occupation de l'espace à **l'annexe 1**, les jachères et les friches sont en voix de disparition. Nous tendons vers une situation où **l'intensification s'impose** car l'espace agricole exploitable est limité et les besoins de plus en plus croissants.

II-2 L'évolution de la production du sorgho au Bulkiemdé.

Selon les données de la Direction des statistiques agricoles (DSA) la production est stagnante de 1984 à 1997 (Figure 7) dans la province du Bulkiembé. Jadis, pour survenir aux besoins de la famille on augmentait les surfaces des parcelles. La densité élevée de population de la zone ne permet plus l'accroissement des superficies.

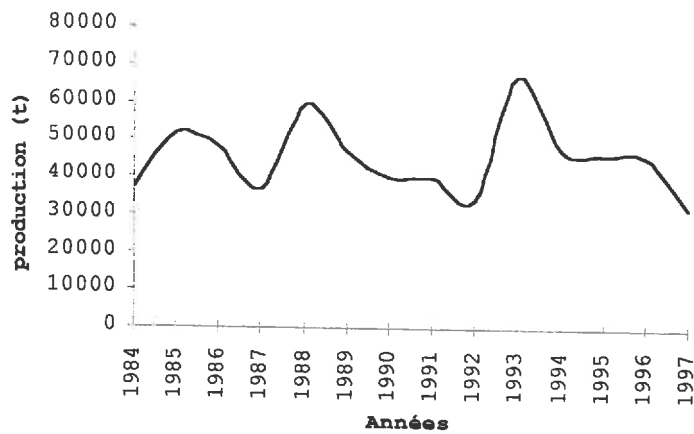


Figure 7 : Evolution de la production du sorgho dans la province du Bulkiemdé

III- LES VOIES D'AMELIORATION DE LA PRODUCTION

Pour améliorer la production alimentaire au Burkina et particulièrement celle du sorgho, des actions de recherche ont été et sont encore conduites dans différents domaines.

III-1 La sélection variétale

Face au problème de la faiblesse de la production des cultures dans la région centre, à la station de Saria des actions de recherche ont été engagées sur l'axe de la création variétale. Elles ont commencé par l'IRAT et l'ICRISAT et se poursuivent par l'INERA et le CIRAD. Ces travaux ont abouti à la création de plusieurs variétés parmi lesquelles on peut citer IRAT 204, E35-1, ICSV1049 et SARIASO10. Les sélections conduisent souvent à un raccourcissement de la paille ce qui améliore le rapport grain/paille. On est arrivé sur ce plan à des résultats significatifs. **Les cycles sont raccourcis pour adapter les variétés à la pluviométrie irrégulière.** Le cycle le plus court est celui de IRAT 204 qui est de 90 jours entre le semis et la maturité.

On a obtenu par ces voies des productions potentielles de 4 à 5 t/ha de grains. Mais l'introduction de ces variétés chez les paysans rencontre des difficultés importantes, parmi lesquelles on notera les suivantes :

III-1.1 La taille de la plante

La variété **améliorée** a souvent une **taille plus courte** que les variétés locales. On passe de 4 m à 0,90 m. Etant donné que les tiges de sorgho sont utilisées comme matériau pour les clôtures des cultures maraîchères et comme bois de chauffe, ce **fait constitue un handicap** à la diffusion de nouvelles variétés. Certains auteurs ont montré que le raccourcissement de la partie aérienne induit aussi une diminution de la profondeur du système racinaire. Sous le climat semi-aride de la région, ceci **peut induire une baisse de la tolérance au stress hydrique.**

III-1.2 La photosensibilité

Les nouvelles variétés sont en général peu ou pas photosensibles. Les variétés locales que les paysans utilisent le sont. **La photosensibilité** est un caractère important qui permet à la plante d'assurer au paysan une **production minimale dans un système climatique** où la pluviométrie est aléatoire (Vaksmann, 1995). Avec une variété photosensible la période de floraison se situe vers le 15 septembre, quelle que soit la date de semis. En cas de **retard de semis** ou de croissance, le paysan aura une production faible mais pas nulle. Elle sera fonction de la quantité de biomasse élaborée au cours du cycle. Pour les variétés améliorées, la date de floraison est déterminée fortement par la date de semis et les conditions thermiques au cours de la croissance. Ainsi, en cas de semis tardif ou d'arrêt très précoce des pluies, il peut ne pas y avoir de formation de grain et le rendement dans ces conditions peut être nul. La

photosensibilité des variétés traditionnelles apporte donc une certaine notion de sécurité pour la production chez les paysans.

III-1.3 Les techniques culturales

La plupart des paysans de la région travaillent avec **des techniques culturales rudimentaires**. Les nouvelles techniques mises au point par les instituts de recherche sont difficilement acceptées ou utilisées (Kaboré, 1996), et cela pour de multiples raisons. Les variétés **locales sont plus rustiques** que les nouvelles variétés. Elles peuvent produire dans des conditions de **travail manuel du sol à la daba et sans apport de fertilisant** sur des sols pauvres. Leur système racinaire **relativement important**, leur permet de résister aux stress hydriques de début de saison des pluies. Les variétés améliorées sont plus exigeantes de ce point de vue. Il leur faut un bon travail du sol et une bonne fertilisation organo-minérale. Le paysan dont l'activité est fondée sur la prise en compte **du minimum de risques** (Kaboré, 1996), n'utilisent plus l'engrais minéral dans la région de Saria à cause de son coût et **du risque pluviométrique**.

III-1.4 La technologie alimentaire

Le sorgho est la céréale de base de l'alimentation des populations du plateau central. Les grains des variétés locales ont eu à travers des générations, des techniques de transformations et de préparation culinaire qui leur sont bien adaptées. Les variétés améliorées ont des **qualités de grains différentes** ce qui pose des problèmes de préparation ou de conservation des mets (Trouche et Kondombo, 1996). **Il semble important de développer des études agroalimentaires en aval de la création variétale**. La finalité de la production est la consommation, même lorsque l'on vend d'abord la production.

III-2 La fertilisation

Compte tenu de la pauvreté des sols, des actions de recherche ont été **conduites pour améliorer la production** des cultures. Sedogo (1981) a montré que l'on pouvait utiliser les résidus culturaux pour améliorer la fertilité du sol et accroître ainsi la production. Le faible statut organique des sols et la forte minéralisation de la matière organique dans les sols ferrugineux tropicaux **nécessite des apports réguliers de fumure organique**. Un épandage **de 5 t/ha de compost ou de fumier est préconisé**. Les travaux réalisés par plusieurs chercheurs dont Lompo (1983) sur le Burkina phosphate, montre qu'un apport de 400 kg/ha de Phosphate naturel en année d'ouverture et 200 kg/ha tous les ans améliorent la production du sorgho. L'urée et l'engrais composé NPK (14-23-14) sont préconisés à la dose de 50 kg/ha et 100 kg/ha tous les ans pour le sorgho. **Depuis le changement de parité du franc cfa en 1994 un effort particulier est fait pour la promotion des amendements organiques**. En

effet, en plus du coût élevé des engrais minéraux Bado et al. (1997) montrent que leur emploi peut conduire à une baisse de la productivité **par suite d'acidification du sol**. Le compost et le fumier semblent être les garanties d'une agriculture productive et durable au Burkina.

III-3 L'irrigation et la conservation des eaux et du sol

Dans la recherche de solutions pour **l'augmentation des rendements** sous les conditions de pluviométrie insuffisante, des études ont été faites par **l'IRAT puis l'INERA et le CIRAD** depuis les années 1980. Sur le sorgho on a évalué l'effet de l'apport de **l'irrigation de complément** sur la production. Les résultats ont été variables en fonction des années et des sols sur lesquels se trouvent les cultures. En année sèche l'irrigation de complément peut **augmenter la production de 40% par rapport au témoin**. Sur un sol riche l'apport d'eau est plus valorisé par la plante. La mise en application de cette technique est assez difficile et cela a beaucoup limité sa diffusion. Il demande la mise en place un système d'irrigation qui selon la pluviométrie de l'année peut ne pas être utilisé. Le système d'apport d'eau nécessite de disposer de réserves en eaux au moment opportun. Cela n'est **pas toujours possible sur les parcelles paysannes**.

Roose (1981) montre que le ruissellement peut engendrer des pertes importantes d'éléments minéraux dans les sols, sans compter les pertes de terre qui entraînent une dégradation du milieu. Un vaste **programme de conservation des eaux et des sols** a été mis en place dans les régions centre et Nord du Burkina. A l'échelle du bassin versant de nombreuses techniques (diguettes, cordons pierreux enherbés ou non) permettent de réduire le ruissellement et d'augmenter l'infiltration. Cela améliore la productivité des parcelles et entrave la dégradation des sols. Ces techniques de conservation des eaux et des sols à l'échelle du bassin versant sont combinées à des **techniques de travail du sol et d'économie de l'eau** à la parcelle.

III-4 Les techniques de travail du sol et d'économie d'eau à la parcelle

En 1989 Somé a fait une étude de **zonage agro-climatique** de la date de semis du sorgho sur l'ensemble **du Burkina**. Pour la zone de Saria la date favorable au semis du sorgho se situe entre le 25 mai et le 15 juin. Cela est une contribution importante pour le calage du cycle des cultures pour la satisfaction des besoins en eau. Mais cette satisfaction des besoins en eau passe aussi par une bonne installation des cultures en début de cycle. La plante de sorgho est très sensible au stress dans le **premier mois de son cycle**. Les techniques capables d'améliorer l'alimentation en eau de la culture peuvent induire une augmentation de la production de grain.

Dans le sens de l'amélioration de **l'installation de la culture** et de l'alimentation hydrique de la plante, des actions de recherche ont été menées depuis les années 1980. Les premières investigations ont été faites par l'équipe économie de l'eau de l'IRAT, puis par le CIRAD et l'INERA. Nicou (1984) a montré que le sarclo-binage est efficace pour diminuer les pertes d'eau sous les cultures de sorgho. En 1990 Nicou et al., ont montré que le labour, le billonnage cloisonné et le buttage cloisonné sont des techniques de travail du sol et d'économie d'eau qui engendrent une hausse de la production de grains du sorgho et du maïs. En 1984, Herblot a montré à Gampèla près de Ouagadougou, l'efficacité du travail du sol en sec par sous-solage pour l'amélioration de la tolérance au stress et l'accroissement du rendement grain. En 1986 une collaboration du CIRAD et de l'INERA permet d'évaluer l'effet du sous-solage et du chiselage sur sol sablo-argileux à la station de Saria. Cette évaluation a porté sur l'état du sol après le passage de l'outil, **le développement du système racinaire, la variation du stock d'eau du sol et la production de grain du sorgho** (Barro, 1988 ; Ducreux, 1989). Les résultats ont confirmé ceux de Herblot en 1984. Les coûts d'interventions étaient élevés d'où une évaluation de l'effet résiduel du sous-solage. Les travaux ont montré que l'on a un effet résiduel en deuxième année et que les coûts d'intervention pouvaient donc être répartis sur deux ans en sol sablo-argileux. De 1991 à 1993 une évaluation du travail du sol en sec est faite **en sol vertique au Sourou** (Nord-Ouest du Burkina). Dans ces conditions il n'y avait pas d'effet résiduel significatif en seconde année, mais on observait une **augmentation du rendement grain du maïs de 0,50 t/ha** (Barro, 1993).

Il existe donc des techniques qui montrent une certaine efficacité sur la production, mais un certain nombre de problèmes demeurent pour leur diffusion :

- Le billonnage ne peut se faire que lorsque le sol est à une humidité importante. Cette humidité est équivalente à celle d'un labour. La technique n'est pas efficace en zone à pluviométrie irrégulière car **l'attente d'une humidification suffisante peut conduire à une mise en place tardive des cultures**. Cela induit une baisse du rendement potentiel.

- Le cloisonnement des billons nécessite un outil en traction animale pour aller vite et réduire la pénibilité du travail. En collaboration avec l'ICRISAT, l'INERA a mis au point un prototype d'outil en traction bovine et un prototype en traction asine. Mais le relais n'est pas pris par les industriels. Il en est de même pour la roue dentée ou œuf de Matlonne qui est utile pour faire **le buttage cloisonné**.

- La technique de **travail du sol en sec en motorisation** s'est montrée efficace pour diminuer le ruissellement et augmenter le stock d'eau du sol (Somé, 1989; Ducreux 1989). La mise en œuvre de la technique nécessite du matériel qui coûte cher et qui n'est pas à la portée des paysans. Ainsi, en collaboration avec le CIRAD, et fort des expériences conduites par Le Thiec et Bordet en Afrique centrale, **la dent RS8 en traction bovine fut créée**. Elle permet à Saria un travail du sol sur 10 cm de profondeur (Barro, 1996). Le rendement grains est amélioré. L'usage de l'outil est compatible avec l'apport de fumier et de compost (Sédogo et al., 1999). L'effet de la dent RS8 de travail du sol en sec est présenté sur les photos en annexe II-3.

IV- CONTRAINTES ET FACTEURS FAVORABLES A LA PRODUCTION DU SORGHO

Il apparaît que l'on est dans un milieu où l'on doit composer avec de nombreuses contraintes de la production agricole en général et particulièrement pour le sorgho à cause de la longueur de son cycle.

La contrainte la plus importante est **l'irrégularité et l'insuffisance de la pluviométrie**. La sélection variétale a mis au point des variétés à cycle court, mais dont l'utilisation par les paysans révèle un certain nombre de problèmes.

La **pauvreté des sols** est aussi un paramètre important de la faible production des cultures du sorgho. Cette pauvreté peut être liée au fait que dans les sols tropicaux le taux de minéralisation de la matière organique est élevé, et aussi au **ruissellement et à l'érosion** dus à l'intensité des pluies et à la compacité des sols en fin de saison sèche.

Par contre, la plus grande rusticité des variétés locales est un facteur favorable à la production du sorgho. Le caractère **photosensible intègre** dans le processus de production la **notion de sécurité** qui est souvent perdu par les variétés améliorées.

Cet état des lieux a montré aussi que, s'il existe un certain nombre de moyens qui ont été mis au point pour accroître les rendements des céréales, et particulièrement du sorgho, leur mise en œuvre par les paysans rencontre des difficultés. Il semble donc important de considérer le problème de l'accroissement de la production en partant de l'analyse des pratiques des paysans. Le chapitre suivant s'y attache.

CHAPITRE II : DIAGNOSTIC DES PRATIQUES PAYSANNES D'INSTALLATION DU SORGHO DANS LA REGION DE SARIA.

I- INTRODUCTION

On a présenté au chapitre précédent les grands traits de la production paysanne du sorgho et de ses contraintes, notamment liées au climat et aux sols. Culture principale des populations, le sorgho fournit des rendements faibles dans la Région Centre du Burkina Faso. Ce qui, vu les déficits devenus chroniques par rapport aux besoins alimentaires, conduit l'Etat à dépenser des devises pour importer des céréales. On a vu aussi que les résultats des recherches conduites en vue de permettre l'accroissement des rendements, qu'il s'agisse de création variétale ou de mise au point de techniques culturales, rencontraient des difficultés pour leur mise en œuvre dans la pratique. Les techniques dites améliorées ne sont pas toujours utilisées par les paysans, pour diverses raisons, dont la recherche d'une limitation des risques même si cela conduit à de faibles niveaux de rendements. Ainsi, le blocage de la diffusion des nouvelles variétés à haut potentiel de production (Piéri, 1989), est lié en partie au fait que le paysan préfère mettre en œuvre des techniques **qui conduisent avec une certaine sécurité à une production moyenne de grains**, que celles qui lui promettent une production élevée mais qui exigent des itinéraires techniques performants et coûteux, et une pluviométrie au moins régulière.

En vue de contribuer à la recherche de solutions à la faiblesse des productions, on a conduit une enquête diagnostique sur les pratiques paysannes de production et leurs résultats, en vue de mieux connaître la variabilité des rendements et leurs causes. L'analyse de cette **variabilité en liaison avec les opérations culturales** conduites par le paysan, est fondamentale pour l'amélioration des techniques culturales. Sur cette base, on pourra élaborer des propositions dans l'optique d'accroître la production de grain. Une étude récente sur le maïs au Burkina-Faso (Wey et al., 1998, Siband et al. 1999) a montré l'intérêt d'une telle démarche, dont on s'est inspiré pour la présente étude.

L'enquête a été réalisée dans la région de Saria au cours des années 1997 et 1998.

Après une description des parcelles, une approche explicative est faite sur la base de l'analyse du rendement et de ses composantes ainsi que de l'alimentation hydrique des cultures.

II- MATERIEL ET METHODE

II.1- site de l'étude.

La station de Saria, siège de la Région Centre de Recherche Agricole du Burkina Faso est située à 80 km à l'Ouest de Ouagadougou et à 23 km à l'est de Koudougou (Figure 8 et Figure 9). La carte de la Figure 10 montre la localisation des parcelles paysannes étudiées, situées dans un rayon de 2 km autour de la station. Les conditions climatiques et de sols sont représentatives de celles du Plateau Central du pays.

Le suivi en 1997 est fait sur une trentaine de parcelles et en 1998 sur 75 parcelles en production de sorgho. Il est fait un suivi agronomique sur les parcelles des producteurs, sans interférer sur leurs techniques de production. Les opérations de préparation du sol sont observées avec une attention particulière.



**AFRIQUE DE
L'OUEST :
BURKINA
FASO**

Figure 8 : Carte de l'Afrique de l'Ouest.

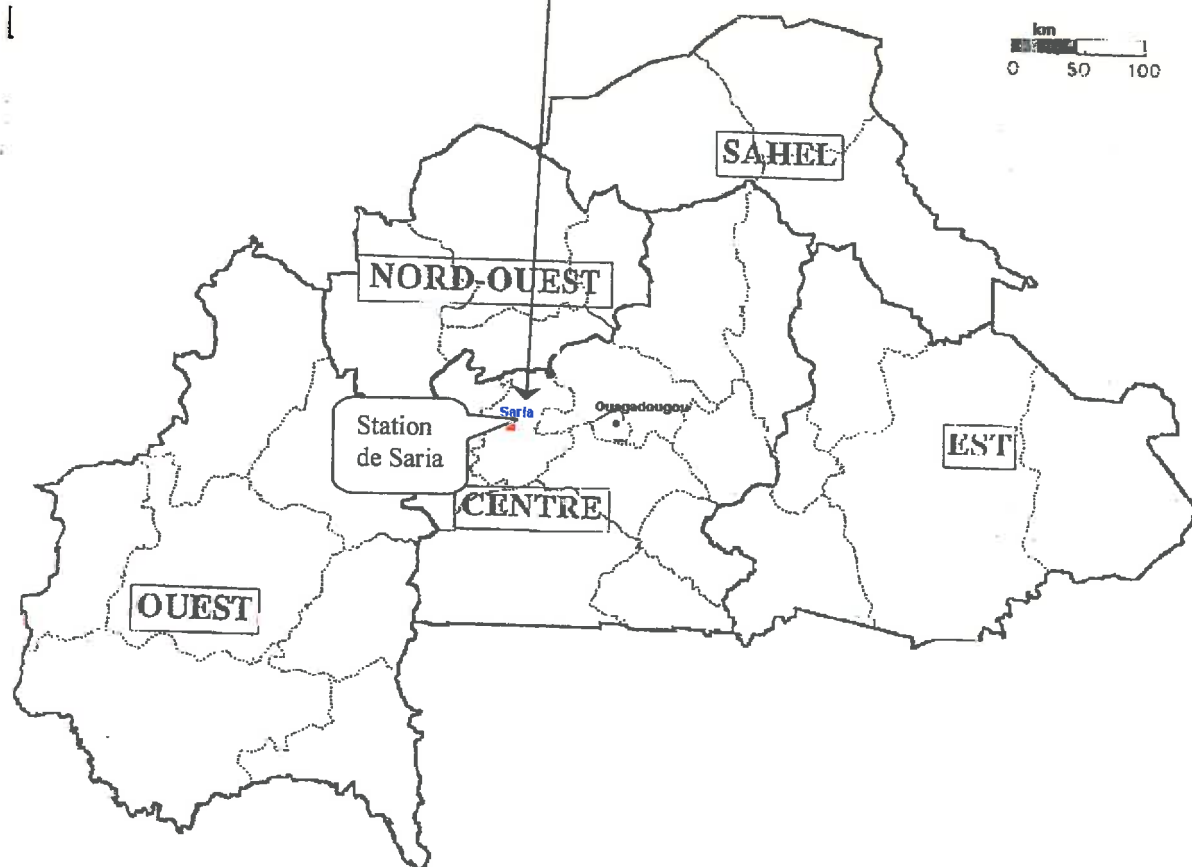
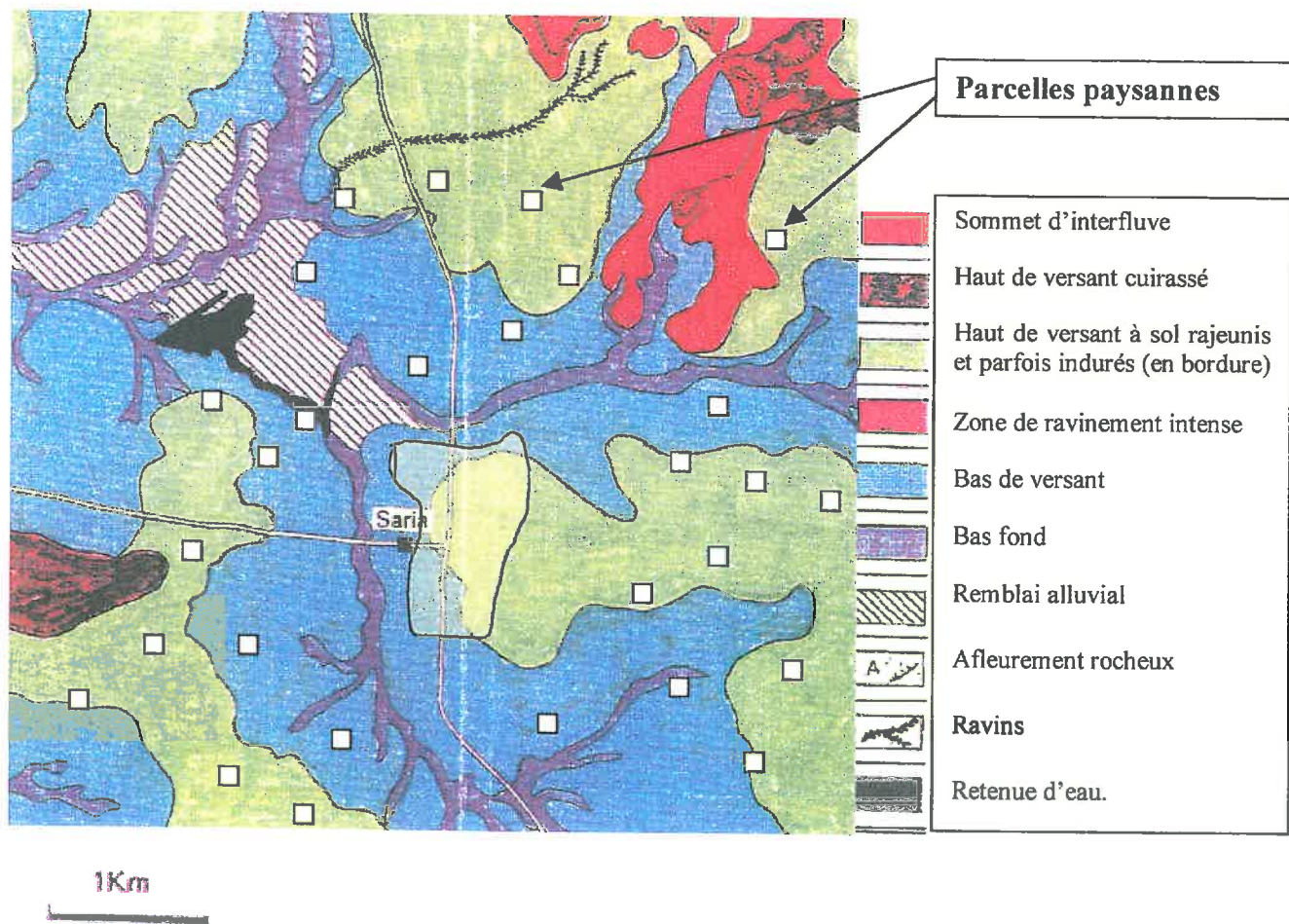


Figure 9 : Carte des cinq régions de recherche du Burkina Faso. La Station de référence de la zone Centre est la Station de Saria.



**Figure 10 : Carte morphopédologique de la région de Saria. (R. Bertrand
IRAT/DRN, 1989)**

II-2 Les variétés de sorgho.

Les plantes utilisées sont des variétés locales proches de la variété **Nazongala** qui est une lignée provenant de la sélection massale d'écotypes locaux. La durée du cycle (semis maturité) est de 120 jours. La floraison a lieu vers le 15 septembre.

II-3 Le sol

La zone d'étude, située sur le plateau central du Burkina, est peu vallonnée. La pente la plus courante est de **0,7 %**.

Les sols des parcelles paysannes sont de type ferrugineux tropical, de texture **sablo-argileuse**. Le taux de matière organique est faible, allant jusqu'à 0,5 %. Peu fertiles dans la plupart des cas, ces sols sont caractérisés par une grande pauvreté en phosphore. Leur profondeur varie de 20 à plus de 100 cm, avec parfois une cuirasse qui limite la profondeur exploitable par les racines des cultures. La cuirasse parfois en démantèlement donne des sols avec des charges gravillonnaire pouvant atteindre 20%.

On distingue **trois situations toposéquentielles** (haut de pente, mi-pente, et bas de pente). Certaines parcelles sont situées dans le bas-fond.

De façon générale, les parcelles sont cultivées depuis plusieurs décennies (30 à 40 ans), ce qui est la conséquence de la pression démographique forte sur le foncier. Les cartes de l'annexe I montrent que l'occupation de l'espace dans la région a changé entre **1952 et 1988**, avec une disparition progressive des jachères de longue durée. En 1998 les jachères ont totalement disparu, et les paysans sont contraints à la coupe des friches pour en faire des champs.

Compte-tenu du climat (cf. chapitre précédent) **la gestion de l'eau** apparaît comme l'un des domaines où l'on doit trouver des solutions à la portée du paysan, pour qu'il puisse évoluer vers une intensification réelle de l'agriculture.

II-4 Le matériel de préparation du sol en milieu paysan.

Trois grands types de techniques d'implantation du sorgho sont utilisées, selon les parcelles et les exploitations :

- Le grattage est une technique de travail du sol qui est réalisée manuellement avec un outil nommé «**Daba**». Le sol est travaillé sur 3 à 5 cm de profondeur, selon l'opérateur et

aussi selon l'état d'enherbement de la parcelle (Figure 11). Le temps de travail peut varier de 40 à 60 h/ha.

- Le scarifiage est fait à 7 cm de profondeur en moyenne. Il est réalisé avec un attelage en traction bovine ou asine. L'outil utilisé est un cultivateur léger de type Houe Manga à expansion angulaire (Figure 12), muni de socs en coeurs. Le temps de travail est de 6h/ha. La photo de la Figure 12 montre une houe Manga en phase de réalisation du travail du sol. Il arrive que les pièces travaillantes soient en mauvais état. C'est pour cette raison que parfois l'outil est alourdi pour faciliter la pénétration dans le sol, en particulier lorsqu'il est trop sec. C'est le cas de ce paysan qui travaille un sol par ailleurs peu profond et dégradé.

- Le labour est réalisé en traction bovine ou asine, avec une charrue de 9 ou 6 pouces de largeur. La profondeur moyenne de travail est de 11 cm. Le temps de travail est de 23 à 25 h/ha.

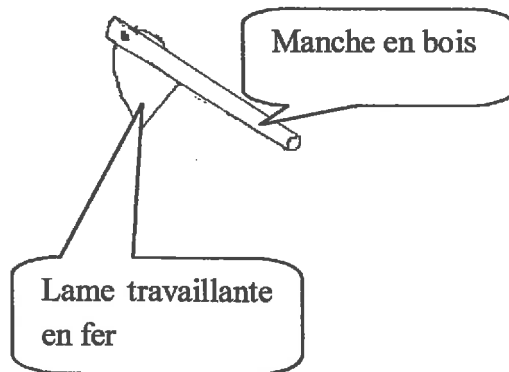


Figure 11 : Outil de travail manuel du sol (DABA)

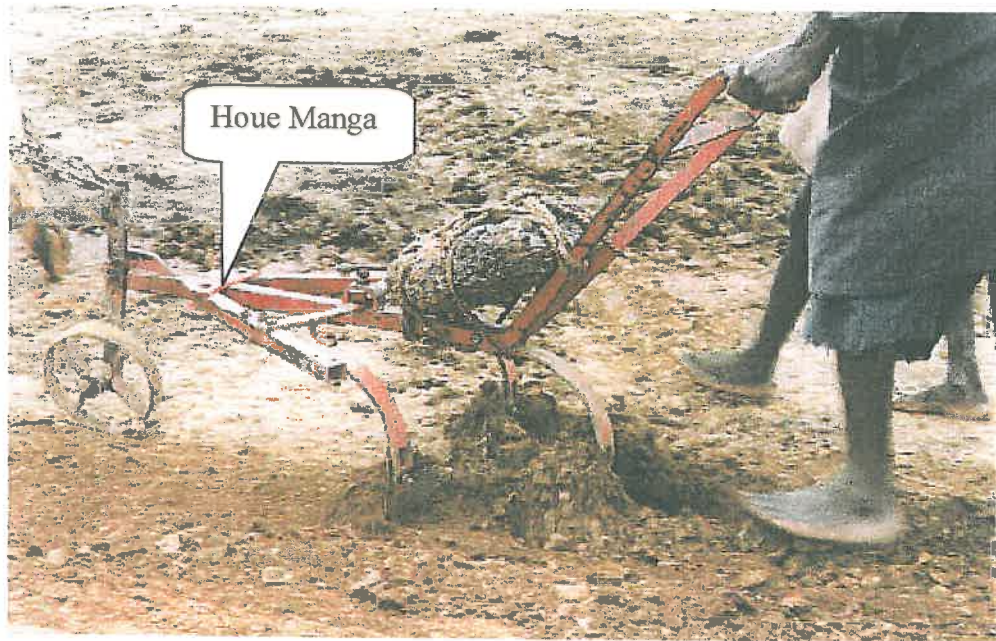


Figure 12 : Houe Manga et réalisation du scarifiage en traction bovine en milieu paysan.

II-5 Méthode d'analyse des rendements et de leurs composantes

Selon Engledow et Wadham, (1923) cités par Wey et al. (1998), le principe de la décomposition du rendement des céréales dans le but d'analyser la variabilité de la production existe depuis longtemps. Son principe est que, pour un cultivar donné, il existe une compétition pour les ressources qui limite supérieurement la valeur que peut prendre une composante surfacique. Dans la région de Bobo Dioulasso, Wey a montré que l'analyse des composantes du rendement peut permettre d'identifier les facteurs limitant à l'accroissement de la production.

Pour Siband et al., (1999), le rendement en grains peut se décomposer de la façon suivante :

$$RDT = NP \times PF \times NGPF \times PG$$

Avec

- NGPF = $NG / (NP \times PF)$,
- NP : nombre de plante /ha,
- PG : poids d'un grain,
- PF : fréquence des plantes fertiles,
- NGPF : nombre de grain par panicule fertile,
- NG : nombre de grains par unité de surface,

Cette décomposition sera utilisée ici pour l'analyse des rendements.

II-6 Méthode d'étude de l'alimentation hydrique du sorgho.

L'étude est faite sur le principe du calcul du bilan hydrique, à l'échelle d'une parcelle supposée homogène quant à ses caractéristiques de sol et à l'état du peuplement. Elle comprend une première partie où l'on examine l'évolution de la réserve en eau du sol de la parcelle. Dans une seconde phase on examine la satisfaction des besoins en eau de la culture. En début de cycle les plantes sont petites et leur transpiration est faible. La valeur du rapport ETR/ETM ne semble pas être un bon indicateur de la satisfaction des besoins en eau de la plante dans les premières décades du cycle du sorgho (Maraux, comm. pers.).

Après le premier mois du cycle l'examen du rapport ETR/ETM traduit beaucoup mieux l'alimentation hydrique de la culture. Le calcul est fait avec des coefficients culturaux qui sont assez élevé à ce moment du cycle. Le système racinaire est plus profond. La transpiration est plus forte que l'évaporation.

Les calculs sont réalisés par le logiciel SARRA, avec les données climatiques de la station de Saria. Le logiciel fonctionne selon un modèle réservoir. Il prend en compte la progression du front racinaire et la réserve utile du sol. (voir annexe II-3).

Les paramètres de l'étude du bilan hydrique sont les suivants :

- le pas de temps des calculs est pentadaire.
- le cycle **des variétés varie de 150 à 100 jours semis-maturité** selon que le semis est précoce ou tardif.
- le ruissellement est pris en compte à partir du **seuil de 15 mm** de pluie avec un taux de **40 %**. Roose (1994) a montré que sur le plateau central du Burkina le taux de ruissellement avait en moyenne cette valeur.
- du fait de la texture sablo-argileuse des sols, on a retenu une valeur de réserve utile de 100 mm/m. Quatre classes de profondeur sont utilisées pour les calculs de réserve hydrique:

Classe 1 : profondeur très faible ($P < 40$ cm), RU = 40 mm

Classe 2 : profondeur faible ($40 < P < 55$ cm), RU = 50 mm

Classe 3 : profondeur moyenne ($55 < P < 95$ cm), RU = 80 mm

Classe 4 : profondeur importante ($P > 95$ cm), RU = 110 mm

III – RESULTATS – DISCUSSIONS.

III.1 La diversité des exploitations.

III-1.1 La superficie des exploitations

La Figure 13 montre les proportions de répartition des exploitations par classes de superficie. La répartition est la même en 1997 et 1998. La majorité des paysans ont des superficies qui se trouve entre 4 et 6 hectares, avec exceptionnellement des exploitations beaucoup plus grandes (de l'ordre de 20 hectares).

La gestion des terres en pays Mossi est faite par un chef de terre. Elle est fondé sur le principe que l'on donne la terre à ceux qui sont capables de l'exploiter. Car la propriété de la terre n'est pas individuelle mais communautaire. Un paysan ne peut pas par son initiative attribuer une parcelle à une autre personne. Les deux grandes exploitations comptent 50 et 77 membres. L'exploitation est constituée de plusieurs groupes de parcelles. On trouve sur l'ensemble des parcelles toutes les situations topo séquentielles et par conséquent des profondeurs différentes du sol. Ce type de gestion est lié au fait qu'il y a un chef de famille qui rassemble autour de lui ses enfants et ses petits-fils. Après lui, celui qui s'occupera de la famille aura une grande partie des terres, mais certains des enfants demanderont une gestion séparée de leurs parcelles pour en faire des exploitations distinctes.

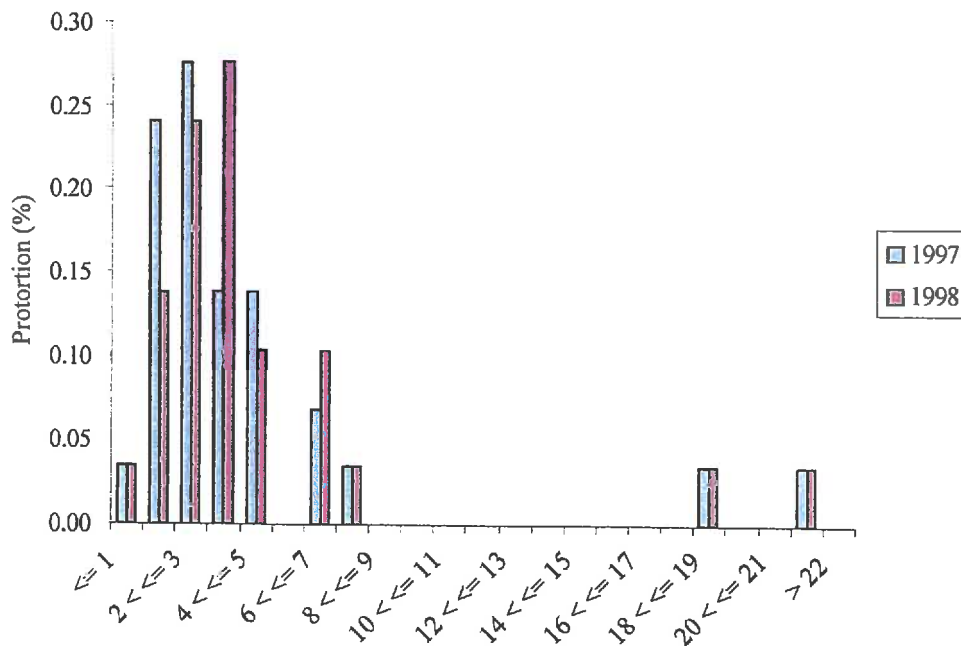


Figure 13 : Proportions de répartition des superficies des exploitations

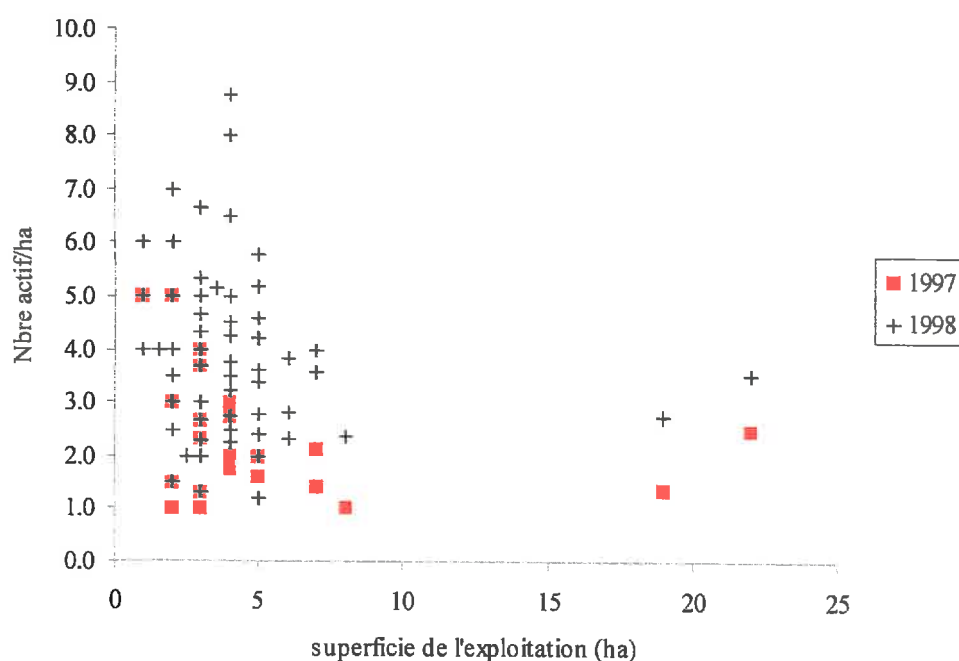


Figure 14 : Nombre d'actifs par hectare en fonction de la superficie des exploitations

La Figure 14 présente la variation du nombre d'actifs/ha en fonction de la superficie. Les valeurs les plus fortes (supérieures à 5) se trouvent pour les parcelles les plus petites (inférieures à 5 hectares), mais on note pour chaque classe de superficie une variabilité très grande de la force de travail disponible. Dans la mesure où les travaux d'entretien des cultures sont réalisés manuellement (sauf dans les grandes parcelles), le nombre d'actifs/ha est déterminant pour la qualité de réalisation de ces travaux. C'est surtout l'opération du premier sarclage qui est contraignante et doit être rapide. A cet égard, les parcelles caractérisées par les valeurs les plus faibles (1 actif/Ha, correspondant à des parcelles cultivées par des célibataires) sont a priori dans des situations plus problématiques que celles qui comptent des forces de travail 3 ou 4 fois supérieures (ce sont souvent les parcelles des chefs de famille). On s'attend donc, dès l'examen de ce critère, à rencontrer des situations très contrastées en termes de conditions de réalisation de hauts rendements.

III-1.2 La profondeur du sol.

Dans cette zone à pluviométrie irrégulière et à forte évaporation, l'alimentation hydrique est un facteur déterminant de la croissance des plantes et de l'élaboration de la biomasse. Le réservoir jouera un rôle de tampon ou pas selon sa taille et selon le déficit en eau. La Figure 15 montre que la proportion des parcelles présentant un sol de forte profondeur n'atteint qu'environ la moitié de l'effectif. Les sols à profondeur moyenne de 55 à 95 cm sont rares (environ 10%), et les classes de sols plus superficiels représentent ensemble environ 30% de l'effectif. Sur ce critère aussi, l'échantillon recèle une grande diversité de situations.

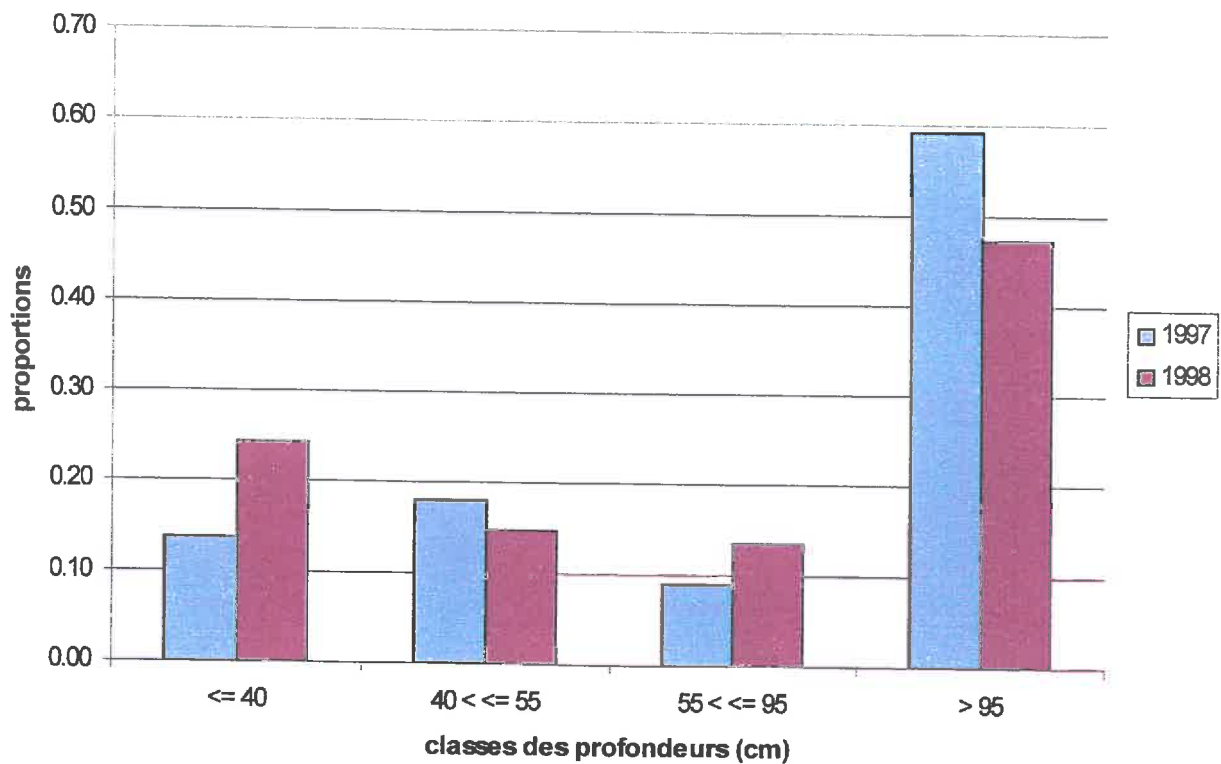


Figure 15 : Proportion des profondeurs de sol en 1997 et en 1998.

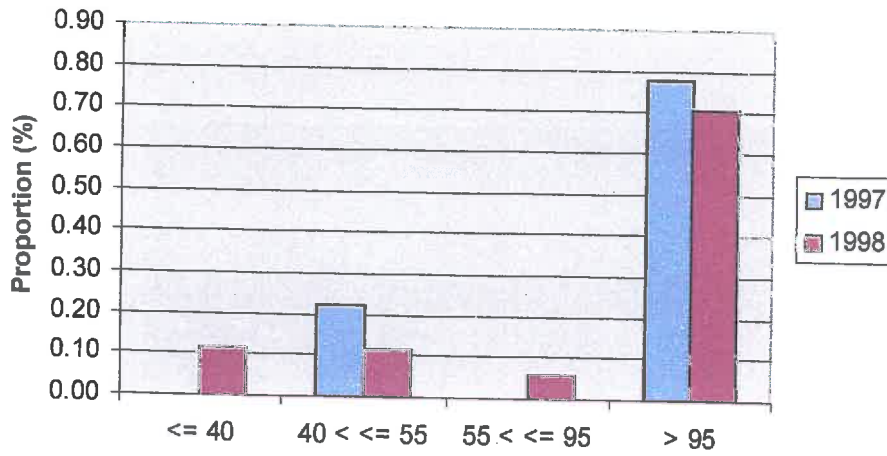


Figure 16 : Proportion des sols en bas de pente.

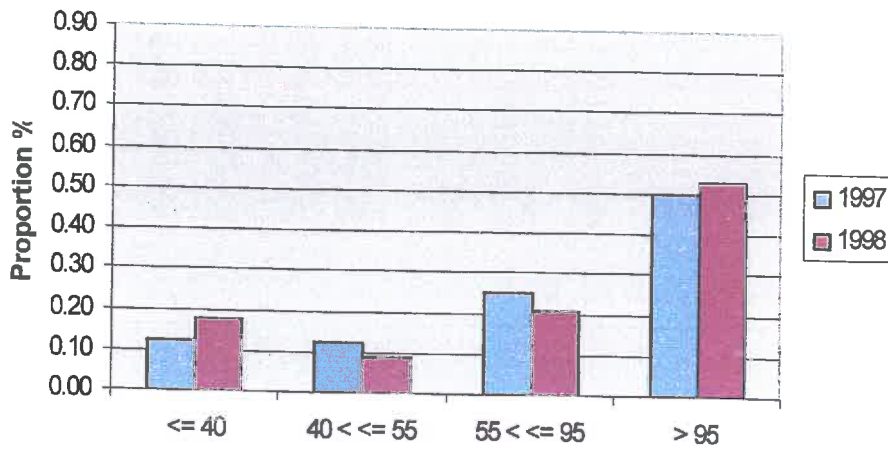


Figure 17 : Proportion des sols en mi-pente.

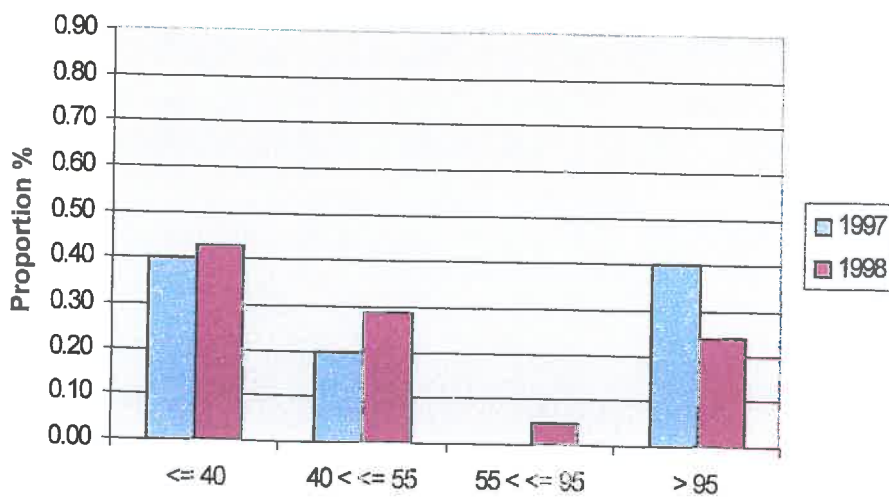


Figure 18 : Proportion des sols en haut de pente.

Les Figure 16, Figure 17, et Figure 18 indiquent les fréquences des profondeurs dans la situation de haut de pente, de mi-pente et de bas de pente.

En bas de pente (Figure 16), les parcelles sont constituées de 70 à 80% de sols profonds. En plus de ce fait leur situation topo séquentielle les prédispose à recevoir les eaux de ruissellement qui apportent aussi des éléments minéraux (Roose, 1994). Cet aspect favorable peut être contrebalancé par l'existence d'un risque d'engorgement qui créerait un mauvais fonctionnement du système racinaire, à certaines périodes de la saison des pluies.

A mi-pente la fréquence des parcelles de faible profondeur est réduite en faveur des parcelles profondes (Figure 17), qui sont a priori les situations les plus favorisées de l'échantillon (réserve en eau importante, pas d'engorgement).

Le haut de pente (Figure 18) est dominé par les parcelles de faible profondeur. Ces parcelles présentent des risques plus élevés de stress hydrique. En 1997 il n'y a pas de parcelles de profondeur moyenne comprise entre 55 de 95 cm. On notera que les parcelles profondes existent aussi en haut de pente.

Dans la zone, il y a des sols latéritiques avec la cuirasse qui parfois affleure en haut de pente. Quand elle est en démantèlement, elle donne une forte charge gravillonnaire au sol. En haut de pente le ruissellement est plus important à cause de la pente. Cela fait partie des facteurs qui accentuent le risque de stress hydrique pour les cultures qui y sont installées.

Cette analyse montre qu'il est nécessaire d'associer les deux critères (profondeur du sol, position topographique) pour approcher les risques cultureux liés aux parcelles. Les paysans tiennent du reste compte de ces deux critères pour le choix de localisation de leurs céréales. Ainsi, il est très rare de trouver du mil, culture qui résiste mieux à la sécheresse que le sorgho, en bas de pente. Au contraire, on le trouve fréquemment dans les sols superficiels de haut et de mi-pente.

III-1.3 Structure des échantillons de parcelles étudiés en 1997 et 1998

Les parcelles ont été choisies, autour de la station de Saria, pour recouvrir la diversité des milieux physiques que cultivent les paysans. De même, on s'est attaché à recouvrir la diversité des systèmes de culture (modalités de travail du sol, précédents culturels pour le sorgho). La combinaison de ces facteurs est présentée de façon synthétique au tableau I.

En 1997, sur 29 parcelles étudiées, on ne connaît la profondeur du sol et la situation topographique que pour 22 d'entre-elles. A l'exception d'une parcelle, tous les précédents culturels sont du sorgho.

En 1998, sur 74 parcelles, 54 avaient un précédent sorgho et 20 un précédent mil.

On retrouve ici la différence déjà notée entre les deux années, en ce qui concerne la répartition des 3 modalités de travail du sol. Si leurs effectifs sont à peu près équivalents en 1997, ce n'est pas le cas en 1998. Les parcelles labourées sont trois fois moins fréquentes que les deux autres techniques. Ceci tient aux conditions climatiques très différentes entre les années (voir le chapitre I).

Toutes les données recueillies sur ces parcelles figurent à l'annexe II-1

L'effectif de la première année d'enquête est donc très réduit. Elle constituait en réalité une année de mise au point du protocole d'enquête dans les champs paysans. L'effectif de 1998 est plus important. Il fournit un échantillon qui semble bien représentatif de la zone d'étude. On note en particulier la prédominance des précédents sorgho dans les sols les plus profonds (plus de 80% de l'effectif). Ceci est en accord avec la plus forte sensibilité à la sécheresse de cette culture, par rapport au mil que l'on retrouve plus fréquemment dans les sols superficiels.

La taille importante de l'échantillon de parcelles sur précédent sorgho en 1998 permettra, dans la suite de l'analyse, de faire jouer à cette sous-population un rôle particulier. C'est sur elle que l'on effectuera en premier lieu certaines analyses. Les résultats obtenus seront ensuite testés sur les autres sous-populations (précédent mil en 1998, précédent sorgho en 1997). On évitera ainsi de travailler sur des données trop hétérogènes pour la recherche d'explications à la variabilité des rendements du sorgho.

TABLEAU I : Structure des échantillons de parcelles étudiées (nombre de parcelles)

a) En 1997 :

Profondeur du sol	grattage	scarifiage	labour	total
< 40 cm	0	0	3	3
40 - 55 cm	1	3	0	4
55 - 95 cm	0	0	2	2
> 95 cm	6	4	3	13
Total	7	7	8	22
non déterminé	2	2	3	7

b) En 1998 :

Profondeur du sol	précédent cultural	grattage	scarifiage	labour	total
< 40 cm	mil	1	2	1	4
	sorgho	5	5	2	12
	total	6	7	3	16
40 - 55 cm	mil	3	1	1	5
	sorgho	4	3	1	8
	total	7	4	2	13
55 - 95 cm	mil	1	3	1	5
	sorgho	2	2	0	4
	total	3	5	1	9
> 95 cm	mil	4	2	0	6
	sorgho	12	14	4	30
	total	16	16	4	36
Total	mil	9	8	3	20
	sorgho	23	24	7	54
	total	32	32	10	74

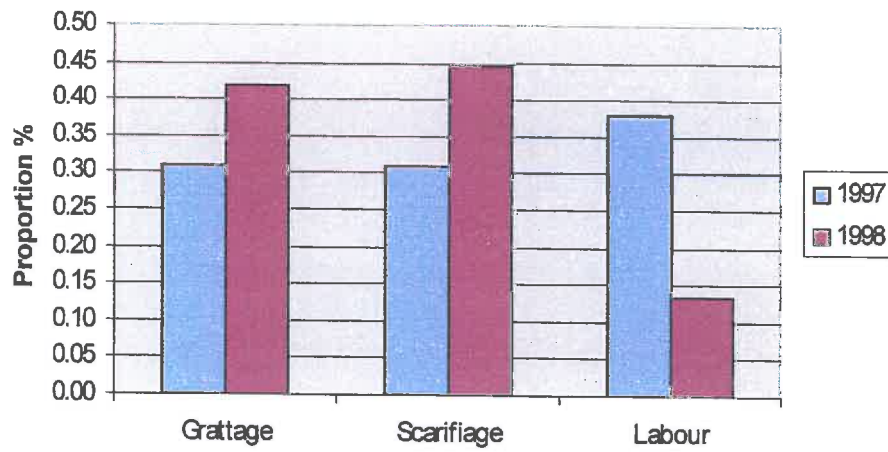


Figure 19 : Proportion d'utilisation des techniques de travail du sol au cours des 2 années.

III-2 Calendrier de mise en place et d'entretien des cultures.

III-2.1 Travail du sol.

a) la répartition entre les techniques de travail du sol

La Figure 19 permet d'observer qu'entre 1997 et 1998 les importances relatives des techniques de préparation du sol dans l'échantillon sont différentes : en 1997 le labour est fait dans près de 40 % des parcelles, contre 12 % seulement en 1998. De ce fait, les fréquences du scarifiage et du grattage augmentent, tout en gardant comme en 1997 des valeurs voisines entre-elles.

On ne peut supposer qu'il existe entre les deux années une évolution notable des équipements de travail du sol, dans le sens d'une diminution du nombre de charrues et d'attelages disponibles pour le labour. On doit donc rechercher ailleurs l'origine de cette différence entre les deux années. Après enquête auprès des paysans, il apparaît que la réalisation du labour ne se fait pas systématiquement tous les ans sur la même parcelle. D'une part à cause du manque de moyens, qui empêche de labourer toute la surface chaque année. D'autre part parce que ce n'est pas considéré comme indispensable dans le cadre d'une culture continue de céréales. On note en effet que les parcelles labourées en 1997 ne l'ont été en 1998 que dans 40% des cas.

D'un autre côté, la possibilité de réaliser le labour dépend de l'humidité du sol. C'est à dire de la pluviométrie en début de saison humide. Or la pluviométrie cumulée entre le début de la saison humide et la date du 15 mai est de 114 mm en 1997 et seulement de 64 mm en 1998. On peut donc supposer qu'un certain nombre de parcelles n'ont pu être labourées en 1998, le sol étant trop sec.

b) les dates de réalisation des travaux en fonction de la pluie.

La réalisation du travail du sol est en effet liée à la pluviométrie. La Figure 20 montre une liaison linéaire très forte, en 1997, entre la date de travail et celle de la dernière pluie qui le précède. La liaison est identique pour toutes les techniques de travail du sol : toutes les parcelles ont été travaillées un ou deux jours après une pluie.

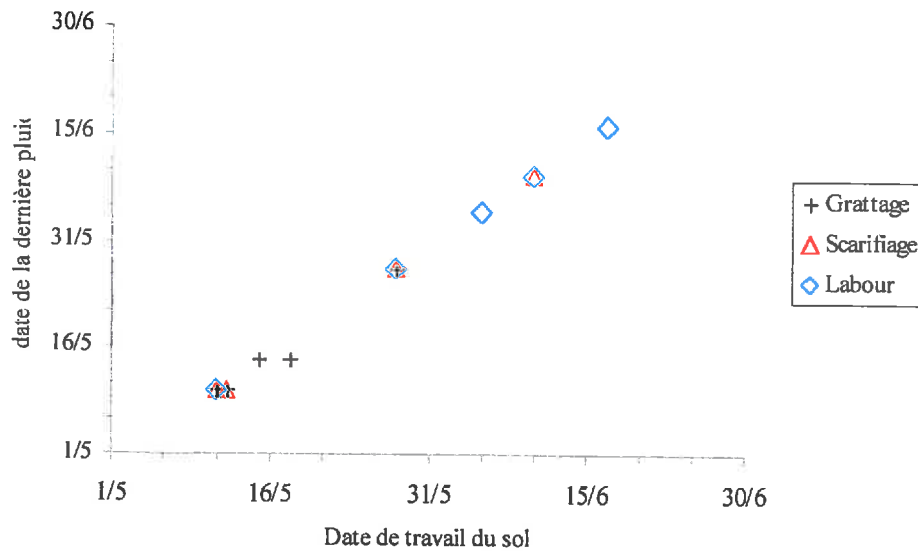


Figure 20 : Date de travail du sol en fonction de la date de la dernière pluie en 1997.

En 1998 (Figure 21), une liaison existe aussi, mais n'est pas aussi stricte qu'en 1997 et il apparaît des différences entre les techniques. Pour le labour, comme en 1997, la date de travail se situe un à deux jours après la pluie. Mais pour le grattage et le scarifiage, le délai est souvent plus long, allant jusqu'à 3 à 4 jours. Ceci suggère, pour ces techniques, une moins grande dépendance vis-à-vis de l'humidité du sol, permettant de les utiliser en année relativement sèche comme 1998, sans être obligé d'attendre de nouvelles pluies ce qui retarderait les semis. Ce point sera étudié en détail ultérieurement.

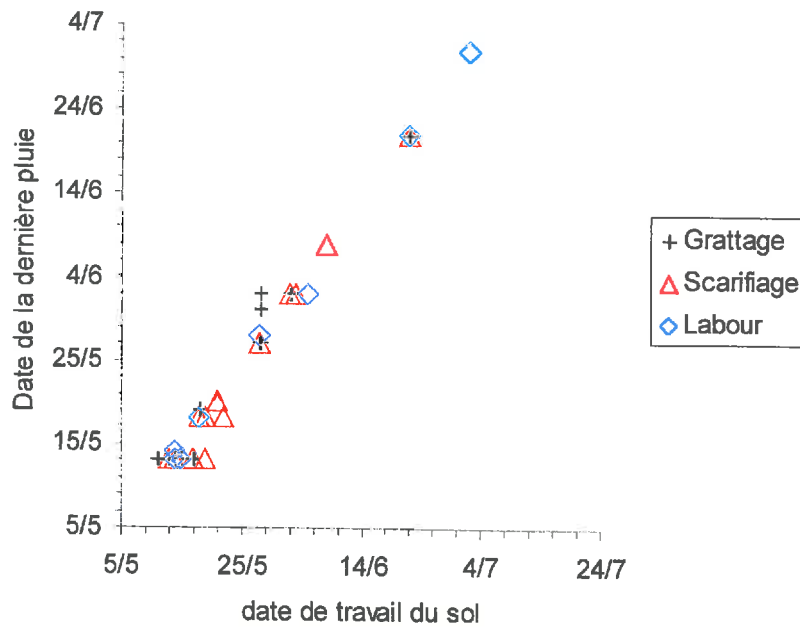
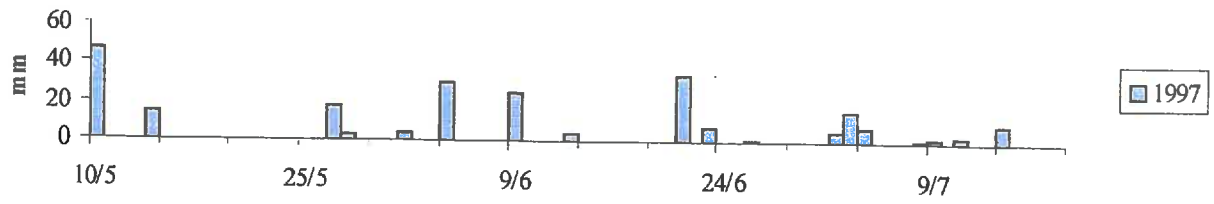
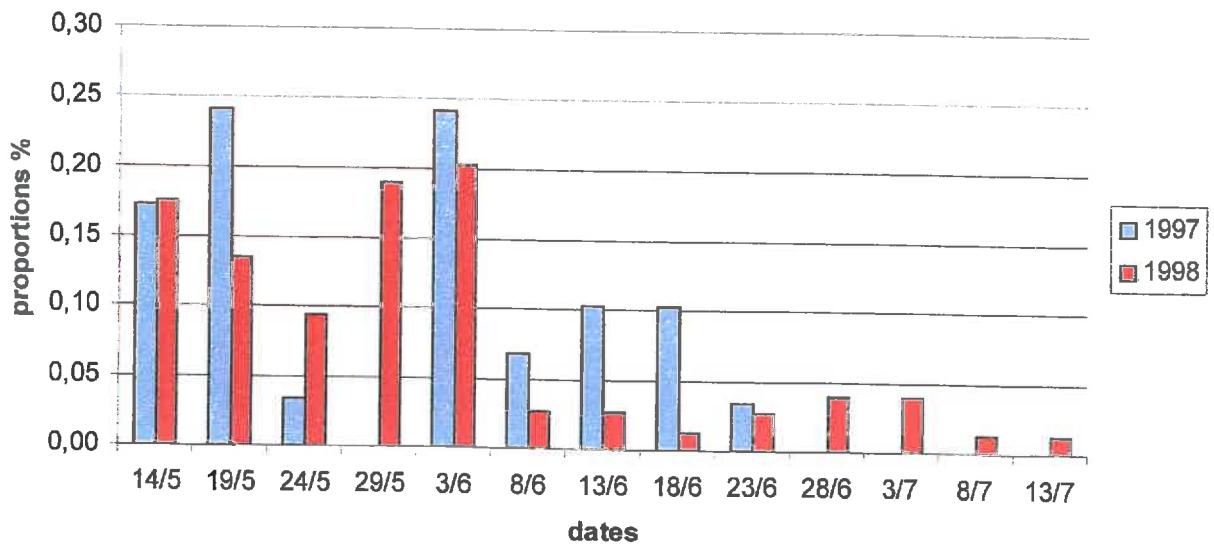


Figure 21 : Date de travail du sol en fonction de la date de la dernière pluie en 1998

Pluies de 1997 Période de semis



Histogramme des classes de dates de semis



Pluies de 1998 Période de semis

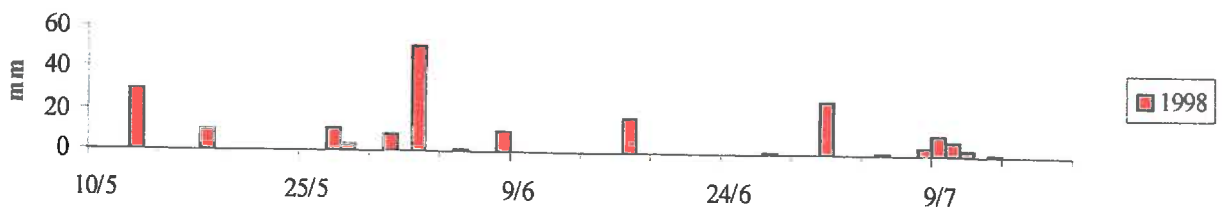


Figure 22 : Classes de dates de semis et pluviométrie en 1997 et 1998.

La Figure 22 montre la répartition des dates de semis pour chaque année, en comparaison avec la répartition des pluies. Chaque année, on note des pluies en début de deuxième décennie de mai, suivies d'une période d'une dizaine de jours sans pluie. Ces premières pluies étaient plus importantes en 1997 qu'en 1998. Les semis commencent aussitôt après les premières pluies, ce qui montre la volonté des paysans de semer très précocement. Ils prennent cependant des risques, comme en 1998. Ainsi, au début de cette campagne, à la faveur d'une pluie de 10 mm sur un sol asséché par 2 semaines sans pluie, des semis ont été réalisés le 19/5. Tous ces semis ont échoué car les pluies n'ont pas été suffisantes par la suite. En 1997, on a eu aussi une période sans pluie dans la deuxième quinzaine de mai, mais elle suivait des pluies plus importantes (60 mm contre 40 mm en 1998 à la même période). Ces semis n'ont pas dû, en général, être recommencés.

Il y a 80 à 90 % des paysans qui réalisent leur semis au plus tard le 15 juin. Les semis en 1998 se sont terminés plus tardivement (15 % des parcelles semées entre le 23/6 et le 13/7 alors que la dernière date de semis en 1997 était le 23/6).

III-2.2 Le semis

Le travail du sol est suivi du semis (Figure 23). Les quelques parcelles qui ont leurs dates de semis éloignées de la date du travail du sol de plus de 10 jours en 1997 correspondent à des parcelles qui ont été ressemées car le premier semis n'avait pas levé. Ceci se retrouve dans les trois techniques.

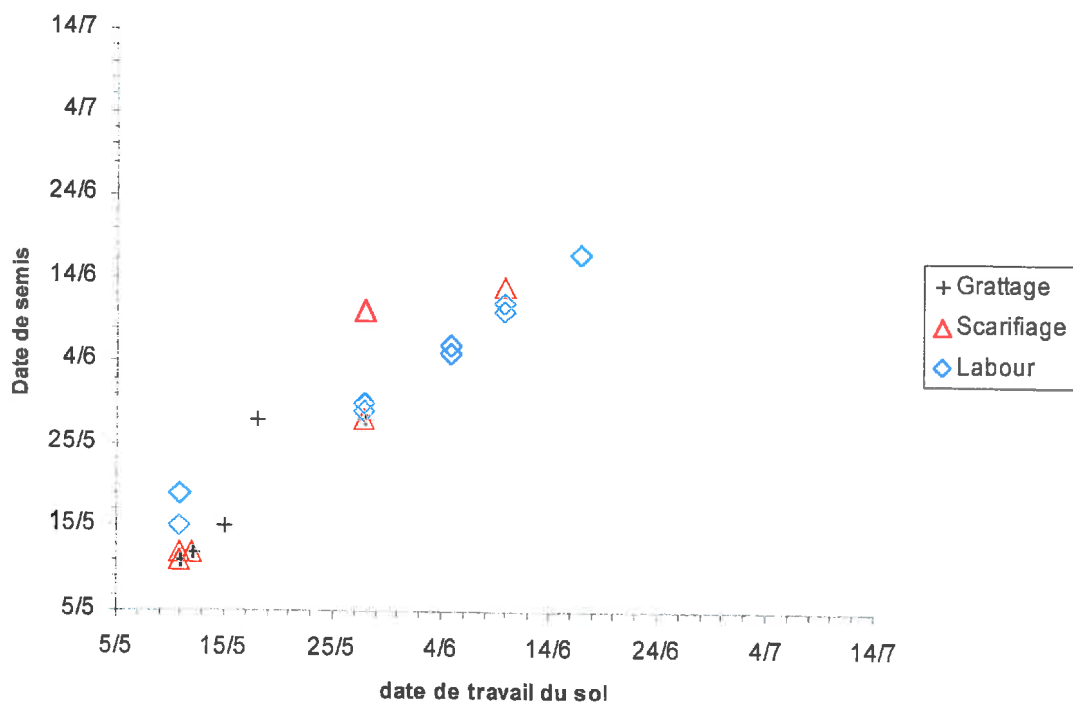


Figure 23 : Evolution de la date de semis en fonction de la date du travail du sol en 1997

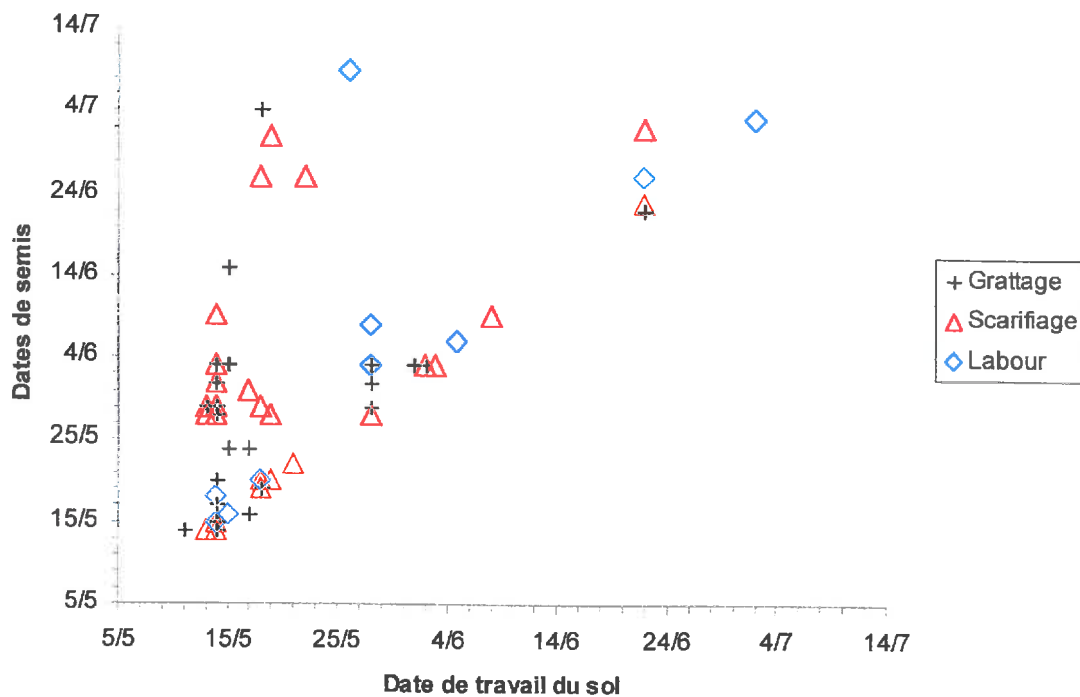


Figure 24 : Lien entre la date de travail du sol et la date de semis en 1998

Pour 1998, la Figure 24 montre que l'on a dû faire des nouveaux semis dans beaucoup de parcelles. Cette année les semis faits entre le 15 et le 28 mai, ont pour la plupart été repris. La pluviométrie n'était pas suffisante pour assurer une bonne levée. Les semis ont été repris 10 à 20 jours après le travail du sol pour cette raison. Ici aussi, toutes les techniques de travail du sol sont concernées, pour les travaux de la première moitié de la campagne de semis. On voit bien que la recherche à tout prix d'un semis précoce comporte des risques.

Quant aux relations entre date de travail du sol et technique, on voit pour les deux années que le grattage se fait uniquement dans la première moitié de la campagne de semis, et que les deux autres techniques existent du début à la fin de la campagne.

III-2.3 Dates de semis et dates des sarclages.

Il est montré à la Figure 25 que le délai entre la date de semis et le premier sarclage est très variable entre parcelles. Il va de 8 à 57 jours pour les semis les plus précoces. Cet étalement reflète vraisemblablement la vitesse à laquelle progresse le salissement dans les parcelles, ainsi que les moyens en travail dont disposent les agriculteurs. La longueur de cet intervalle de temps diminue ensuite plus les semis deviennent tardifs. Les semis tardifs ont leur sarclage qui est réalisé au plus tard 1 mois après le semis. Cela est compréhensible dans la mesure où quand la saison pluvieuse avance, l'eau est aussi favorable aux adventices qu'à

la culture. Il faut donc intervenir assez vite pour limiter la compétition entre les espèces en détruisant les adventices.

Sauf exceptions, il apparaît que les délais de temps les plus importants entre semis et sarclage se trouvent pour le labour. Ceci peut être en rapport avec la meilleure capacité de destruction des adventices qu'offre cette technique. En particulier par le retournement du sol qui met les graines en profondeur. Les deux autres techniques de travail du sol sont équivalentes entre-elles sur ce plan.

Pour le second sarclage la situation est semblable. Il prend place entre 30 et 92 jours après semis, les intervalles de temps les plus élevés se trouvant pour les semis précoces. La liaison entre les dates de premier sarclage et de second sarclage (Figure 26) est assez forte. Globalement, cette liaison semble indiquer que les paysans n'interviennent que quand le champ est suffisamment enherbé pour justifier un travail supplémentaire.

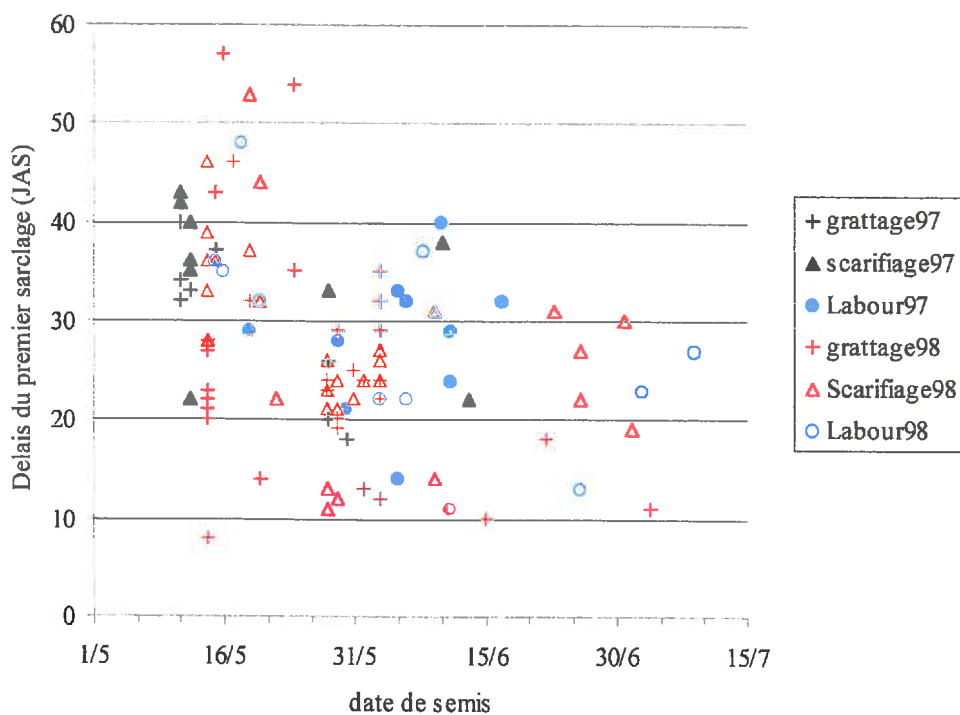


Figure 25 : liaison entre la date de semis et le premier sarclage.

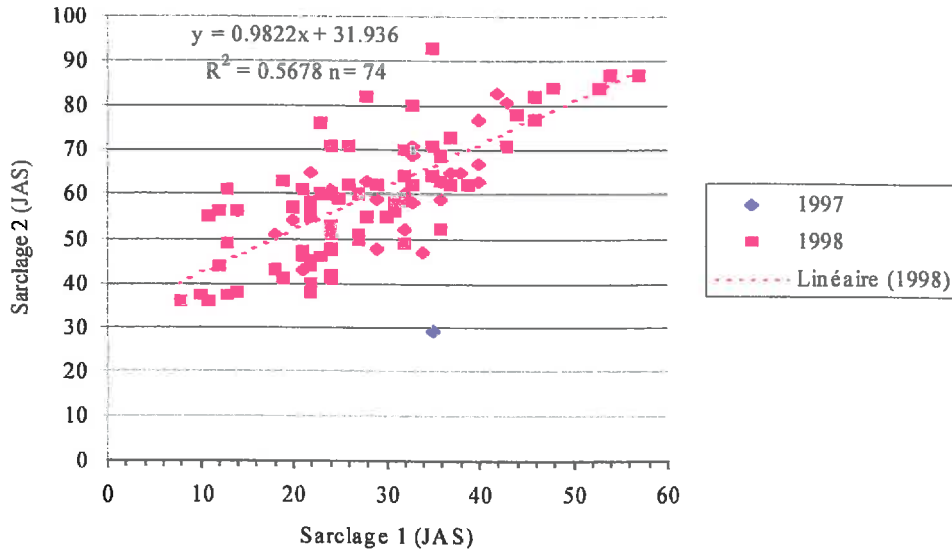


Figure 26 : liaison entre le premier sarclage du second sarclage

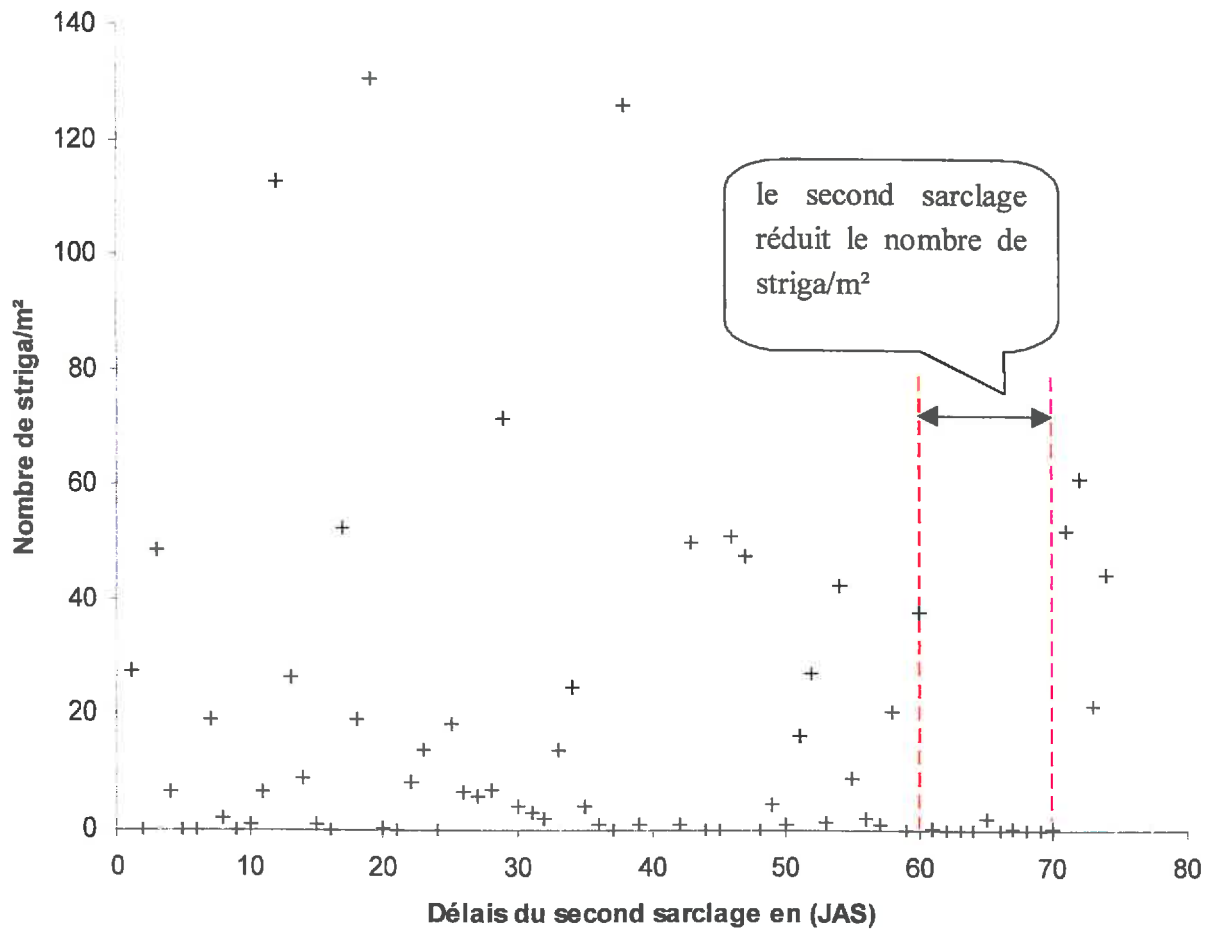


Figure 27 : Importance du striga sur la parcelle en fonction du délais du second sarclage

Mais le second sarclage ne semble pas primordial comme le premier pour assurer une bonne production à la culture (Barro et Traoré, 1996). La culture a alors un système racinaire plus profond et tolère mieux le stress hydrique. Par contre, il a été montré que ce second sarclage a un effet sur la destruction du striga quand il est fait entre 60 et 70 jas. Cela est en accord avec les observations faites par Hoffann (1994). Selon cet auteur, la réalisation du second sarclage entre 50 et 70 jas induit une baisse du nombre de pieds de striga sur le champ. Les observations faites en parcelles paysannes tendent à confirmer cela : le nombre de pieds de striga, très variable entre parcelles, est réduit quand l'opération est faite entre 60 et 70 JAS (Figure 27).

D'un autre côté, les parcelles labourées semblent avoir moins de striga que les autres parcelles, nous pensons que cela est dû à un enfouissement profond des graines qui les met ainsi à l'abri de la lumière.

Dans les parcelles situées en bas de pente on a peu de striga. Par contre le parasite est important en haut de pente et à mi-pente. Cela semble conforme à la littérature qui explique que le striga se développe surtout sur les sols pauvres. Rappelons que les parcelles de bas de pente sont plus riches que les parcelles de haut de pente à cause du fait que l'on y trouve les alluvions. Elles reçoivent aussi plus d'eau ce qui permet une croissance plus importante de la culture, qui renforcerait sa capacité de compétition avec le striga.

III-3 Analyse de la variabilité des rendements du sorgho

III-3.1 Variabilité des rendements en grains : effet de la profondeur du sol, du travail du sol et du précédent cultural

Les rendements obtenus sont très variables, allant de 0,54 à 2,50 t/ha en 1997, et de 0,12 à 3,30 t/ha de grains en 1998. La moyenne en 1997 (1,21 t/ha) est plus forte qu'en 1998 (1,04 t/ha). L'histogramme de la Figure 28 montre pour chaque année une répartition dissymétrique, les valeurs médianes (respectivement 1,07 et 0,82 t/ha pour 1997 et 1998) étant plus faibles que les moyennes.

Il est, à cette étape, intéressant d'examiner la façon dont les facteurs de structuration des populations de parcelles s'expriment sur les rendements du sorgho. On constate (voir le tableau II) :

- que la variation des rendements moyens, en 1997 et dans les différentes populations de 1998, ne reflète pas un avantage systématique aux sols les plus profonds ;
- qu'il n'existe pas un classement stable entre les différentes modalités de travail du sol.

Ces constatations ne doivent pas surprendre, compte-tenu de la constitution des échantillons de parcelles. Et surtout de la grande variabilité des effectifs entre les modalités des facteurs considérés. Mais cela ne signifie pas que le travail du sol, ou la profondeur du sol, ne jouent aucun rôle dans l'élaboration du rendement du sorgho.

Une analyse détaillée sera nécessaire pour conclure. En particulier, on ne peut retenir pour acquis dès maintenant la supériorité du labour sur les autres techniques. Elle semble apparaître en 1998 sur l'échantillon total (confondant les précédents culturaux). Mais le faible effectif des parcelles en labour (10 seulement) incite à la prudence.

Par contre, il semble se dégager assez nettement une supériorité du précédent sorgho sur le précédent mil en 1998. Les rendements moyens sont plus élevés pour le premier pour chaque gamme de profondeur du sol, et pour chaque modalité de travail du sol. Ce résultat doit être considéré avec prudence, car il peut être lié à des aléas d'échantillonnage. De plus, le faible nombre de parcelles sur précédent mil interdit d'examiner la combinaison entre les facteurs profondeur et travail du sol.

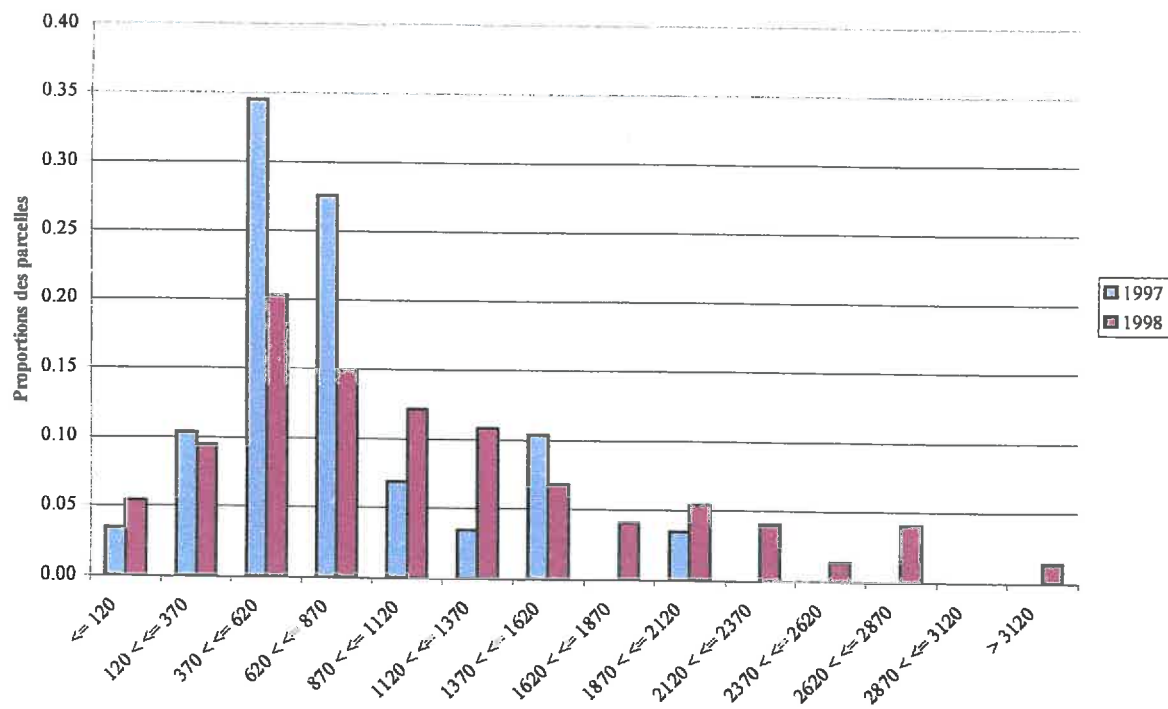


Figure 28 : Histogramme des classes de rendements grains en 1997 et 1998

TABLEAU II : Variabilité des rendements du sorgho selon la profondeur du sol, le travail du sol et le précédent cultural

a) 1997 (précédent sorgho, 21 parcelles)

PROF. SOL	< 40 cm	40 - 55 cm	55 - 95 cm	> 95 cm	moyenne
Rendements	1,53	0,97	1,10	1,25	1,21

Travail du sol	grattage	scarifiage	labour	moyenne
Rendements	1,15	1,33	1,16	1,21

b) 1998 (précédent sorgho, 54 parcelles)

PROF. SOL	< 40 cm	40 - 55 cm	55 - 95 cm	> 95 cm	moyenne
Rendements	1,01	1,30	1,85	1,10	1,17

Travail du sol	grattage	scarifiage	labour	moyenne
Rendements	1,01	1,29	1,27	1,17

c) 1998 (précédent mil, 20 parcelles)

PROF. SOL	< 40 cm	40 - 55 cm	55 - 95 cm	> 95 cm	moyenne
Rendements	0,52	1,22	0,24	0,77	0,70

Travail du sol	grattage	scarifiage	labour	moyenne
Rendements	0,76	0,47	1,14	0,70

c) 1998 (tous précédents, 74 parcelles)

PROF. SOL	< 40 cm	40 - 55 cm	55 - 95 cm	> 95 cm	moyenne
Rendements	0,89	1,27	0,96	1,05	1,04

Travail du sol	grattage	scarifiage	labour	moyenne
Rendements	0,94	1,08	1,23	1,04

NB. Les rendements en grains sont exprimés en t/ha

On en retiendra cependant les deux conclusions suivantes :

- Contrairement aux hypothèses faites lors de la constitution de l'échantillon d'enquête, il n'apparaît pas d'effet dépressif du précédent sorgho, au contraire. Malgré ce qui est souvent mis en avant sur les propriétés allélopathiques de ses pailles (Dommergue et al 1991). On sait du reste que les quantités de pailles de sorgho restant dans les champs sont minimales, vu l'utilisation qu'en font les paysans (nourriture du bétail, combustible,...). Si cet effet existe, il est vraisemblable qu'il ne s'exprime pas dans les conditions paysannes. L'effet dépressif, apparent, du précédent mil ne semble pas pouvoir être lié de façon systématique aux caractéristiques physiques des parcelles. En effet si l'on trouve fréquemment ce précédent dans les sols superficiels, on le trouve aussi dans les sols profonds de bas de pente. Il est vraisemblable, par contre, que cet effet dépressif soit lié au bilan organique et minéral de la culture de mil. Celui-ci est très déficitaire puisque les pailles sont enlevées ou consommées par les animaux et qu'aucun apport fertilisant n'est réalisé.
- Pour la poursuite de l'analyse, il importe de bien distinguer les deux sous-populations, précédent mil et précédent sorgho, pour se prémunir contre les confusions d'effet.

III-3.2 Etude des relations internes aux peuplements

L'explication de la variabilité des rendements ne peut donc aboutir à des conclusions simples, au travers de l'analyse des facteurs de structuration du réseau de parcelles enquêtées. On étudiera alors les relations internes aux peuplements, pour :

- mettre en évidence, s'il existe, l'effet de la date de semis, variable dont on connaît par ailleurs l'importance pour l'élaboration du rendement (voir chapitre I) ;
- rechercher des valeurs-seuils pour les composantes du rendement, en particulier des limites de compétition (Wey et al 1998, Siband et al 1999).

On notera qu'à cette étape il n'y a pas lieu de distinguer les sols et les précédents culturaux : toutes les parcelles, qui portent la même variété, sont utilisables pour cette partie de l'analyse.

On pourra ensuite bâtir un diagnostic sur chaque parcelle, en ayant identifié les variables explicatives à tester dans chaque population de parcelles.

- a) Mise en évidence de l'effet de la date de semis sur le rendement :

Pour la variété sensible à la photopériode qui est étudiée ici, la date de semis conditionne la température étant donnée, la durée de la phase de croissance végétative. Celle-

ci s'arrête à la floraison qui a lieu à date fixe, aux environs du 15 septembre. La date de semis conditionne donc la quantité d'énergie radiative qui pourra être utilisée par le peuplement pour élaborer de la biomasse. Une partie de celle-ci sera ensuite utilisée pour remplir les grains.

Il doit donc exister une relation assez stricte entre la biomasse élaborée jusqu'à la floraison et le rendement en grains. Sauf si des accidents pénalisant l'état du feuillage (ou sa densité) ou le nombre de grains par unité de surface et leur remplissage surviennent. Ceci impose d'examiner la densité de semis et les conditions d'alimentation hydrique.

En prenant pour estimation de la biomasse aérienne à la floraison le poids de paille mesuré à la récolte, on observe effectivement une relation assez étroite (Figure 29). On peut alors examiner l'effet de la date de semis sur le rendement en grains. La Figure 30 est construite en faisant apparaître l'enveloppe supérieure des points représentatifs des parcelles. **La date du 15 juin, en 1998, apparaît comme une limite.** On trouve des valeurs élevées du rendement pour les semis plus précoces. Les semis plus tardifs correspondent à des rendements maximaux qui décroissent avec la tardiveté du semis.

Le faible effectif de parcelles en 1997, et le fait que les points représentatifs appartiennent au nuage de points de 1998, ne permettent pas d'identifier une date de semis seuil différente. C'est donc la date du 15 juin que l'on retiendra pour la suite de l'analyse, pour les deux années. Il ne s'agit évidemment que d'un repère dans le temps, au-delà duquel la date de semis, entre autres facteurs, limite le rendement maximal pouvant être atteint. En-deçà de cette date, les semis les plus précoces correspondent, à priori, à des rendements maximaux possibles d'autant plus élevés qu'ils sont plus précoces. Mais, on l'a vu au paragraphe III 2.1 de ce chapitre, les conditions pluviométriques du début de campagne ont été parfois difficiles, surtout en 1998. Pour l'analyse ultérieure, on découpera la période des semis, jusqu'au 15 juin, en tenant compte de la répartition des pluies.

Enfin, le graphique de la Figure 30, par la dispersion des points représentatifs des parcelles qu'il fait apparaître, montre que la date de semis ne peut être le seul facteur explicatif de la variabilité des rendements.

- b) Relations entre le rendement et les composantes du rendement

Le **rendement (R)** et le **poids de 1000 grains (P1000)** ont été mesurés dans chaque parcelle. Ceci permet de calculer le **nombre de grains par unité de surface (NG)** en utilisant la décomposition simple suivante :

$$R = NG * P1000$$

Avec R en t/ha, NG en Nombre/m², et P1000 en gramme.

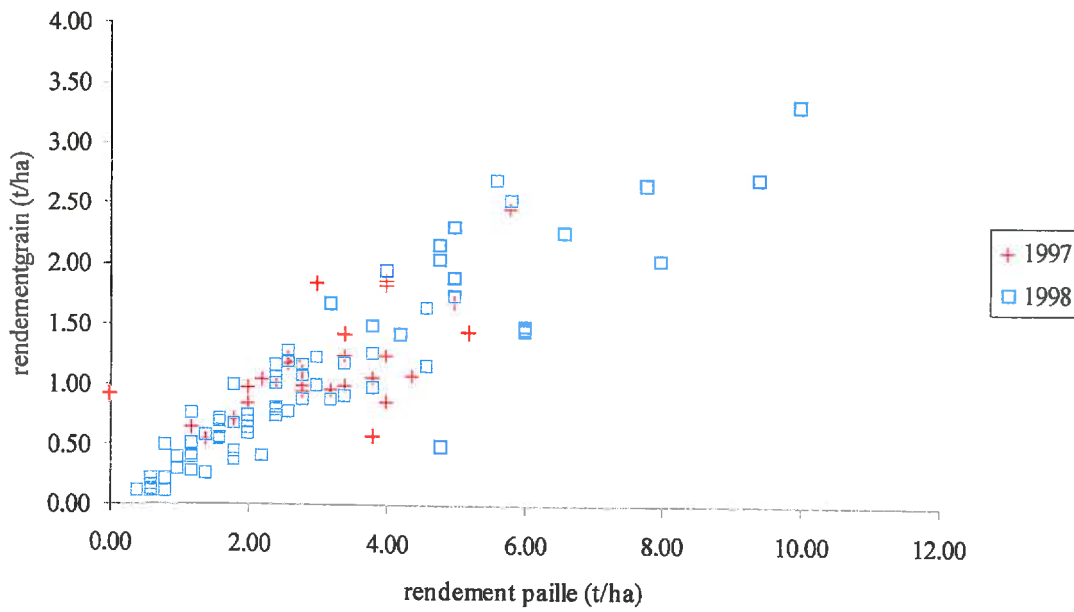


Figure 29 : Evolution de la production de grain en fonction du poids paille.

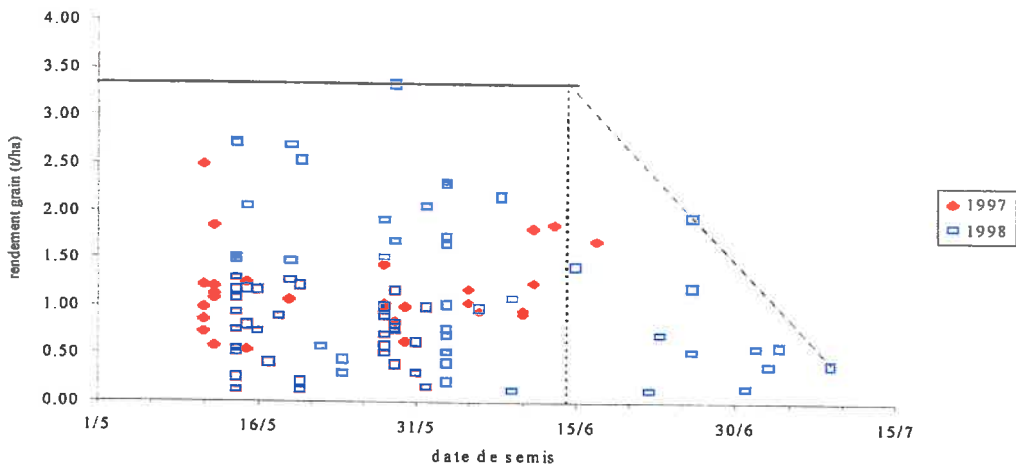


Figure 30 : Variation du rendement grain en fonction de la date de semis.

Comme d'autres auteurs travaillant sur céréales (dont Leterme et al., 1994), on trouve une relation positive très étroite entre R et NG (Figure 31). La relation est plus lâche entre R et P1000 (Figure 32), mais elle reste positive. En 1997 le poids de 1000 grains explique mal la production de grain. Pour l'année suivante il y a une explication plus importante du rendement par le poids de mille grains. On le verra dans le paragraphe d'étude de l'alimentation hydrique, ce phénomène semble lié à l'eau. Cette dernière relation suggère qu'il n'existe pas dans l'échantillon un nombre important de parcelles atteignant des valeurs très fortes de NG, entraînant une compétition entre grains pour leur remplissage. C'est bien ce qui apparaît à la Figure 33. Sur cette figure, la limite de compétition entre grains est d'environ 10000 grains par m².

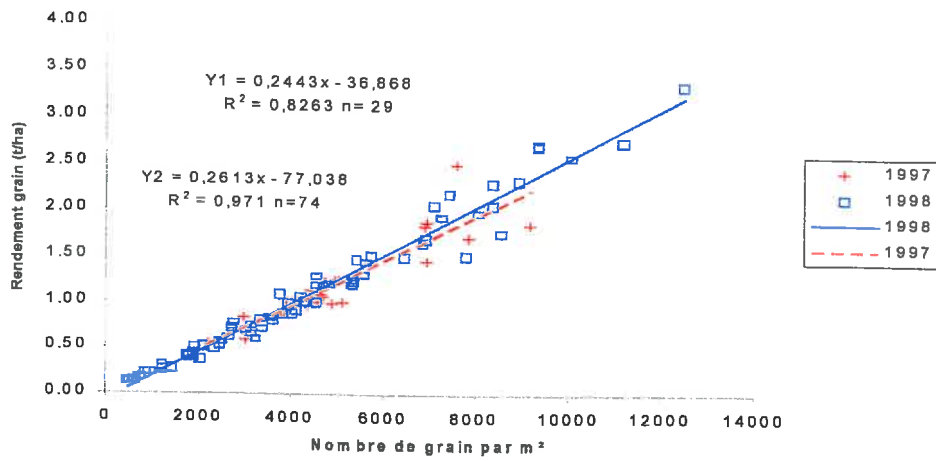


Figure 31 : Variation du rendement en fonction du nombre de grain/m²

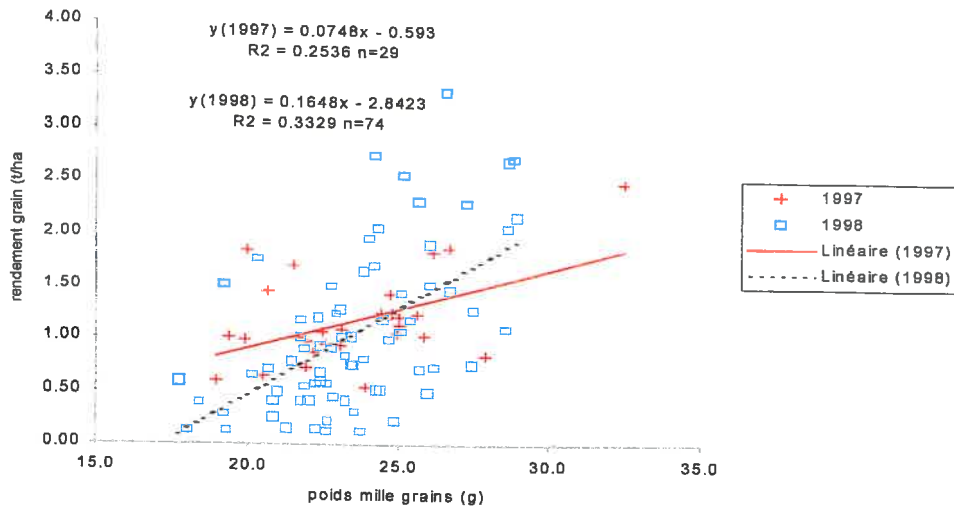


Figure 32 : Variation du rendement en fonction du poids de mille grains

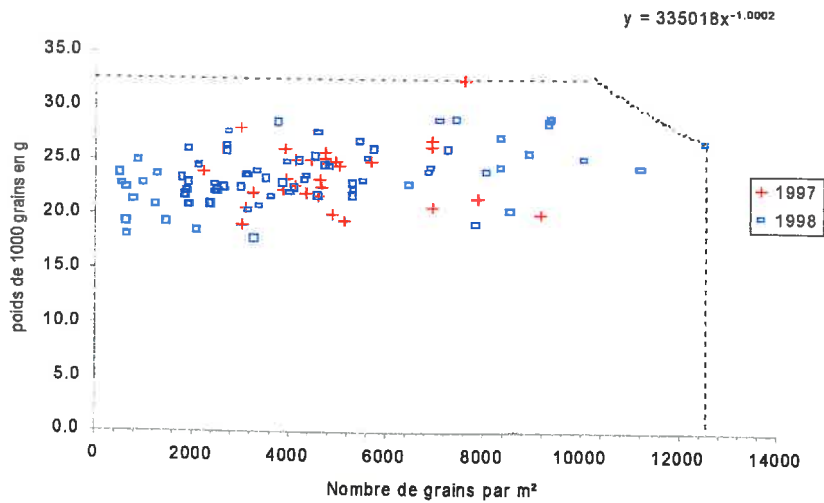


Figure 33 : Variation du poids de mille grains en fonction du nombre de grains

Pour analyser la variabilité des rendements, on privilégiera donc l'étude des variations de NG. En s'inspirant de la démarche proposée par Siband et al. (1999) pour l'analyse de la variabilité du rendement du maïs au Burkina-Faso, on considère d'abord la relation entre NP, le nombre de poquets par hectare (après démariage, chaque poquet contient en principe 2 pieds de sorgho), et NG (figure 27).

L'enveloppe des points représentatifs des parcelles est construite ainsi :

- On dessine la droite passant par l'origine et la valeur maximale de NG observée (12 500), dont l'abscisse correspond à 30 000 poquets / hectare. Dans ce premier domaine, le nombre de grains maximal que l'on peut atteindre est limité par le nombre de poquets. Mais à partir de $NG = 10000$ (limite de compétition entre grains), correspondant à 24 600 poquets, P 1000 diminue de façon à ce que le rendement maximal pouvant être atteint reste constant. On reportera cette limite (L_{PG}) dans le graphique suivant.
- On dessine la droite horizontale passant par le point (30 000, 12 500), exprimant qu'au-delà de 30 000 poquets / hectare il n'y a pas de valeur de NG supérieure à 12 500. On appelle L_{NG} cette valeur limite du nombre de poquets.
- On dessine l'hyperbole telle que $NP \cdot NG$ soit constant lorsque NP augmente, et qui passe par le point ayant la valeur la plus forte de NG lorsque NP est supérieur à 30 000 poquets / hectare. Cette hyperbole exprime l'accroissement de la compétition entre pieds, qui entraîne l'apparition de pieds stériles. Son intersection avec la droite précédente détermine la limite L_{NP} , de coordonnées (35 000, 12 500) au-delà de laquelle les valeurs maximales de NG que l'on peut atteindre diminuent avec NP.

Les trois limites ainsi définies sont reportées dans le graphique reliant NP et R (Figure 35), construit selon une démarche analogue au précédent graphique. Les points représentatifs des deux années d'étude formant des nuages qui ne se distinguent pas, on utilisera les mêmes valeurs numériques des limites, pour l'analyse des résultats de 1997 comme pour ceux de 1998.

Le rendement le plus élevé mesuré dans l'échantillon, sur les deux années, est de 3,34 t/ha de grains. On considérera comme Siband et al (1999), sans avoir pu le vérifier ici, qu'il correspond au rendement maximal permis par les conditions radiatives du lieu. Ce rendement maximal (R_{MAX}) pouvait s'obtenir, hors autres conditions limitantes, dans une gamme de NP comprise entre L_{PG} et L_{NP} (soit entre, environ, 25 000 et 35 000 poquets / hectare).

En dehors de cet intervalle, le nombre de poquets était ou insuffisant ou excessif pour que R_{MAX} puisse être atteint.

Un nombre de poquets insuffisant peut provenir de la densité de semis elle-même, ou de la non réussite du semis. Celle-ci peut être appréhendée par le rapport entre le nombre de

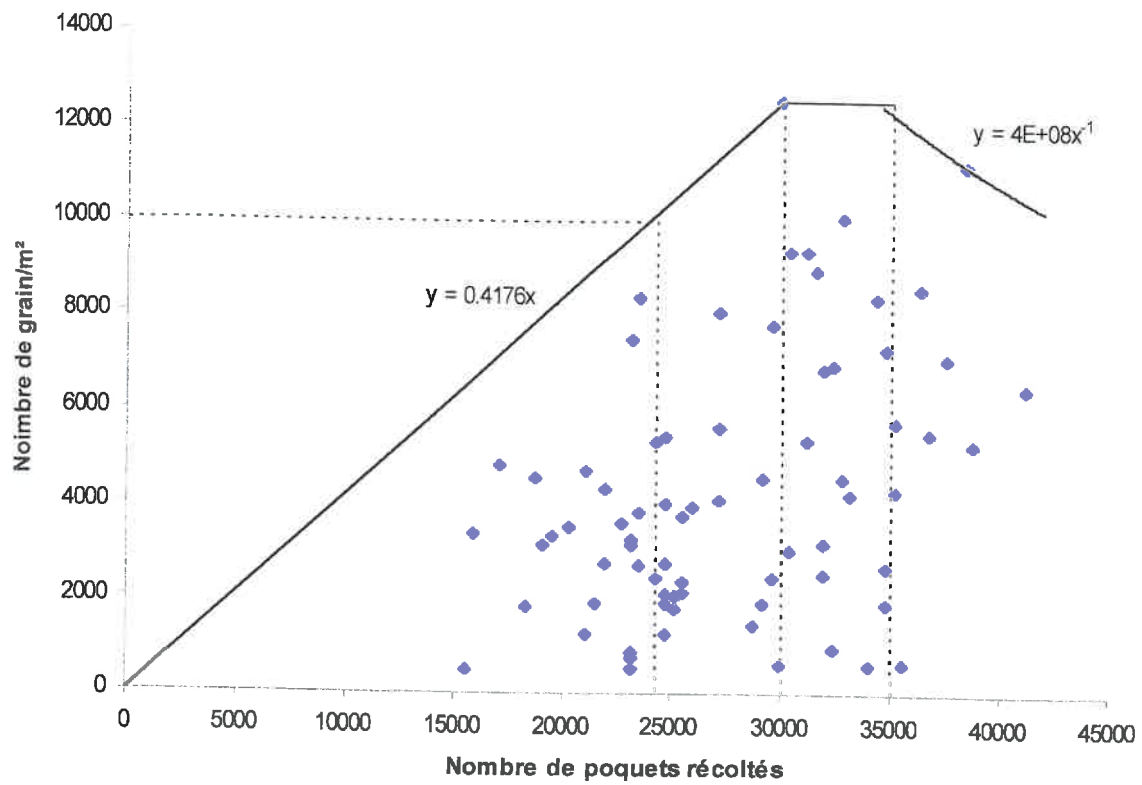


Figure 34 : Variation du nombre de grains/m² en fonction de la densité des poquets.

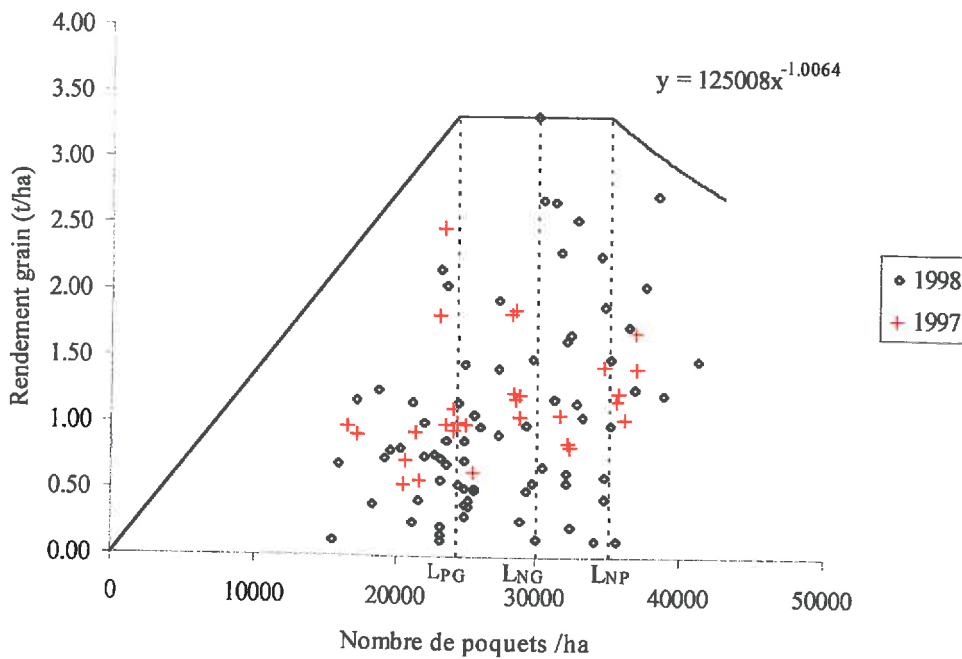


Figure 35 : Variation du rendement grains en fonction de la densité des poquets et des limites de compétions.

poquets à la récolte et le nombre de poquets semés. On considérera (Figure 36) qu'en dessous de la valeur 80 % de ce rapport, la réussite du semis était insuffisante pour permettre d'atteindre $NG = 10000$ (correspondant à L_{PG}).

Un nombre de poquets excessif provient d'une densité de semis élevée et/ou d'un taux de levée important. Ce qui entraîne une baisse du taux de fertilité des plantes par compétition entre les pieds entraînant la stérilité des panicules. Mais le taux de fertilité ne varie pas uniquement en fonction de NP, ce qui rend l'interprétation de cette variable délicate. D'autres causes (stress hydrique après la floraison, stress nutritionnel, parasitisme,...) peuvent en effet diminuer le taux de fertilité. Le fait qu'il existe une incidence forte d'une diminution de celui-ci sur NG (Figure 37) incite à examiner cette variable malgré les difficultés de son interprétation. En effet, entre 100 et 90 %, les valeurs maximales observées de NG passent de 12000 à moins de 8000. Dans le cadre du diagnostic, on postulera qu'en deçà de 90% l'incidence du taux de fertilité sur le rendement ne peut être négligée.

III.3.3 Elaboration de diagnostics

- a) Critères de diagnostic et interprétations :

Les critères pris en compte pour élaborer des diagnostics sur les parcelles proviennent des analyses précédentes. Il s'agit d'abord des valeurs seuils de NP identifiées plus haut, du critère de réussite du semis et du taux de fertilité des poquets. On positionnera les valeurs réelles mesurées dans les parcelles par rapport à ces seuils. L'interprétation est alors que NP permettait -ou non- d'atteindre R_{MAX} , si d'autres conditions (en particulier l'alimentation hydrique) n'étaient pas limitantes.

Ces premières variables sont complétées par l'examen des conditions d'alimentation hydrique. Celles-ci sont appréhendées par les simulations effectuées à l'aide du logiciel SARRA (voir sa présentation en Annexe II-3). On trouvera en annexe II-4 les résultats de ces simulations, pour les différentes dates de semis et valeurs de la réserve en eau du sol. La synthèse de ces données a permis :

- De découper la période de semis en intervalles de temps caractérisés par des risques plus ou moins importants de sécheresse, pouvant conduire à un échec de la levée et à un resemis plus tardif. Le niveau de précision de cette analyse n'impliquait pas de distinguer les années 1997 et 1998 entre-elles.
- d'identifier une valeur seuil du taux de satisfaction des besoins en eau de la culture au cours de son cycle. Ce taux est exprimé par le rapport ETR/ETM_C . Sa confrontation avec NG (Figure 38) permet de définir une valeur seuil de 75%, en-deçà de laquelle les valeurs maximales du nombre de grains par unité de surface n'atteignent pas $NG = 10000$.

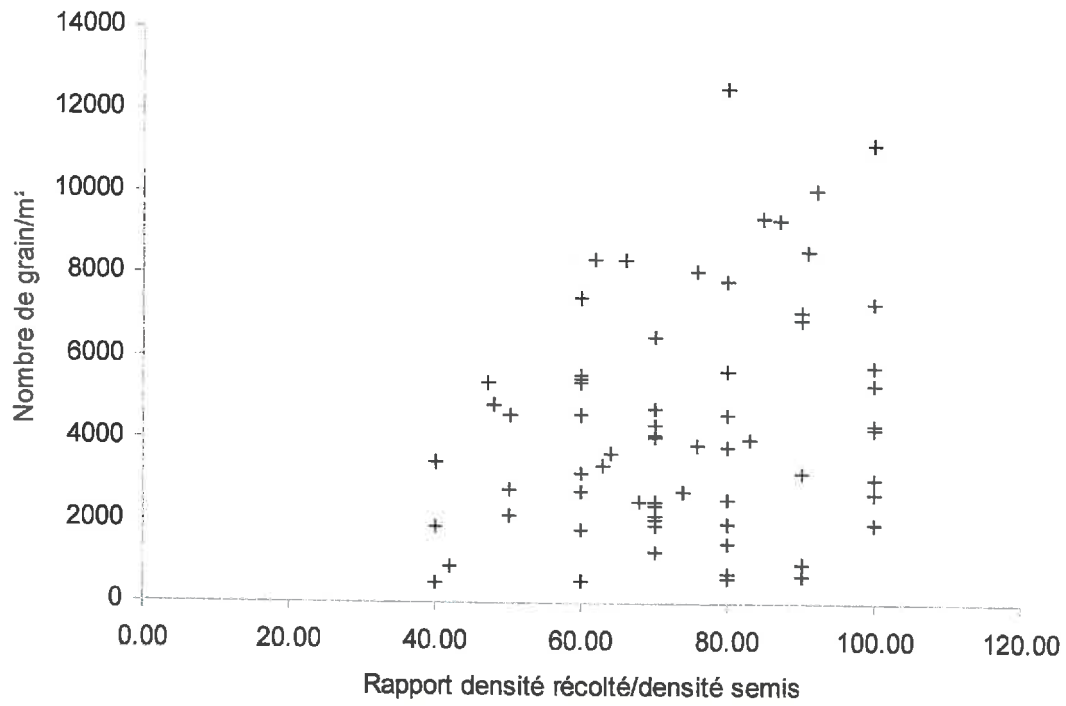


Figure 36 : Evolution du nombre de grains/m² en fonction du rapport de la densité au semis et celle de la récolte.

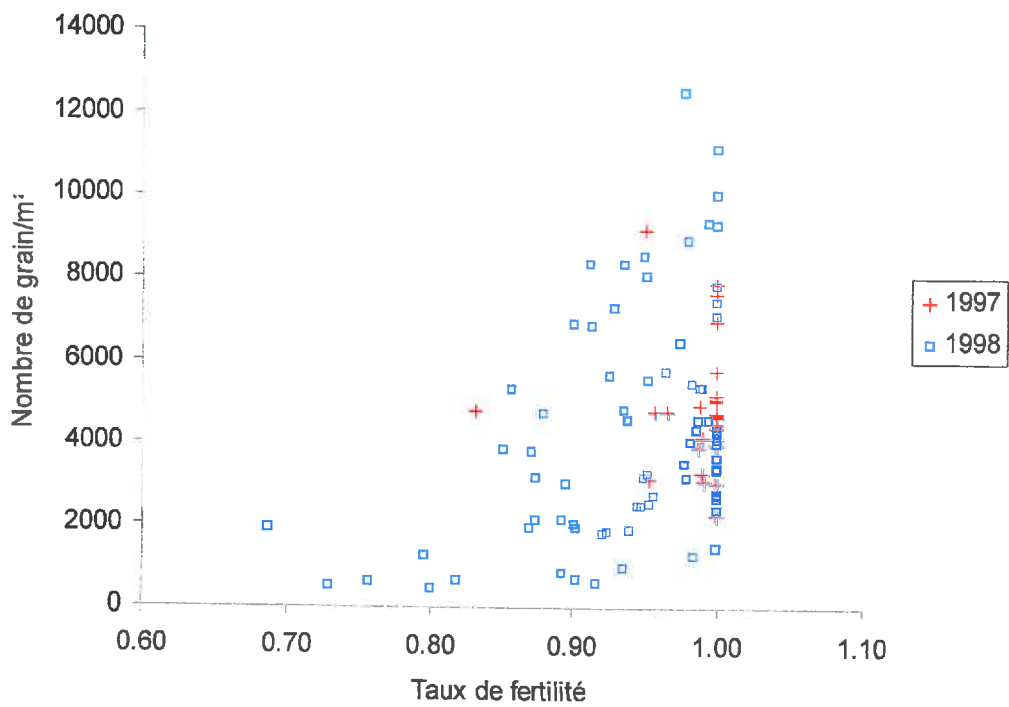


Figure 37 : Variation du nombre de grains/m² en fonction du taux de fertilité des plantes

Enfin, deux données complémentaires seront utilisées pour le diagnostic : l'importance du striga et les dates des sarclages. Ces dernières sont exprimées en nombre de jours après semis. On considère qu'au-delà d'un certain délai, le sarclage était trop tardif pour que les mauvaises herbes soient maîtrisées. Les seuils choisis correspondent aux préconisations locales. Elles tiennent compte de la vitesse de croissance des adventices et des effets de compétition. L'état de salissement des parcelles n'ayant pas été contrôlé directement, ces critères n'expriment qu'un certain niveau de risque.

L'ensemble de ces variables, et leur interprétation, figurent au tableau III.

TABLEAU III : Critères de diagnostic et d'interprétation.

Critères	Valeurs seuils	Interprétation
Date de semis	1. < 25/5 2. 26/5 - 1/6 3. 2/6 - 14/6 4. > 14/6	Risque élevé de sécheresse après semis dans tous les sols Conditions satisfaisantes Risques pour semis en sols peu profonds Limitation importante de NG et R (semis trop tardif), risques faibles de sécheresse après semis
Nb poquets à la récolte (NP)	0. < 25000 1. 25 / 35000 2. > 35000	NP insuffisant pour atteindre R_{MAX} NP ne limite pas l'obtention de R_{MAX} NP excessif (diminution de la fertilité)
NP fertiles/NP	0. < 90 % 1. > 90 %	Effet dépressif sur NG et R Pas d'effet limitant
NP/NP semés	0. < 80 % 1. > 80 %	Echec du semis pénalisant NG et R Réussite satisfaisante du semis
ETR/ETM cycle	0. < 75 % 1. > 75 %	Effet pénalisant de la sécheresse sur NG et R Pas d'effet notable (courtes périodes de sécheresse)
Striga	0. < 10 pl./m ² 1. 10 à 50 pl./m ² 2. > 50 pl./m ²	Pas d'effet sur la culture Effet marqué surtout si RU et ETR/ETM faibles Effet de compétition très marqué
Sarclages	0. < 35 jas (1) 1. > 35 jas (1)	Salissement en principe maîtrisé Salissement en principe non maîtrisé

(1) limites décalées de 40 jours pour le 2eme sarclage, de 80 jours pour le 3eme

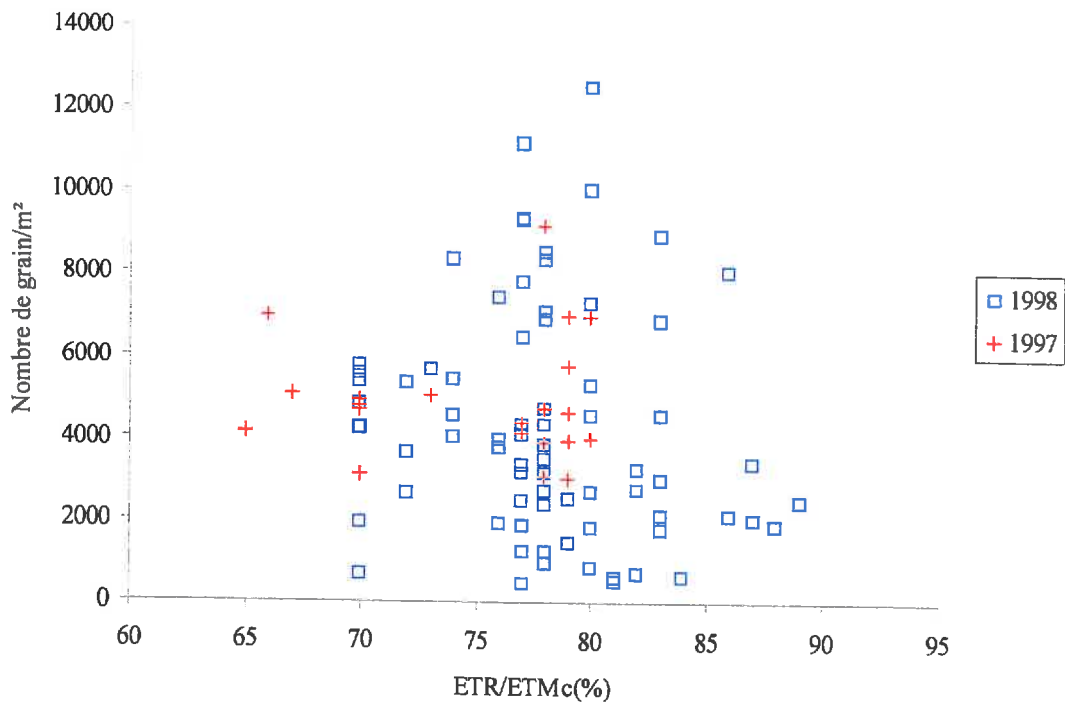


Figure 38 : Variation du nombre de grain/m² en fonction de la satisfaction des besoins en eau au cours du cycle.

- b) Elaboration de diagnostics sur les parcelles avec précédent sorgho en 1998

Les différents éléments du diagnostic sont rassemblés au tableau IV, selon la profondeur du sol et le niveau de rendement en grains.

TABLEAU IV : Eléments de diagnostic pour les parcelles à précédent sorgho en 1998

Rdt	Sol < 40 cm	Sol 40/55 cm	Sol 55/95 cm	Sol > 95 cm
> 2t		BL 2R 00 101 1 MS 1 00 001 1 BS 2R 00 211 1	MS 2R00 101 1 MS 1 00 111 1	MS 1 00 211 1 BG 1 00 111 1 BL 1 00 111 1 BG 2 00 1?1 1
1,5/2t		HG 3R10 211 1	MG 2R00 111 1	BS 4R00 101 1 MS 2R00 111 1 BG 3R 00 1?1 1
0,9/1,5 t	MS 1 11 211 0 HS 1 12 001 0 MS 1 10 201 0 HL 4R10 101 0 MG 1 12 001 0 HG 1 10 001 0 MS 1 02 111 0 ML 3 00 111 1	HS 2R10 101 1	MG 4R00 101 1	MS 1 00 210 1 HG 1 13 101 1 HG 2R10 101 1 MS 1 21 101 1
< 0,9t	BG 2 11 001 0 HG 4R00 0?1 1 BG 4 00 1?1 1	HG 1 03 001 1 MG 3 00 111 1 HS 4R00 100 1	MS 3 10 001 1	MG 2R10 0?1 1 BL 1 11 001 1 MS 2 00 000 1 BS 2R 00 001 1 ML 1 02 001 1 BS 4 00 001 1 MS 2R 00 001 1 MG 3 02 111 1 HS 3R 20 110 1 MS 4R 00 101 1 BG 1 00 001 1 BS 3R 00 000 1 MS 4R 00 100 1 HG 2R ?0 101 1 ML 3R12 000 1 HG 3R 00 000 1 MG 1 20 001 1 BG 2R 01 000 1

Légende : sont mentionnés dans l'ordre, pour chaque parcelle (une ligne par parcelle) :

- Situation topographique : H : haut de pente, M : mi-pente, B : bas de pente
- Travail du sol : G : grattage, S : scarifiage, L : labour
- Date de semis : période de réalisation 1 à 4 (cf. tableau III), R : semis recommencé après un échec de la levée
- Importance du striga : note 0 à 2 (cf. Tableau III)
- Réalisation des sarclages : 0 : réalisés dans des délais satisfaisants, 1 : 1er sarclage tardif, 2 : 1er et 2eme sarclages tardifs, 3 : tous sarclages tardifs, ou non réalisés
- Nombre de poquets à la récolte : note 0 à 2 (cf. Tableau III)
- Nb poquets à la récolte / Nb poquets semés : 0 ou 1 (cf. Tableau III)
- Nb poquets fertiles / Nb poquets à la récolte : 0 ou 1 (cf. Tableau III)
- ETR / ETM sur le cycle : 0 ou 1 (cf. Tableau III)

La lecture de ce tableau conduit aux observations suivantes sur les relations entre les niveaux de rendements et les différents critères examinés.

- La profondeur du sol et le rapport ETR/ETM_C :

La variabilité des rendements est importante au sein de chaque classe de profondeur du sol (c'est à dire de réserve en eau). Mais les deux premières classes de rendements (supérieurs à 2t/ha) ne figurent pas dans les sols les plus superficiels. C'est dans ces derniers seulement que l'on trouve la note 0 pour le rapport ETR/ETM_C calculé sur le cycle de culture. Ces deux observations convergent pour indiquer un effet dépressif de la sécheresse sur le rendement du sorgho, qui ne s'est manifesté nettement que dans les sols superficiels. On note aussi que les semis les plus tardifs, dans ces sols, ont permis d'éviter la période de sécheresse du début de campagne (ETR/ETM_C > 75 %). Mais ils ont pénalisé le rendement, par réduction de la durée de croissance avant la floraison.

Dans les sols plus profonds, le rapport ETR/ETM_C est toujours supérieur à 75 %, même lorsque les rendements sont les plus faibles. Ceci ne signifie pas l'inexistence d'effet de périodes courtes de sécheresse que ce critère global ne peut révéler. Mais ceci indique aussi que ce facteur n'est pas le seul à intervenir dans la détermination du rendement.

- La situation topographique des parcelles :

Il n'apparaît pas, dans le tableau, de localisation particulière nette des différentes situations topographiques. On peut cependant constater que les rendements supérieurs à 2t/ha, à l'exception d'une seule parcelle, ne correspondent pas à des situations de haut de pente, présumées plus défavorables. On les retrouve donc dans les classes de rendements plus faibles. Mais inversement, on trouve de nombreuses parcelles situées en bas de pente, y compris avec des sols profonds, dans la classe des rendements les plus faibles. La position topographique ne détermine pas de façon stricte le rendement obtenu, même si elle joue manifestement un rôle, au travers de sa relation avec la profondeur du sol, en particulier.

- Le travail du sol :

Les données du tableau ne font pas apparaître une liaison directe entre les modalités de travail du sol et le rendement du sorgho. Il n'apparaît pas non plus sur cet échantillon une localisation préférentielle des techniques selon le sol.

- La date de semis :

On a déjà noté dans les sols superficiels l'effet de limitation du déficit hydrique des semis tardifs, dans les conditions climatiques de l'année. Ceci ne se traduit pas par des rendements élevés, la tardiveté elle-même pénalisant le rendement du sorgho. On note aussi

que les rendements les plus élevés ($> 2\text{t/ha}$) correspondent à des semis précoces (période 1 ou 2, éventuellement après re-semis). A une exception près, les semis les plus tardifs (4ème période) n'ont pas permis de dépasser un rendement de $1,5\text{ t/ha}$. Mais les rendements les plus faibles correspondent parfois à des semis précoces. Parmi les 25 parcelles qui ont dû être re-semées, après un échec d'un premier semis précoce à cause de la sécheresse, la tardiveté du semis n'a généralement pas permis un rendement élevé, même en sol profond.

- Le striga :

Aucune parcelle ayant atteint un rendement supérieur à 2t/ha ne présente du striga. Lorsqu'il est abondant (note 2), à l'exception d'une parcelle en sol profond, le rendement ne dépasse pas $0,9\text{ t/ha}$. Ces abondances élevées du striga ne se trouvent que dans les sols profonds. Les valeurs moyennes (note 1) sont très fréquente dans les sols les plus superficiels (7 cas sur 11), qui plafonnent à $1,5\text{ t/ha}$. Ces parcelles semblent pénalisées par la compétition exercée par le striga sur le sorgho, renforcée par leur faible réserve en eau.

- Les sarclages :

Les situations dans lesquelles les sarclages ont été les plus défailants (note 2 ou 3) ont toutes des rendements inférieurs à $1,5\text{ t/ha}$. Pour les rendements supérieurs à ce seuil, les sarclages ont toujours été réalisés dans des délais de temps faibles à partir du semis ou entre sarclages successifs. La maîtrise des adventices semble donc un facteur important pour l'obtention de rendements élevés, même s'il n'est pas le seul.

- Les peuplements (nombre de poquets à la récolte, réussite du semis et fertilité des panicules):

Pour les rendements les plus faibles ($< 0,9\text{ t/ha}$), dans 17 cas sur 25, le nombre de poquets à la récolte est inférieur à la valeur limite qui aurait permis d'atteindre le rendement maximal défini précédemment. Ces valeurs faibles du peuplement sont moins fréquentes (4/14) dans la classe de rendement immédiatement supérieure ($0,9$ à $1,5\text{ t/ha}$). Une seule parcelle présente cette valeur pour les rendements supérieurs à $1,5\text{ t/ha}$. Un trop faible peuplement semble donc être une cause fréquente de limitation des rendements. Il est souvent associé à des semis précoces ou à des re-semis, ainsi qu'à des faibles taux de réussite du semis. A l'opposé, on ne trouve que 4 parcelles où le nombre de poquets dépasse la limite de 35 000 déterminée précédemment. Il n'apparaît pas, pour ces parcelles, une diminution du taux de fertilité, avec les limites choisies pour ce rapport. De plus, les taux de fertilité faibles qui existent se trouvent souvent dans des parcelles qui ont aussi des peuplements faibles. On ne peut donc invoquer pour celles-ci l'effet d'une compétition entre pieds. Dans certains cas, les faibles taux de fertilité des panicules sont associés à des semis tardifs (troisième et quatrième périodes de semis). Il est vraisemblable que d'autres facteurs sont intervenus,

comme le parasitisme ou un statut nutritionnel insuffisant des parcelles. Les contrôles réalisés ne permettent pas de valider ces hypothèses.

- Synthèse des analyses :

Aucune cause, parmi celles qui ont été analysées, ne permet d'expliquer à elle-seule le niveau de rendement obtenu. Dans la majorité des parcelles, plusieurs éléments doivent être incriminés en même temps. On dressera ci-dessous la synthèse de ce qui précède :

* Pour les sols superficiels, en semis précoce, le déficit hydrique intense sur l'ensemble du cycle semble la cause première des faibles rendements obtenus. Lorsque le nombre de poquets est très élevé, l'effet du déficit hydrique peut être renforcé. Il en va de même lorsque le salissement est mal maîtrisé, ainsi qu'en présence de striga, ce qui est la règle en semis précoce. Mais dans la plupart des cas, le nombre de poquets lui-même limite le rendement potentiel. En semis tardif, le déficit hydrique est moins intense, le striga plus rare et la maîtrise du salissement plus fréquemment assurée. Le nombre de poquets est en général suffisant pour que R_{MAX} ait pu être atteint. Mais l'intervalle de temps entre semis et floraison est trop faible pour permettre un rendement élevé.

* Pour les sols de profondeur intermédiaire (de 40 à 95 cm), il n'y a pas eu de sécheresse intense sur le cycle. Des semis relativement précoces (antérieurs au 1/6, même en cas de re-semis) ont permis des rendements élevés, dans des parcelles correctement sarclées et sans striga, avec des peuplements corrects. Les semis plus tardifs sont pénalisés, comme dans les sols peu profonds, même lorsque les autres facteurs sont à un niveau correct.

* Pour les sols les plus profonds, il n'y a pas eu non plus de sécheresse intense sur le cycle. Mais contrairement aux deux cas précédents, il n'apparaît pas de liaison aussi nette entre la date de semis et le rendement. Les rendements les plus élevés sont bien obtenus avec des semis précoces (et une absence de critères défavorables). Mais des rendements supérieurs à 1,5 t/ha sont observés dans deux parcelles semées plus tardivement. On doit supposer que l'alimentation hydrique de fin de cycle y a été plus favorable que dans les sols superficiels semés à la même date, ce que confirme plus généralement la variation des valeurs de P1000, entre semis précoces et tardifs. L'écart est très important en moyenne en sols superficiels (24,6 g en semis précoce contre 18,6 g pour les semis tardifs), et il est deux fois moindre dans les sols profonds (26,1 g contre 22,9 g). Un avantage subsiste cependant pour les semis précoces en sol profond. Mais des rendements très faibles sont aussi obtenus en semis précoce. Pour les parcelles ayant fourni les rendements les plus faibles, en semis précoce ou tardif (le plus souvent avec re-semis) le nombre de poquets est insuffisant (13 cas sur 18) pour atteindre R_{MAX} . Cela correspond à un taux de réussite du semis faible. Dans les autres parcelles, soit la réalisation trop tardive des sarclages, soit l'abondance striga, viennent pénaliser le rendement.

Ces conclusions sont présentées de façon résumée au tableau V. On y a regroupé certaines classes du tableau précédent pour mieux équilibrer les effectifs.

TABLEAU V : Etat des parcelles et des peuplements, selon les niveaux de rendement

Profondeur du sol et déficit hydrique	< 40 cm, déficit marqué sauf en semis tardif	40-95 cm, pas de déficit hydrique	> 95 cm, pas de déficit hydrique
Rendement > 1,5 t/ha		Semis précoce (avant 1/6), pas de striga ni d'adventices, NP suffisant (réussite du semis)	Semis précoce ou tardif, pas de striga ni d'adventices, NP suffisant (réussite du semis)
Rendement compris entre 0,9 et 1,5 t/ha	Semis très précoce (avant 25/5), striga et adventices, NP insuffisant OU : Semis tardif (au-delà du 30/6) : re-semis	Semis précoce et striga OU : Semis tardif (après le 14/6)	Semis précoce. NP excessif et taux de fertilité faible OU : NP suffisant avec striga ou/et sarclages tardifs
Rendement inférieur à 0,9 t/ha	Semis très tardif (éventuellement, NP insuffisant) OU : Semis précoce avec striga	Semis tardif OU : Semis très précoce avec NP insuffisant et sarclages tardifs	Semis précoce ou tardif. NP insuffisant (taux de réussite du semis) et taux de fertilité des panicules faible, ou/et striga et sarclages tardifs.

- c) Test des conclusions des diagnostics sur les autres populations de parcelles :

La population de parcelles de sorgho cultivées en 1998 sur précédent mil est analysée comme la précédente. Les résultats figurent au tableau VI.

TABLEAU VI : Eléments de diagnostic pour les parcelles sur précédent mil en 1998

Rdt	Sol < 40 cm	Sol 40 - 95 cm	Sol > 95 cm
> 1,5 t		HL 3R 0 0 0 0 1 1	
0,9 / 1,5 t		HG 1 11 0 0 1 1 HS 2R 10 2 1 1 1 MG 3R 00 0 0 1 1	MG 1 0 0 2 0 1 1 MG 2 0 0 0 0 0 1
< 0,9 t	HL 1 13 0 0 1 0 MS 2R 20 1 1 1 0 HS 1 03 1 0 0 0	HG 1R 03 1 1 1 1 HG 1 02 2 1 0 0 MS 2 20 0 0 1 1 HL 4 10 1 0 1 1 MS 1 02 0 0 0 1 MG 2 00 0 0 0 1 BS 3 02 0 0 0 1	MG 1 1 1 0 7 1 1 MS 1 02 0 0 0 1 MS 3 01 1 0 1 1 BG 1 12 1 0 1 1

Situées préférentiellement en haut et à mi-pente, mais couvrant la gamme des profondeurs de sol et celle des dates de semis, ces parcelles ont fourni des rendements généralement faibles, comme on l'a déjà noté. Les déficits d'alimentation hydrique se répartissent comme précédemment : sauf dans un cas, seules les parcelles situées sur les sols les plus superficiels présentent un stress important sur l'ensemble du cycle.

Une seule parcelle correspond à un rendement supérieur à 2 t/ha. On notera que ses caractéristiques sont atypiques (semis tardif, faible NP) par rapport à celles mises en évidence pour les précédents sorgho.

A cette exception près, l'examen de ces données montre une forte convergence avec les conclusions précédentes. On note que les plus faibles rendements sont associés, encore plus fréquemment que dans la première population, à une mauvaise maîtrise du peuplement (NP insuffisant, parfois excessif), et à des sarclages trop tardifs. De plus, dans la population sur précédent sorgho, certaines parcelles ne présentaient qu'un critère présumé défavorable au rendement, par exemple une date de semis tardive. Ici, en général, plusieurs critères défavorables sont associés sur la même parcelle, avec des rendements médiocres ou très faibles.

L'examen de cette population ne remet donc pas en cause les conclusions présentées au tableau V.

La même analyse a été effectuée sur la population des parcelles de sorgho sur sorgho de 1997 (tableau VII).

TABLEAU VII : Eléments de diagnostic pour les parcelles sur précédent sorgho en 1997

Rdt	Sol < 40 cm	Sol 40 - 95 cm	Sol > 95 cm
> 1,5 t	HL 3 10 0 ? 1 0		BG 1 01 0? 1 1 BS 3 00 1? 1 1 HS 1 10 1? 1 1
0,9 / 1,5 t	ML 1 00 2 ? 1 0	ML 3 00 1? 1 0 BS 1 01 1? 0 0 MS 1 01 1? 1 0 HS 1 02 0? 1 0 ML 3 11 0? 1 1	BG 2R 11 1? 1 1 MS 2 01 2? 1 1 MG 2 01 0? 1 1 BL 1 10 1? 1 1 BG 2 00 0? 1 1 BL 3 00 0? 1 1 MS 3 00 0? 1 1
< 0,9 t		BG 2 10 0? 1 0	HG 1 01 1? 1 1 ML 2 10 1? 1 1 BG 1 02 0? 1 1

La taille de cette population n'est que de 21 parcelles. L'échantillon est plus déséquilibré que les précédents, avec une prédominance des sols profonds d'un côté, et des rendements moyens de l'autre. Ceci rend son analyse délicate. De plus, certains critères évalués en 1998 (quantification du striga, réussite du semis) ne l'ont pas été en 1997. Pour le premier, on ne dispose que d'une simple notation de présence. Pour le second, on ne dispose pas du nombre de poquets semés.

On peut cependant noter les observations suivantes :

- Contrairement à 1998, les sols de profondeur moyenne présentent de faibles valeurs du rapport ETR/ETM_C , comme les sols superficiels. Dans l'ensemble de ces parcelles, ce facteur semble en avoir dominé d'autres, comme la date de semis, dont l'effet n'apparaît pas sur les rendements. L'absence de semis très tardif (les conditions pluviométriques du début de campagne, moins contraignantes qu'en 1998, n'ont pas entraîné de retards ni de re-semis), comme le faible effectif, rendent cependant cette analyse peu sûre.

- Pour les sols les plus profonds, les conclusions établies à partir des données de 1998 ne semblent pas remises en cause. Ainsi, un semis tardif peut correspondre à un rendement élevé si les autres composantes ne sont pas limitantes. Inversement, un semis précoce, mais associé à du striga, à des sarclages tardifs ou à une valeur insuffisante de NP, conduit à un faible rendement.

IV- CONCLUSIONS ET DISCUSSIONS SUR LES PRATIQUES PAYSANNES D'INSTALLATION DU SORGHO

Des enquêtes ont été réalisées dans la région de Saria, pour tenter de déterminer les causes de la variabilité et des faibles niveaux de rendement obtenus pour le sorgho par les paysans. Une première enquête, en 1997, portait sur un faible effectif de parcelles. Elle était destinée à mettre au point le protocole de suivi qui a été utilisé, sur un échantillon plus large, en 1998.

Chacun des échantillons était structuré autour de deux facteurs principaux : la profondeur du sol et la technique d'implantation de la culture.

La **profondeur du sol** est le premier facteur. Celle-ci détermine largement la réserve en eau, et elle est liée (bien qu'il existe des exceptions) à la situation topographique. On s'accorde en effet à considérer qu'il existe un gradient de fertilité du sol, entre les situations de haut de pente souvent superficielles, et les bas de pente, où le sol est plus profond. En plus du facteur hydrique (réserve en eau élevée, et alimentation de celle-ci par une partie des eaux de ruissellement), il est vraisemblable que d'autres composantes de la fertilité changent selon la situation topographique : apports d'éléments nutritifs par les eaux de ruissellement, au profit des situations de bas de pente. Inversement, celles-ci peuvent souffrir d'excès d'eau temporaires au cours de la saison de croissance. Mais, vu les caractéristiques climatiques des deux années d'étude, on a privilégié ici l'étude des conséquences de la sécheresse. L'analyse des résultats n'a pas révélé un avantage systématique des sols profonds, situés généralement en bas de pente. Au contraire, c'est dans ceux-ci que l'on trouve la proportion la plus importante (plus de la moitié des parcelles) de rendements très faibles ($< 0,9$ t/ha). La question se pose donc de savoir pourquoi le potentiel que représentent ces parcelles est mal valorisé.

La **technique d'implantation** de la culture constitue le second facteur. Dans la région, le semis s'effectue manuellement, après un travail du sol qui recouvre trois modalités principales : le grattage avec une daba, outil manuel ; le scarifiage avec une houe tirée par un attelage bovin ou asin ; le labour en traction bovine. La profondeur de travail croît entre le travail manuel et le labour, mais c'est le scarifiage qui demande le moins de temps de travail. Aucune liaison n'est apparue, dans les enquêtes, entre la modalité de travail du sol et la date de semis. D'après les résultats obtenus, aucune de ces trois techniques ne procure un avantage décelable pour le rendement du sorgho.

La sole cultivée de la région est occupée principalement par deux céréales : le sorgho, réservé en principe aux sols plus profonds car relativement sensible à la sécheresse, et le mil que l'on peut cultiver dans les sols plus superficiels grâce à sa rusticité. Dans la réalité, il ne s'agit pas de soles complètement distinctes. On trouve dans l'enquête des parcelles de sorgho

sur précédent sorgho, mais aussi sur précédent mil. Un effet dépressif de ce dernier étant apparu dans une analyse préliminaire, on a traité à part les deux populations de parcelles pour éviter les confusions d'effet éventuelles.

Par une analyse des relations internes aux peuplements, entre le rendement et ses composantes et entre les composantes elles-mêmes, on a pu déterminer des valeurs seuils de la densité de peuplement (nombre de poquets par hectare) qui ont été utilisées pour situer les valeurs mesurées dans chaque parcelle. On a ainsi pu déterminer une date limite pour le semis, au-delà de laquelle le rendement maximal que l'on peut atteindre dans la région décroît. Il s'agit en effet d'une variété de sorgho sensible à la photopériode, dont la durée de croissance végétative est limitée par la date de semis et la date de floraison, cette dernière ayant lieu à date fixe. Les dates de semis ont aussi été analysées en rapport avec les risques de sécheresse à la levée auxquels elles conduisaient dans les conditions de l'étude. On a aussi analysé d'autres variables : importance du striga, de la date des sarclages, et intensité du stress hydrique indiqué par la valeur du rapport entre ETR et ETM sur l'ensemble du cycle.

Les analyses ont d'abord été effectuées sur la population la plus nombreuse : les parcelles sur précédent sorgho en 1998. Puis les conclusions obtenues ont été confrontées aux données des autres populations : parcelles sur précédent mil en 1998, et parcelles sur précédent sorgho en 1997. Malgré quelques nuances, qui peuvent provenir de l'imprécision de certains critères et d'aléas d'échantillonnage, les conclusions obtenues sur la première population n'ont pas été remises en cause.

On peut les résumer ainsi :

- Les parcelles en sols **superficiels** :

Elles ont des potentialités de production faibles, limitées principalement par leur réserve en eau. Sur l'ensemble des parcelles, les rendements ne dépassent 1,5 t/ha que dans un cas. Toutes les parcelles en semis précoce ont connu un déficit hydrique marqué. Dans les conditions de 1998, les semis tardifs ont connu un déficit sur le cycle plus faible que les semis précoces, le début de campagne ayant été marqué par une période de sécheresse après les premières pluies. Mais cet avantage a été annulé par un plus faible nombre de grains lié à la tardiveté du semis, et par la sécheresse de fin de cycle. Les semis précoces présentent donc les plus fortes potentialités.

Ces potentialités peuvent être diminuées par la présence de striga, très fréquent en semis précoce dans ces sols, et par des sarclages trop tardifs. Un effectif de poquets insuffisant, qu'il provienne de la densité de semis ou de pertes à la levée, limite le rendement dans la moitié des parcelles.

La gestion de ces parcelles impose donc de “risquer” des semis précoces, et d’être en mesure de les recommencer très vite en cas de mauvaise réussite. Il paraît logique d’y préférer les techniques d’implantation qui demandent le moins de temps de travail par hectare, et qui soient utilisables dès le début de la saison des pluies. Le scarifiage correspond à cette définition, alors que le labour paraît le moins bien adapté. Le grattage manuel demande une forte quantité de main d’œuvre mais peut autoriser un semis précoce d’une partie de la surface cultivée. Il accroît l’étalement des semis, ce qui peut entraîner une concurrence avec les sarclages des premiers semis.

On abordera au chapitre IV l’étude des jours disponibles pour ces différentes techniques. Mais on peut constater déjà que les pratiques des paysans ne correspondent pas toujours à ce schéma : sur 15 parcelles en sols superficiels, 5 seulement sont travaillées avec le scarifiage, et 5 le sont avec le labour. Comme on ne constate pas de relation nette entre cette technique et la maîtrise du salissement ou du striga, ni d’effet positif sur les rendements, on peut penser que ce choix n’est pas adapté. Quant au grattage, c’est l’absence d’équipement (notamment l’absence d’attelage) qui explique son importance.

- Les parcelles en sols de profondeur moyenne :

Elles n’ont été soumises systématiquement à une sécheresse intense sur le cycle qu’en 1997. Ce qui peut expliquer que leurs rendements n’ont pas dépassé 1,5 t/ha, alors qu’ils ont été au-delà de 2t/ha en 1998 dans certaines parcelles.

Les meilleurs résultats correspondent à des semis précoces, sans striga ni adventices, avec des densités de peuplement suffisantes. Ils se situent dans la même gamme que pour les sols les plus profonds. Les semis tardifs, même si les autres critères ne sont pas à des valeurs diagnostiquées comme pénalisantes, fournissent de mauvais résultats. Lorsque les sarclages sont trop tardifs, et le nombre de poquets insuffisant, l’avantage potentiel de la précocité du semis est perdu.

Ces parcelles semblent redevables des mêmes choix techniques que les précédentes.

- Les parcelles en sols profonds :

Elles présentent, dans la région de Saria, les potentialités les plus élevées. Elles semblent tolérer, du fait de leur forte réserve en eau, des semis plus tardifs que les parcelles en sols plus superficiel. A la condition, comme dans tous les autres cas, que la densité de poquets soit satisfaisante et que le salissement et le striga soient maîtrisés. On doit noter, en 1998, que nombre de parcelles qui ont connu l’échec de la levée de semis précoces, n’ont pu être re-semées que très tardivement. Ceci, associé à un nombre de poquets trop faible, a conduit aux rendements les plus faibles. Les résultats ne sont pas supérieurs à ceux de certaines parcelles en semis précoce, avec un faible nombre de poquets, mais qui n’ont pas été re-semées. Il

n'était donc pas toujours judicieux d'effectuer ce second semis, coûteux en travail manuel. Ceci a pu, par concurrence sur la main d'œuvre, causer le retard des sarclages dans les parcelles correctement implantées. Pour guider les décisions des paysans, il serait nécessaire d'identifier des valeurs-seuils des densités de peuplement au-delà desquelles, pour une date de semis précoce, il n'est pas nécessaire de re-semer¹.

Dans ces parcelles, l'exigence de maîtrise de la densité de peuplement et de la concurrence avec les adventices et le striga demeure, comme dans les autres. L'obligation de semis très précoces apparaît moindre.

La pratique du scarifiage, dans la mesure où les sarclages successifs sont réalisés sans retard, semble convenir à ces situations. Mais une technique d'implantation plus coûteuse en temps de travail à l'hectare comme le labour, qui présente par ailleurs certains avantages pour la maîtrise des adventices, peut aussi être envisagée. Ces avantages n'apparaissent pas de façon systématique dans les données. Mais il est possible qu'ici le critère pris pour qualifier les sarclages soit en défaut : les sarclages tardifs relevés dans les parcelles labourées, en particulier pour le premier sarclage, peuvent révéler une efficacité de cette technique qui autorisait à les entretenir après d'autres, implantées par grattage ou scarifiage. L'absence de contrôle direct de l'état de salissement des parcelles ne permet malheureusement pas de conclure.

La supériorité systématique des semis précoces et du labour, souvent avancée à partir des résultats expérimentaux des recherches, ne ressort pas des conclusions de ces enquêtes. Celles-ci sont plus nuancées. A partir de celles-ci, on pourrait imaginer une gestion différenciée de la sole céréalière, qui tienne compte plus systématiquement de la profondeur des sols pour le choix des dates de semis et des techniques d'implantation. Il est clair que de nombreuses contraintes, en-dehors du domaine technique, s'opposeraient à sa mise en œuvre généralisée. Il reste que sa formulation serait utile dans la mesure où elle fournirait des orientations à privilégier plutôt que d'autres, pour aller dans la direction souhaitée : contribuer à un accroissement global de la production céréalière de la région.

Mais il est au préalable nécessaire de préciser les bases de cette gestion : vérifier les principaux effets des techniques de travail du sol, d'une part, c'est l'objet du chapitre III ; préciser la praticabilité de ces techniques, ensuite, c'est l'objet du chapitre IV.

¹ Cette observation vaut pour tous les types de sols.

CHAPITRE III - EVALUATION DE L'EFFET DE LA DATE DE SEMIS ET DE LA PREPARATION DU SOL SUR LA CULTURE DU SORGHO : ETUDE EXPERIMENTALE A LA STATION DE SARIA.

I- INTRODUCTION

Cette étude menée en station expérimentale est destinée à améliorer les connaissances des relations entre le sol et la plante, pour mieux comprendre les effets des techniques de travail du sol. On évaluera, en particulier, les effets des techniques d'implantation de la culture du sorgho sur le développement du système racinaire. En effet, la croissance de la plante est conditionnée par un bon développement du système racinaire et des parties aériennes, qui détermineront la capacité de la culture à produire des grains. La littérature nous indique que le travail du sol améliore la production du sorgho (Herblot, 1984 ; Somé, 1989; Nicou et al., 1987 ; Chopart, 1980).

Mais le chapitre précédent, par l'analyse des pratiques paysannes dans la région de Saria, a montré que l'effet du travail du sol n'est pas notable sur l'accroissement de la production de grains, et que celui attendu de semis précoces devait être nuancé. Cette étude, en station expérimentale permet d'évaluer dans des conditions relativement contrôlées, l'action du facteur travail du sol et de la date de semis sur la production d'une variété proche des écotypes locaux.

L'effet du travail du sol dépend du type de culture et des conditions climatiques. Un travail du sol profond peut rendre la culture plus vulnérable au manque d'eau. Cela peut être observé dans les situations où le développement important de la biomasse végétative induit une transpiration importante de la culture et un épuisement plus rapide des réserves en eau.. Les techniques d'intervention doivent être évaluées dans les conditions pédoclimatiques de la région où l'on préconise leur usage.



NORD

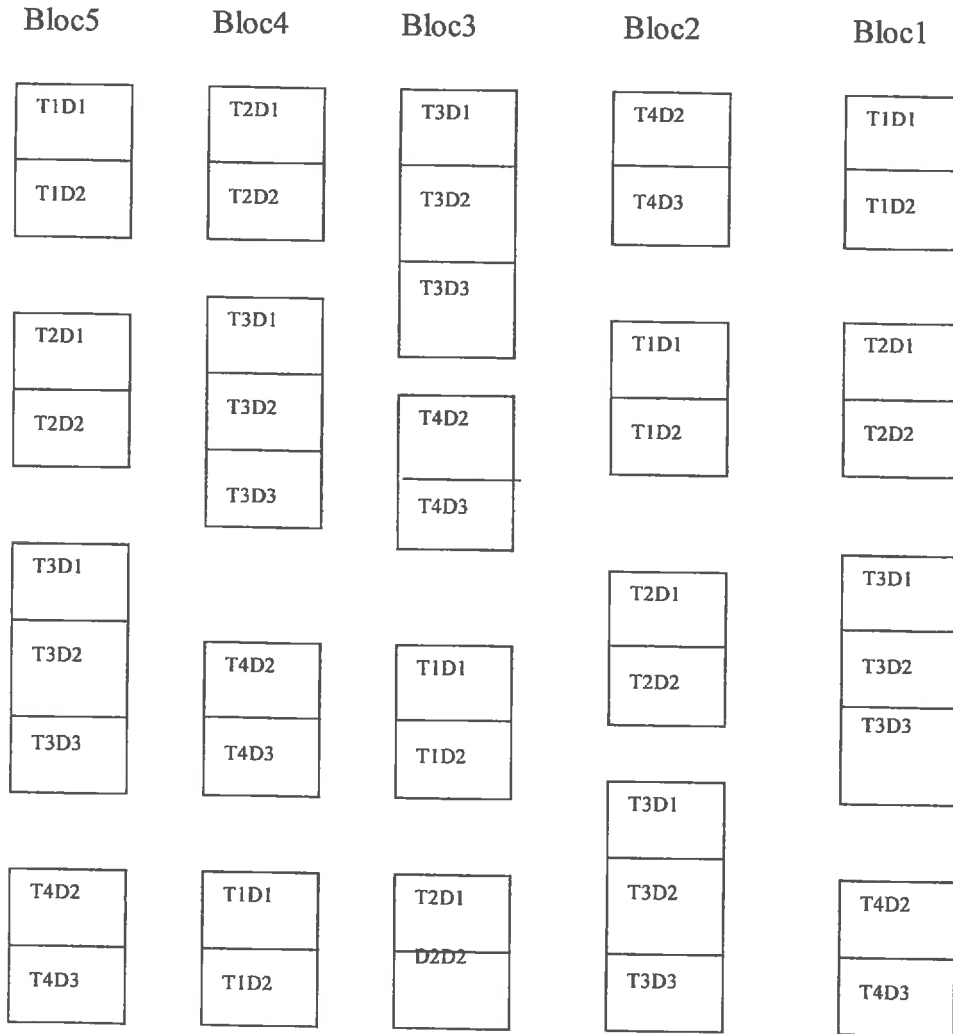


Figure 39 : Schéma du dispositif expérimental en Station.

II- MATERIEL ET METHODE

II-1 Dispositif expérimental et traitements

L'étude est faite à l'aide d'un dispositif en bloc de Fisher. L'essai comprend cinq répétitions et neuf traitements. Le traitement est défini comme étant la combinaison de la date de semis et de la technique de travail du sol utilisée pour mettre la culture en place. Ces traitements sont fondés sur les pratiques des paysans dans la région. Ils se composent :

- du grattage manuel (T1),
- du travail du sol en sec à la dent RS8 (T2),
- du scarifiage en traction animale en humide (T3),
- du labour en traction animale à 15 cm de profondeur (T4).

Le grattage est utilisé pour les semis précoces et les semis moyens. Le scarifiage est utilisé pour les semis précoces, moyens et tardifs. Le labour est mis en œuvre dans les cas de semis moyens et tardifs. Le travail du sol en sec à la dent RS8 permet d'agir sur un sol sec à 10 cm de profondeur (Barro et al., 1996). Il permet de faire un semis précoce ou de réaliser un travail du sol précoce. Le schéma du dispositif expérimental est à la Figure 39.

Les dates de semis ne sont pas les mêmes au cours de des années. Elles dépendent de la pluviométrie de l'année. Le **tableau VIII** ci-dessous présente les dates de semis que l'on a réussi à utiliser.

TABLEAU VIII : Dates de semis de sorgho sur l'essai en station.

Dates de semis	Année 1997	Année 1998
Première date de semis (D1)	9 juin 1997	14 mai 1998
Seconde date de semis (D2)	17 juin 1997	22 juin 1998
Troisième date de semis (D3)	4 juillet 1997	9 juillet 1998

La plante cible est du sorgho Nazongala de cycle semis-maturité 115-120 jours. Elle est semée à 80 cm entre lignes et à 40 cm entre poquets. C'est une variété photosensible.

L'essai est mis en place sur une jachère de trois ans en 1997. Le sol a une profondeur de 80 cm. En 1997 une fertilisation de 100 kg/ha de N.P.K. et de 50 kg/ha d'urée, en 1998 il n'y a eu que de la fertilisation organique. (Un apport de compost aérobie à la dose de 5 t/ha est réalisé au moment du travail du sol).

II-2 Méthode d'évaluation du système racinaire du sorgho.

Le système racinaire du sorgho a été étudié suivant la méthode dite de la « grille » issue des travaux de Bohm (1976) et de Tardieu et Manichon, (1986). Celle-ci permet de cartographier des densités d'impacts racinaires sur un profil de sol. Les mailles de la grille utilisée ont 5 cm de côté . (photo 7 annexe III).

A partir de ces densités d'impacts, il est possible d'accéder à la densité de longueur racinaire, suivant deux méthodes :

- a) un modèle empirique reliant directement le nombre d'impacts à une longueur racinaire tirée de prélèvement de sol situé immédiatement derrière le plan des comptages d'impacts,
- b) un modèle prenant en compte la direction principale des racines à partir de comptages d'impacts sur trois faces perpendiculaires d'un cube de sol et un facteur expérimental. Ce modèle a été testé et validé pour le maïs (Chopart et Siband, 1999).

Pour cette étude, seule la première méthode fondée sur un modèle corrélatif a été retenue, mettant en relation directe le nombre d'impacts sur une surface carrée du profil (10 cm de côté) et la longueur des racines situées dans un cube dont l'arête est de 10 cm. La relation a été établie à la station de Saria en 1997 avec la variété Nazongala. Toutefois les mesures, plus complètes effectuées à cette occasion permettront avec des éléments complémentaires, en particulier de validation du modèle, de tester la seconde méthode pour le sorgho.

En 1998, des études avec la méthode de la grille ont permis de comparer les différents traitements, d'abord en termes d'impacts puis avec le modèle de passage établi en 1997, en termes de densités de longueur racinaire. Les observations sont faites à la floraison (70 jours après semis).

II- 3 Méthode d'évaluation de la biomasse de la culture.

Un prélèvement de plante de sorgho est effectué à différentes phases du cycle. Les plantes sont sectionnées au collet. La taille de la plante est mesurée au champ. Les plantes sont mises dans des sachets et amenées au laboratoire pour la mesure du poids sec après séchage à l'étuve. Les mesures sont faites à cinq périodes qui correspondent à des phases de croissances différentes. Les observations sont réalisées entre les stades de 6 et 19 feuilles.

II- 4 Méthode d'étude du bilan hydrique.

Le bilan hydrique sur les traitements mis en place est fait par le logiciel SARRA. Le calcul tient compte de la photosensibilité par le fait que c'est la phase végétative qui fluctue selon que le semis est précoce ou tardif.

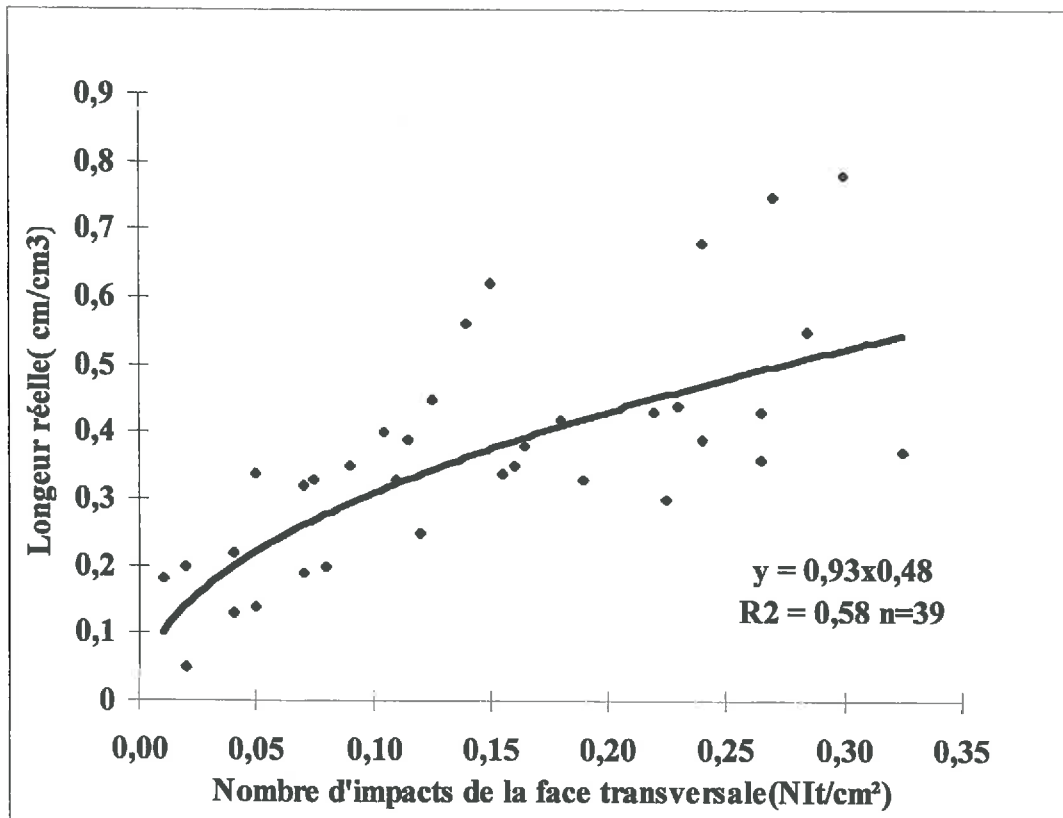


Figure 40 : Relation entre le nombre d'impacts sur la face verticale (transversale) et la longueur des racines en (cm/cm³).

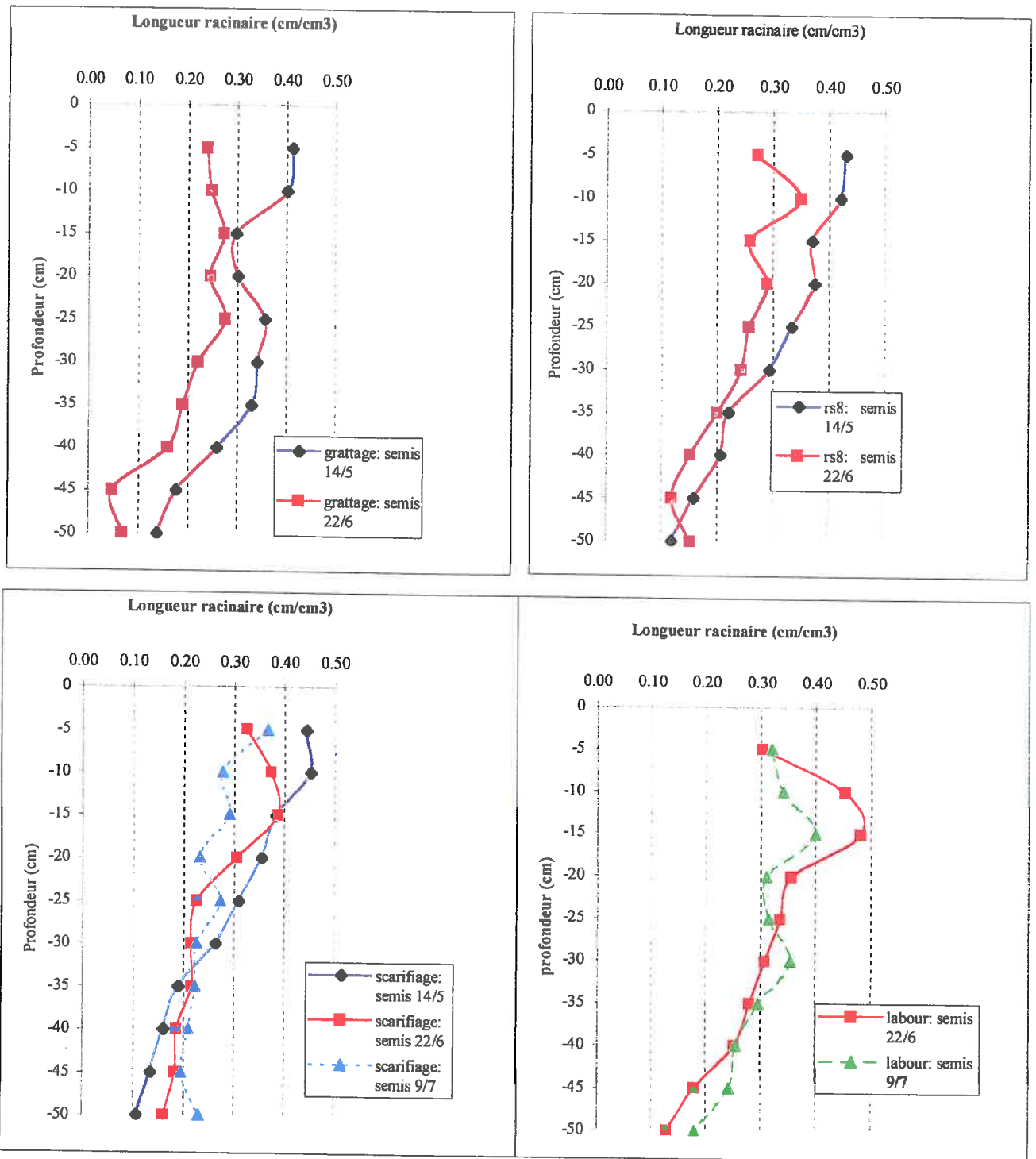


Figure 41 : Longueurs racinaires du sorgho conduit suivant différentes techniques de travail du sol en fonction de la date de semis sur sorgho à 70 JSA.

III- RESULTATS-DISCUSSIONS.

III-1 Détermination de la liaison entre le nombre d'impacts sur la face transversale et la longueur réelle des racines {Saria en 1997}.

Le graphique de la Figure 40 montre le que la liaison entre le nombre d'impact racinaire et la longueur de racines est de type puissance. Avec près de 40 points on a un coefficient de corrélation de 0,77. Le maximum d'impacts observé se situe aux environs de 8 par maille de 25 cm². La liaison est très hautement significative. Il sera donc possible de déterminer à partir de cette fonction et d'un comptage racinaire sur le profil transversal vertical, la quantité de racines des traitements mises en place en 1998.

III-2 La longueur des racines

TABLEAU IX : Longueur racinaire en cm/cm³ du sorgho conduit suivant différentes techniques de travail du sol en fonction de la date de semis 70 JAS.

Horizon	Date de semis	Grattage	Travail en sec	Scarifiage	Labour
(0-20 cm)	14-mai	0,35	0,40	0,41	-
	22-juin	0,25	0,29	0,35	0,40
	09-juil	-	-	0,29	0,34
(20-50 cm)	14-mai	0,27	0,22	0,19	-
	22-juin	0,16	0,19	0,20	0,25
	09-juil	-	-	0,23	0,28

Dans le **tableau IX** la comparaison des longueurs racinaire moyenne sur l'horizon 0-20 cm montre que la longueur racinaire diminue quand la date de semis est tardive. Sur le grattage et le travail du sol en sec, entre le semis le semis du 14 mai et celui du 22 juin la longueur racinaire diminue de 30%. Sur scarifiage la baisse n'est que de 15% entre des parcelles semées à ces deux dates. Il en est de même pour le labour entre des parcelles semées le 22 juin et le 9 juillet. On note ici une supériorité du semis précoce pour le développement racinaire. Les techniques d'interventions assez profondes dans le sol sont plus favorables au développement racinaire que des techniques comme le grattage et le travail du sol en sec.

Dans l'horizon sous-jacent (20-50 cm) la longueur racinaire est plus faible q'en surface. Les semis précoces et la technique de labour conduisent également aux plus fortes densités racinaires.

L'observation du profil racinaire sur sous les cultures (Figure 41) montre l'existence sur les parcelles semées sur le traitement grattage (et dans une moindre mesure après le travail

du sol en sec puis le scarifiage) d'une zone avec une réduction assez forte de la longueur racinaire. Cette zone se trouve entre 10 et 15 cm. Ceci, suggère que les racines ont été ralenties voir même arrêtées dans leur croissance. La période de sécheresse qui a sévi en début de cycle peut en être la cause principale. Les parcelles labourées et scarifiées ne sont pas concernées par cette réduction. Ces résultats confirment ceux de Chopart (1980) au Sénégal. Cet auteur a observé que le labour améliore le développement racinaire sur tout le profil par rapport au travail superficiel.

Le semis précoce est favorable a un bon développement racinaire dans l'horizon 0-20 cm. Cet avantage est accru par la réalisation d'un travail du sol par scarifiage ou par labour.

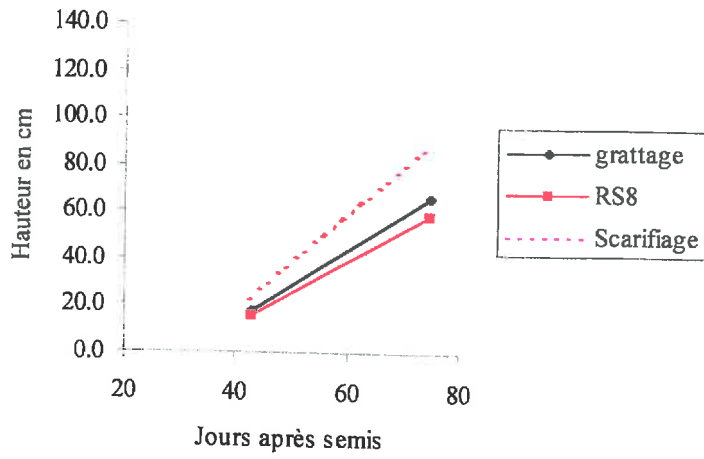


Figure 42 : Evolution de la hauteur des plantes entre le premier et le second mois pour le semis du 14 Mai.

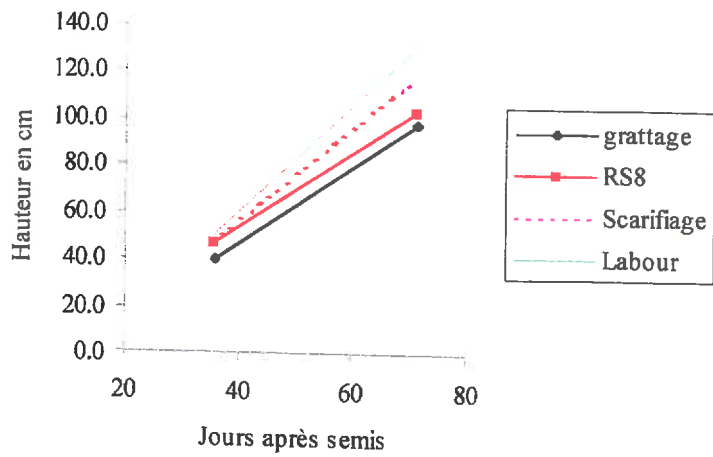


Figure 43 : Evolution de la hauteur des plantes entre le premier et le second mois pour un semis du 22 juin.

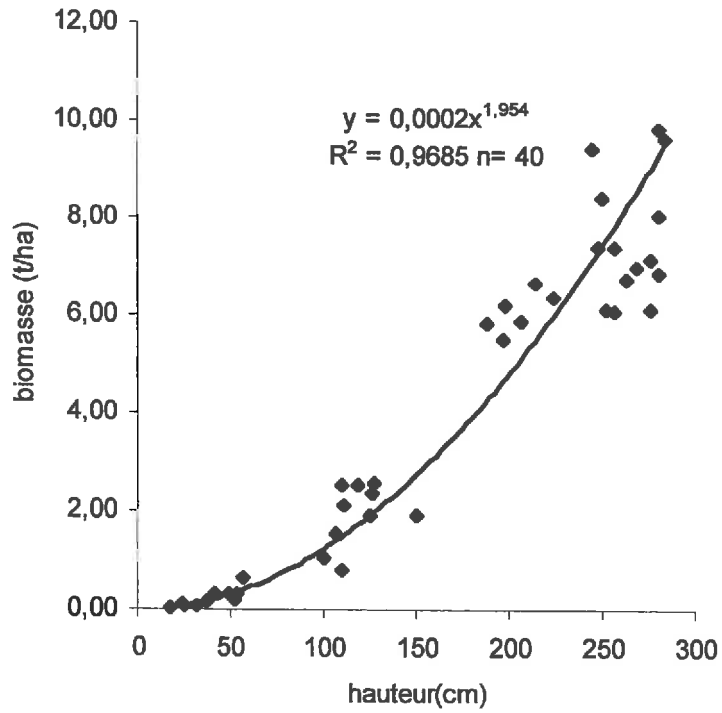


Figure 44 : Liaison entre la hauteur et la biomasse sèche du sorgho Nazongala

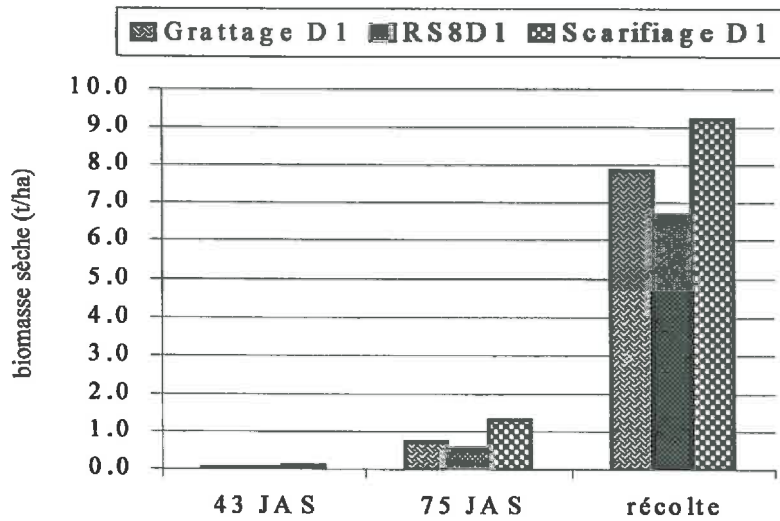


Figure 45 : Evolution de la biomasse des parties végétatives (tiges, feuilles) et de en fonction du travail du sol sur semis précoces. (14 Mai)

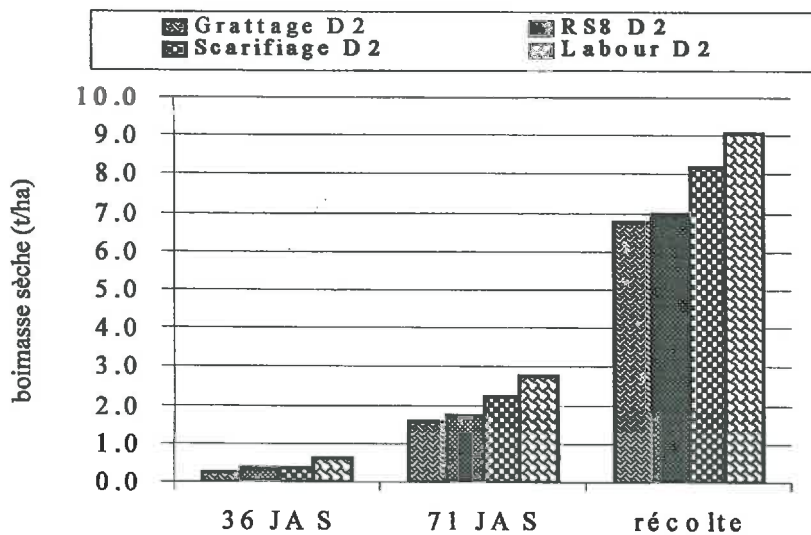


Figure 46 : Evolution de la biomasse des parties végétatives en fonction du travail du sol sur semis moyen.(22 juin)

III-3 La production de biomasse aérienne sur les parcelles

Une relation entre la production de biomasse et la hauteur de la plante a été déterminée au cours de l'année 1997. Le sorgho a une courbe d'élaboration de la biomasse en «S». Les mesures faites en 1997 ont permis d'établir la courbe de la Figure 44. Cette courbe n'est pas la courbe totale d'élaboration de la biomasse car les mesures se sont arrêtées à la fin de la montaison, après que les plantes aient atteint leur hauteur maximale : la phase finale de plateau n'existe pas sur la courbe. Dans ces conditions, comme les mesures ont commencé à 36 jours après semis, on peut estimer la tendance par une courbe puissance. Cette courbe a pour équation :

Biomasse=(0,0002)x hauteur^(1,954) avec un R²=0,97 pour un n égale à 40.

La forte liaison calculée permet d'évaluer la production de biomasse en cours de culture à partir des mesures de hauteur, non destructives. L'estimation de la biomasse est faite en multipliant les hauteurs moyennes par le nombre de plantes par ha. La base est de 62500 plantes/ha se qui correspond à une densité de semis de 80 x 40 cm avec un démariage à deux plantes par poquet. A partir de ces hauteurs (figure 5 et 6) la liaison entre la hauteur et la production de paille Figure 44 permet d'estimer la biomasse sèche. Les résultats de 1998 sont rassemblés dans les Figure 46 (pour les semis précoces du 14 mai) et 9 (pour les semis plus tardifs du 22 juin). Deux périodes de mesure ont eu lieu : au moment du premier binage (une quarantaine de jours après semis) et à la fin-montaison. La dernière observation est faite à la récolte (il s'agit alors du poids de paille). On note :

- Que les productions de biomasse aérienne de la première date de semis sont plus faibles que celles du second semis, quelque soit le type de travail du sol, pour les premières dates de mesure. Ce phénomène est lié au stress hydrique en début de saison des pluies. On montre plus loin que l'analyse statistique montre que l'on n'a pas différences significatives. Le scarifiage et le labour ont tendance à fournir des biomasses légèrement supérieures a celles des autres traitements, quelle que soit la date de semis. Ceci peut être lié à une meilleure utilisation de l'eau, favorisée par l'infiltration. A la fin du cycle on n'a pas de différence significative entre les traitements

Les tendances observées montrent que les plantes semées sur « grattage » et « scarifiage » produisent plus de biomasse, que celles venant après le travail en sec à la dent RS8 dans les conditions de semis précoce. A la récolte les biomasses végétatives obtenues sur les traitements grattage et scarifiage sont équivalentes à celles observés sur les traitements labourés semés le 22 juin. (Voir photo 8, 9, 10 en annexe III).

. Ces observations de biomasse aérienne convergent avec les observations faites sur les systèmes racinaires. Les parcelles qui ont eu peu de stress hydrique ont produit beaucoup de pailles, et la croissance des plantes a été plus rapide sur les parcelles labourées. Le sorgho possède bien une capacité de croissance importante quand les conditions hydriques sont bonnes. Ceci favorise la production de grains, puisque la biomasse élaborée dans la phase végétative conditionne celle-ci.

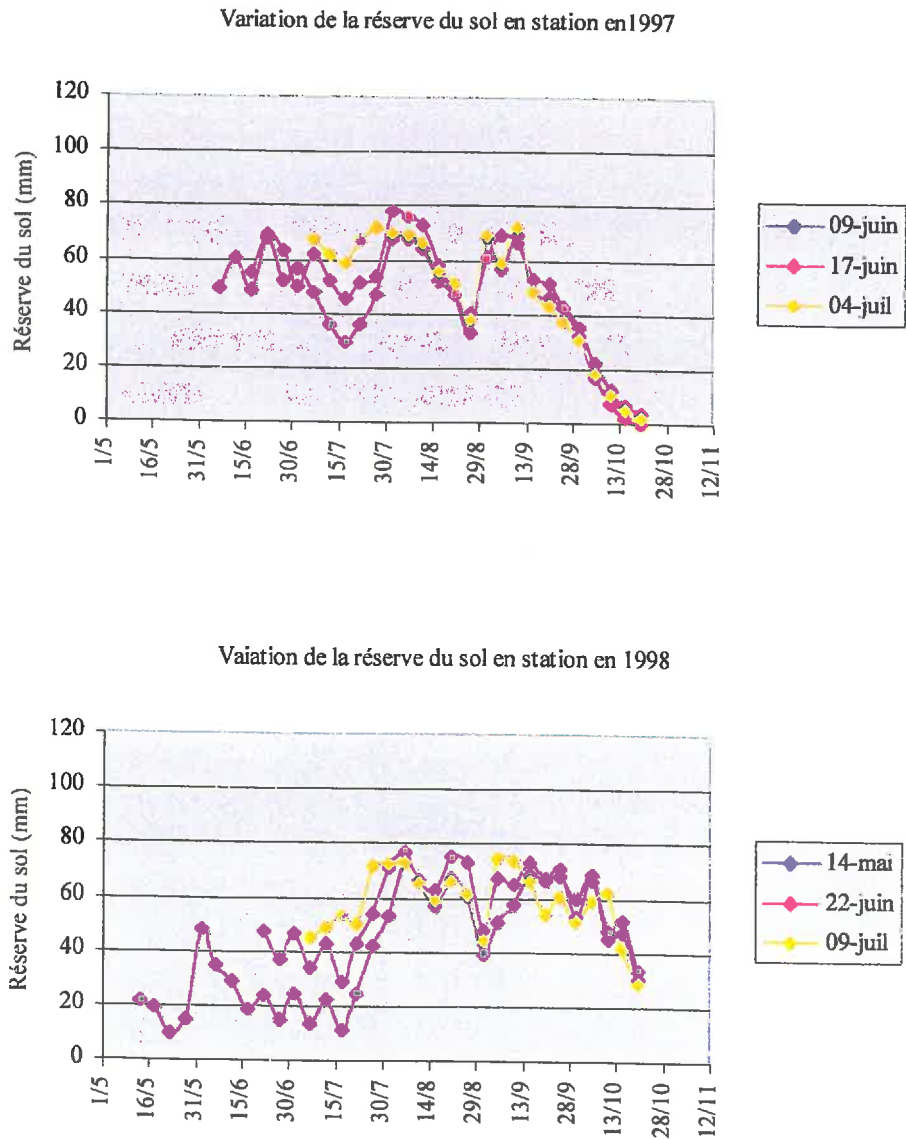


Figure 47 : Variation de la réserve hydrique du sol en 1997 et 1998 pour les dates de semis utilisées en Station (entre la surface et 80 cm de profondeur).

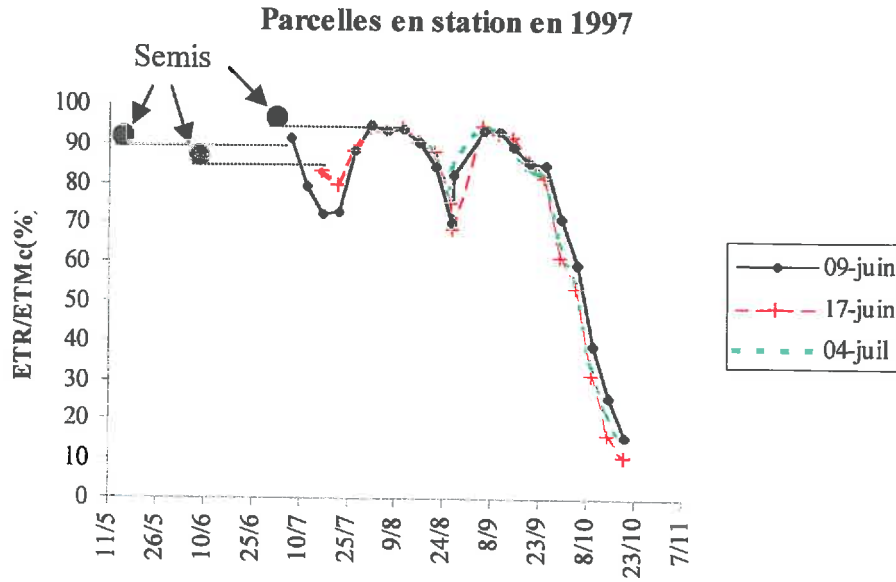


Figure 48 : Courbes de satisfaction des besoins en eau en 1997

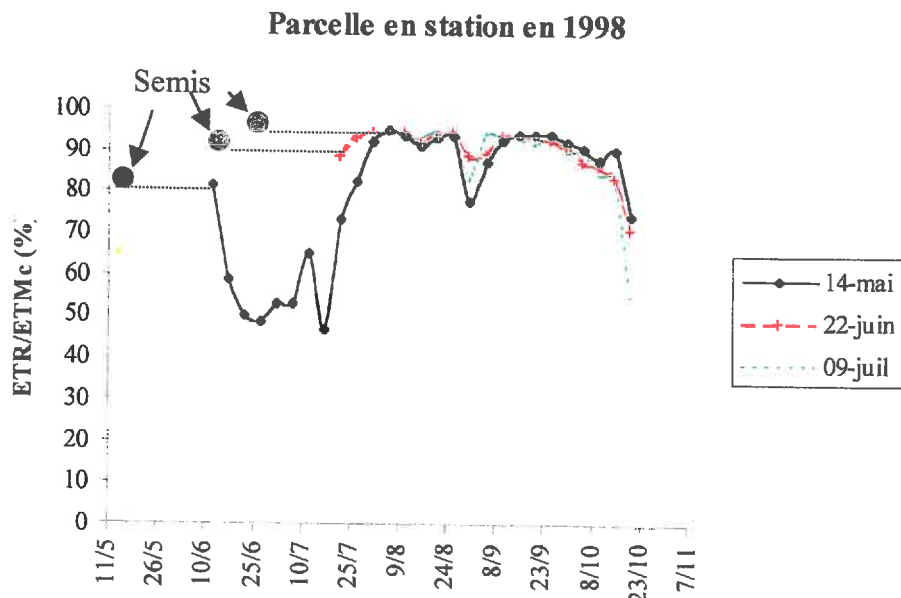


Figure 49 : Courbes de satisfaction des besoins en eau en 1998

III-4 Satisfaction des besoins en eau des parcelles

En Station comme dans les parcelles paysannes, des périodes de manque d'eau sont observées au début de la saison pluvieuse. En 1998 la réserve hydrique est plus faible début de saison qu'en 1997 (Figure 47). Il existe une forte différence entre les dates de semis, la première étant la moins favorisée.

Les résultats des calculs du rapport ETR/ETM sont présentés aux Figure 48 et Figure 49.

En 1997 il n'y a pas eu de stress hydrique majeur entre le semis et la fin de la floraison. C'est en fin de saison dans la phase de maturation qu'un stress important est apparu.

En 1998 les cultures ont subi un stress hydrique quelle que soit la date de semis utilisée. C'est la date de semis la plus précoce qui a souffert le plus et le plus longtemps (2 mois) de ce déficit hydrique. Le second semis a eu un stress au démarrage du cycle mais par la suite les besoins en eau ont été satisfaits. Cela explique le fait que l'on ait des différences entre les biomasses produites vers 40 et 75 JAS. Pour l'année 1998, l'intervalle d'environ 35 jours entre les deux premières dates de semis a eu pour conséquence des courbes d'alimentation hydrique très différentes en phase végétative. L'alimentation hydrique a donc joué un rôle majeur dans la production des cultures et dans la fluctuation de la production d'une date de semis à l'autre. La phase de maturation en 1997 a été plus déficitaire que celle de 1998 ce qui a entraîné un mauvais remplissage et un faible poids grains en 1997.

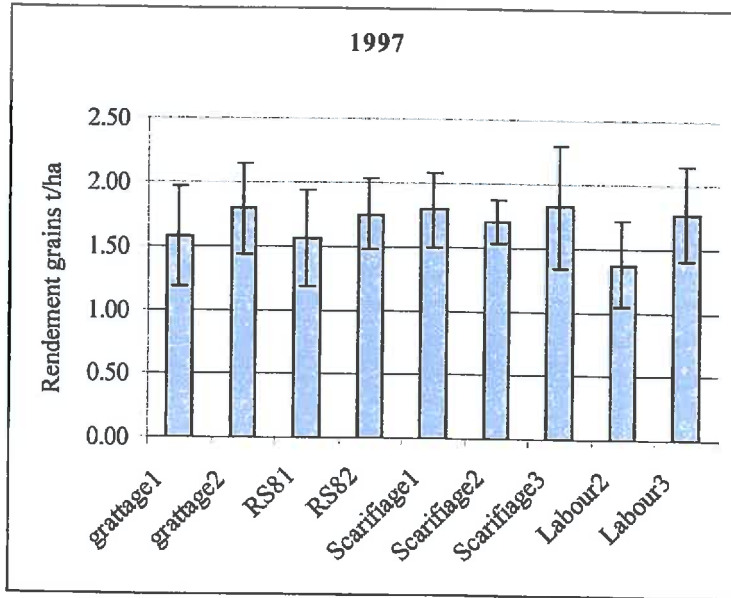


Figure 50 : Rendement grains du sorgho Nazongala en Station en 1997.

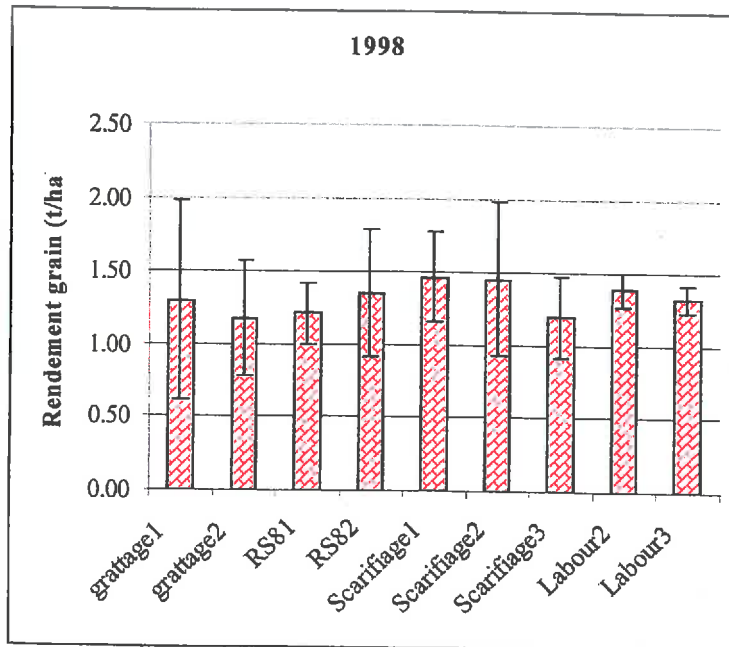


Figure 51 : Rendement grains du sorgho Nazongala en Station en 1998.

III-5 La production de grain

Comme le rendement paille en 1998 (les pailles de 1997 ont été subtilisées par des paysans en parcelle), il n'y a pas de différence significative entre les productions annuelles de grains ni en 1997 ni en 1998. Les tableaux X, XI et XII, ci-dessous montre les résultats de l'analyse de variance.

TABLEAU X : Analyse de Variance du rendement grain en 1997

	S.C.E.	DDL	CARRES	MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	5.76	44		0.13				
VAR.FACTEUR 1	0.83	8		0.10	0.86	0.5597		
VAR.BLOCS	1.07	4		0.27	2.23	0.0873		
VAR.RESIDUELLE1	3.85	32		0.12			0.35	20.8%

TABLEAU XI : Analyse de variance du rendement grain en 1998

	S.C.E.	DDL	CARRES	MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	5.77	44		0.13				
VAR.FACTEUR 1	0.48	8		0.06	0.49	0.8534		
VAR.BLOCS	1.37	4		0.34	2.79	0.0425		
VAR.RESIDUELLE 1	3.92	32		0.12			0.35	26.7%

TABLEAU XII : Analyse de variance du rendement paille en 1998.

	S.C.E.	DDL	CARRES	MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	190.34	44		4.33				
VAR.FACTEUR 1	53.99	8		6.75	1.75	0.1244		
VAR.BLOCS	12.94	4		3.24	0.84	0.5126		
VAR.RESIDUELLE 1	123.41	32		3.86			1.96	26.3%

De 1997 à 1998 le rendement grain baisse (Figure 50 et Figure 51).

a) Année 1997

La production de grain de l'année 1997 située entre 1,5 et 2 t/ha pour un potentiel de 2,8 t/ha est relativement faible. Il n'y a pas de différence statistique entre les traitements. Sur le plan des opérations de travail du sol, le fait que l'on intervienne sur une parcelle en jachère

n'est pas favorable à l'expression des effets. La jachère était fortement colonisée par les adventices. Cette colonisation est favorable à une baisse de la cohésion du sol par l'action des racines. Dans ces conditions l'effet du travail du sol n'est pas tranché.

Pour les dates de semis pour l'année 1997 on ne note aucune différence car les écarts sont faibles, et les semis précoces de mai ont échoué par suite d'action des oiseaux.

b) Année 1998

Les techniques de travail du sol profond malgré leur effet positif sur le développement du système racinaire n'ont pas conduit à une augmentation du rendement grains.

De même il n'y a pas d'effets bénéfiques du semis précoce, sans doute du à la sécheresse de début de cycle.

c) Comparaison des deux années

Entre ces deux années, la production de grain de sorgho baisse légèrement pour toutes les techniques sauf le labour semé le 17 juin en 1997 et le 22 juin en 1998. En 1997 la troisième date de semis est le 4 juillet tandis qu'en 1998 elle est située le 9 juillet. On est donc dans des conditions de rayonnement et de photopériode semblables. La baisse des rendements en seconde année pourrait donc être due à plusieurs causes :

1°- Le sorgho peut avoir un effet négatif sur lui-même comme précédent à cause du phénomène d'allelopathie. Les travaux de Burgos-Leon et al., (1980) ont montré l'existence du phénomène au Sénégal. Cela conduit à une baisse de la production du sorgho quand il se succède à lui-même.

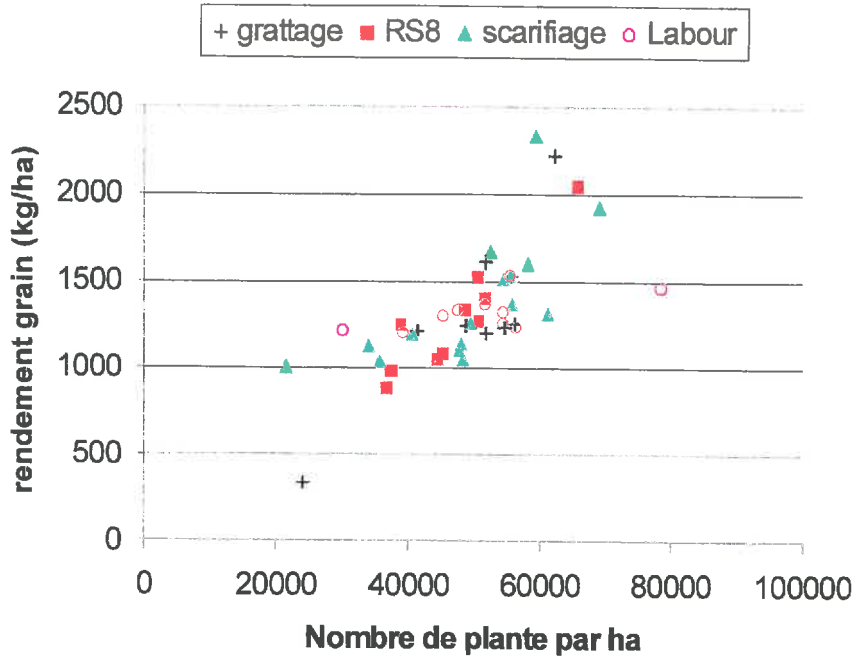


Figure 52 : Production de grains du sorgho en fonction du travail du sol et de la densité en 1998.

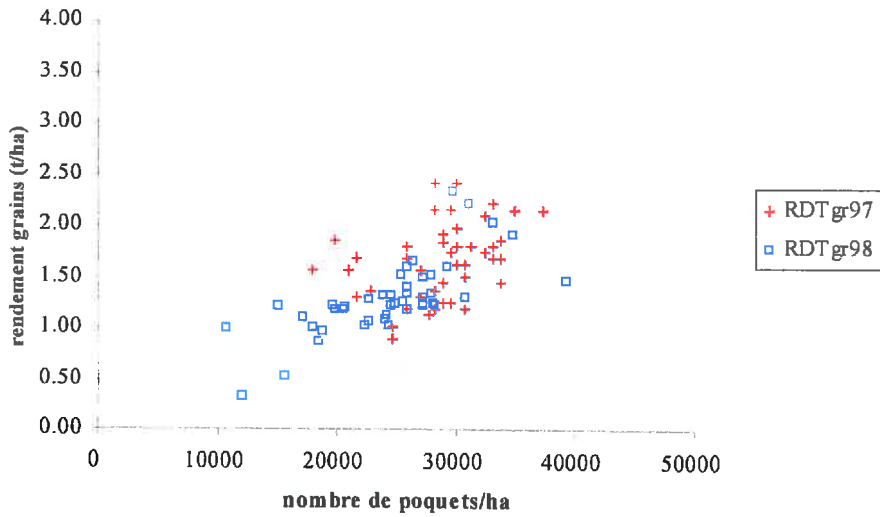


Figure 53 : Production en parcelles de la Station de recherche.

La variation de la production en fonction du travail du sol et de la densité du peuplement est présentée à la Figure 52.

Dans le cas du grattage la production de grain dépend de la densité des plantes. Pour le scarifiage le lien est moins important. La production des parcelles de labour est relativement stable. Elle varie de 1,20 à 1,50 t/ha. Le travail du sol en sec à la dent RS8 à une variation plus grande dans la production de grain. Elle passe de 0,90 à 2,00 t/ha. La Figure 53 montre l'évolution de la production de grain en station en 1997 et en 1998 en fonction de la densité de peuplement.

En 1991, Chanterau et Nicou montrent que dans les cas où il existe des pluies précoces, le phénomène n'est plus notable. Il n'est plus important sur les sols dont les taux d'argiles sont supérieurs ou égaux à 25%. La baisse des rendements à la station de Saria ne provient pas d'effets allélopathiques, car à Saria, il y a 2 à 3 pluies avant le 15 mai. La plupart de ces pluies arrivent en mars ou avril. Les semis les plus précoces ont lieu vers le 15 mai.

2°- Le stress hydrique pourrait être une cause de la baisse du rendement. L'étude du bilan hydrique en 1997 et 1998, montre que le déficit hydrique de 1997 a été faible et intéressé les périodes de maturation post floraison. L'année 1998 est caractérisée par un départ difficile des premiers semis. Cette difficulté d'alimentation hydrique c'est traduit par une diminution du nombre de plantes par hectare. La réduction du nombre de plante a entraîné une baisse du rendement en 1998.

3°- Il n'y a pas eu d'apport de fumure minérale en 1998. En 1997 la parcelle avant l'exploitation était une jachère de trois ans. On y a apporté 100 kg de NPK (14-23-14) et 50 kg d'urée (46% d'azote). En 1998 le protocole a été modifié au regard de l'observation faite en milieu paysan on a supprimé toute fertilisation chimique en le remplaçant en partie par un apport de 5 t/ha de compost. La production de grains en 1998 est plus faible qu'en 1997 avec en particulier un nombre faible de grains par panicule plus faible. Une des causes pourrait être le niveau de fertilité du sol en éléments minéraux. Les résultats que nous avons ne permettent pas d'apporter plus d'élément de d'explication.

Etant donné qu'en 1997 il n'y a pas eu d'écart important entre les dates de semis les productions de grains sont presque les mêmes. Il ne se dégage pas de tendance pour les effets du travail du sol ou de la date de semis

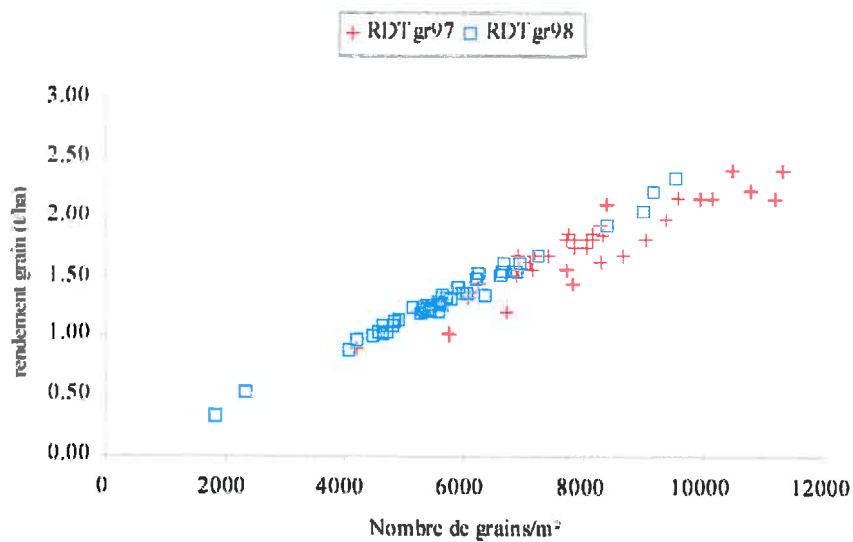


Figure 54 : Production de grain en fonction du nombre de grains/m² en 1997 et 1998

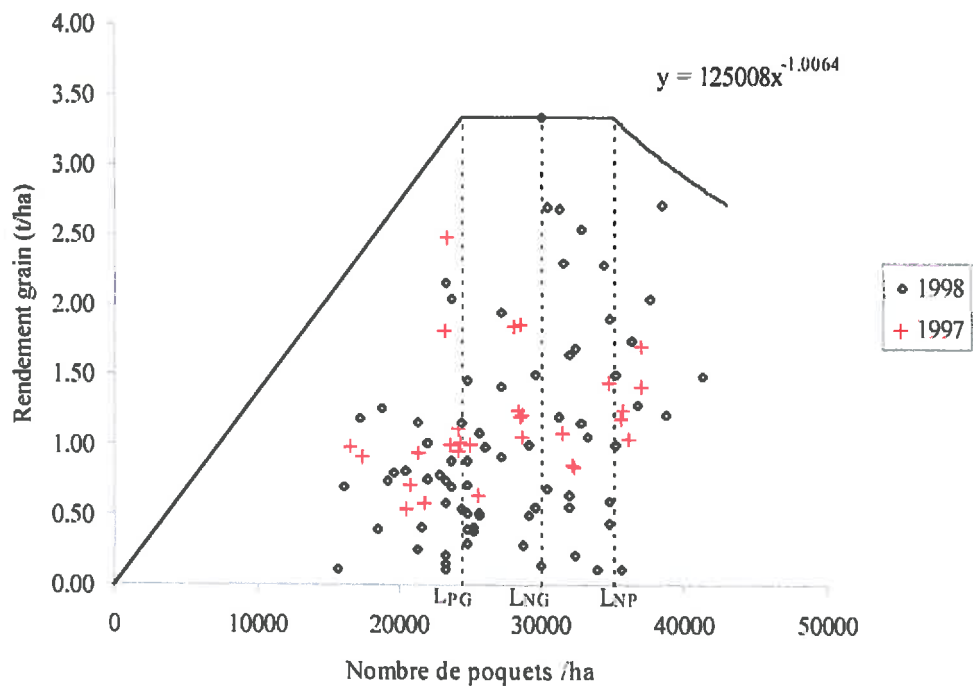


Figure 55 : Rappel sur la production en parcelles paysannes

Les productions sont du même niveau qu'en parcelles paysannes. Comme l'a montré Chopart (1990) sur le maïs en Côte d'Ivoire, la technique du labour crée un développement végétatif important qui n'est pas toujours suivi d'une production proportionnelle de grain. En 1998 les écarts types de la population de rendement grain observés sur les traitements labourés sont inférieurs à ceux des autres traitements. Cela signifie que les variations entre les valeurs des productions en parcelle et la moyenne sont petites. Dans nos conditions de production nous n'avons pas de différence significative entre les traitements; la technique de travail à la dent RS8 donne une certaine assurance au paysan.

III-6 Etude comparative des résultats du milieu paysan et de la station.

III-6.1 Les dates de semis.

En milieu paysan les dates de semis sont presque les mêmes entre les deux années. Elles couvrent la période du 10 mai au 17 juin en 1997. Le semis de 1998 a été perturbé par une pluviométrie irrégulière. Ils se passent du 14 mai au 9 juillet.

En Station, les dates de semis sont plus tardives en 1997 et vont du 9 juin au 4 juillet. Ceci est dû à plusieurs facteurs. Le premier semis fait le 28 mai a été détruit par les oiseaux. En 1998, le premier semis est effectué en même temps que les premiers semis des paysans, le 14 mai. Le second semis a eu lieu le 22 juin et le dernier, le 9 juillet. Pour cette année les dates de semis en station sont donc représentatives des semis précoces, moyens et tardifs des paysans. La période de semis couvre celle des paysans qui ont semé du 14 mai au 9 juillet.

III-6.2 La fertilisation.

En station, la fertilisation en 1997 la parcelle issue d'une jachère de trois ans a reçu un apport de fertilisation minérale. Comme les paysans ne l'utilisent pas en seconde année, seule, la matière organique est apportée. Nous pensons que la fertilisation est faite à un niveau faible en 1998. Celle de 1997 est meilleure à cause de la jachère. L'apport de l'engrais minéral peut favoriser l'apparition de stress hydrique. Il faut noter qu'une bonne fertilisation n'est profitable à la plante que quand elle a de l'eau pour son alimentation.

III-6.3 Le travail du sol et le sol.

Le sol de la station a une profondeur de 80 cm. Les parcelles à faible profondeur de sol n'y sont pas présents contrairement au milieu paysan. Le dispositif est situé en mi pente à l'abri des inondations.

Les opérations de préparation du sol sont faites en traction animale bovine et manuelle en station comme en milieu paysan. En station, le scarifiage est fait à la même profondeur que celui des paysans (7 cm). Le labour en revanche est profond de 15 cm alors que celui des paysans est limité à 11 cm. Cet écart est faible mais peut avoir des conséquences importantes sur les cultures. L'état de surface plus motteux en station crée de conditions d'infiltration à

priori plus favorables qu'en milieu paysan. Les bœufs de la Station ont une capacité de traction supérieure à ceux du milieu paysan. Les objectifs de production et les contraintes de réalisation du travail du sol en station et en milieu paysan ne sont pas les mêmes. En particulier les paysans ont en moyenne 4 ha à installer rapidement. En station, les parcelles où le chercheur teste le labour pour son expérimentation dépassent rarement 0,2 ha. Le paysan privilégie la rapidité dans l'exécution, réalise l'opération au détriment de la qualité.

III-6.4 La densité de semis

En station la densité de semis est de 31750 poquets /ha. Cela donne 62500 plantes /ha avec un démariage à deux plans par poquet. A la récolte on a la même densité qu'en milieu paysan. La densité de semis en milieu paysan est plus forte que celui de la Station. Une partie des plantes disparaît avant la récolte à cause de la faible réserve hydrique de certaines parcelles et du mauvais contrôle de l'enherbement. Comme l'on l'a montré par le rapport entre la densité du semis et celle de la récolte en milieu paysan, les parcelles ont une diminution de 20% du nombre de plantes. Les conditions d'alimentation hydrique en début de cycle ne semblent pas suffisantes pour maintenir la densité de semis. D'autres raisons telles que les maladies de jeunes pousses ou les animaux en divagations peuvent conduire à une baisse de la densité des plantes entre le semis et la récolte. Les études conduites n'ont pas été orientées vers cette évaluation.

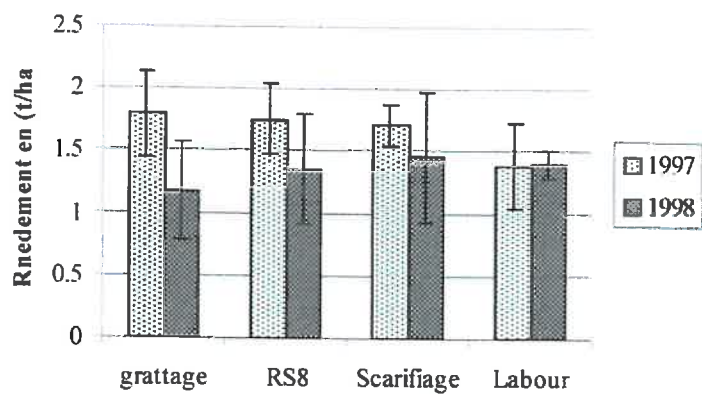
III-6.5 La production de grains

La production de grain est identique à celle du milieu paysan. Les écarts types sont moins important qu'en milieu paysan à cause des facteurs de sol et de toposéquence qui sont relativement homogènes sur les parcelles d'étude en station.. La Figure 53 présente la variation des rendements grains en fonction de la densité à la récolte. Les densités de 1998 sont en moyenne inférieure à ceux de 1997. Cela entraîne une baisse de rendement grains car le nombre de plantes/ha est plus faible. La Figure 54 montre que le nombre de grains/m² est plus faible en 1998 qu'en 1997. En comparant cette production à celle du milieu paysan (Figure 55), on a les valeurs de la production qui ne sortent pas des courbes enveloppes. Cela peut conduire à affirmer que les observations en milieu paysan nous ont fourni des données réalistes. La Figure 56 confirme le fait que le travail du sol n'a pas d'effet notable sur le rendement en grains quelque soit le type de semis.

Il n'y a pas de différence notable entre les traitements pour deux raisons essentielles.

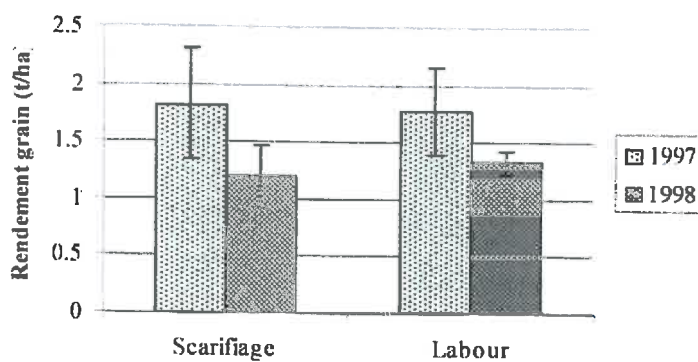
- le semis en 1997 n'est pas suffisamment étalé. Les dates des semis sont celles de la fin des semis du milieu paysan.
- En 1998 le faible niveau de fertilité a limité la production et n'a pas permis l'expression de l'effet du travail du sol.

Variation du rendement en fonction du travail du sol
pour un semis du 22 juin



A)

Variation du rendement en fonction du travail du sol
pour un semis du 9 juillet.



B)

**Figure 56 : Variation de la production de grain en fonction de la date de semis
et du travail du sol.**

IV- CONCLUSION

Les parcelles en station sont différentes de parcelles paysannes par le fait que le sol est de profondeur moyenne, que les techniques de destruction des adventices sont bien utilisées.

Malgré cela, même en station, le travail du sol n'a pas eu des effets notables sur la rendement du sorgho nazongala. Par contre, il est mis en évidence que l'intervention sur le sol par un travail profond induit une amélioration de la longueur racinaire. A 70 jours après semis, tous les traitements ont un enracinement colonisant toute la profondeur du sol (80 cm). Il y a toujours une différence entre les traitements sur le plan de la densité du système racinaire. Le labour donne la densité la plus élevée suivi du scarifiage.

Le semis précoce est lui aussi un facteur favorable à un bon développement racinaire sur l'horizon 0-20 cm. Mais le caractère aléatoire de la pluviosité en début de cycle peut limiter le développement du système racinaire. La densité des plantes est souvent réduite par le stress hydrique qui est important en début de saison. On ne peut conclure que le semis précoce conduit à la réalisation de bons rendements à partir de ces résultats, car d'une part en 1997 les dates de semis ne sont pas suffisamment éloignées et d'autre part le stress hydrique a été très important en début de cycle en 1998.

La production de grains est du même niveau que celle observée en parcelle paysanne sur les sols de profondeur moyenne. La technique du labour n'est pas supérieure aux autres techniques de préparation du sol, mais son avantage relatif semble être la constance de la production entre les deux années et entre des parcelles différentes. Cela donnerait un rôle important à cette technique dans la recherche de la sécurité de la production. L'observation est faite sur un faible nombre d'années et ne permet pas de se prononcer. Les résultats de Sedogo (1993) et de Bado et al., (1997) montrent, sur des variétés améliorées que les rendements ont tendance à baisser après 4 ou 5 ans quel que soit le mode de gestion du sol.

CHAPITRE IV : DETERMINATION DES JOURS DISPONIBLES POUR LE TRAVAIL DU SOL.

I- INTRODUCTION.

Le travail du sol est une **activité contraignante** de la production agricole de la région centre du Burkina Faso. Les contraintes se rencontrent sur les plans :

- de la réalisation de l'opération de préparation du sol à **la date qui convient à la mise en place de la culture**. Le sol doit être à une humidité suffisante pour permettre une réalisation de l'opération de travail du sol. La profondeur de sol humidifiée est souvent le facteur limitant. Ce fait peut être dû à **l'insuffisance des pluies** ou à une inaptitude du sol pour l'infiltration des premières pluies,
- de **l'acquisition du matériel nécessaire** à la mise en œuvre de l'opération en traction animale ou en motorisation décidée par l'agriculteur. L'agriculteur mettra en œuvre l'outil dont il dispose pour réaliser une opération de préparation du sol qu'il pense bénéfique pour sa production. Il est important de tenir compte de ce facteur, car il limite les possibilités de réalisation du travail du sol. Certains souhaitent faire un scarifiage mais ils n'ont pas d'outil ou d'attelage. Il n'est pas toujours possible d'avoir des prestations de service par un agriculteur voisin pour la préparation du sol en temps opportun,
- de la pluviométrie, dont **la variabilité dans l'espace et dans le temps** pose des limites objectives au développement de certaines techniques culturales sur le terrain,
- de **l'effort de traction disponible** qui est souvent faible du fait que pendant la saison sèche les animaux ne sont pas bien alimentés. Comme la majeure partie des exploitations utilise la traction animale, les capacités sont limitées. Cela porte surtout préjudice à la réalisation du travail du sol car, c'est parmi les opérations des itinéraires techniques, celle qui demande le plus d'énergie de traction.

Ces éléments constituent des points essentiels de la problématique du travail du sol au Burkina Faso. Ces points sont liés.

Il y a aussi, dans la recherche de solutions au problème du travail du sol, des aspects socio-économiques :

- Les systèmes de crédits mis en place du pour l'équipement des paysans.
- La construction des outils par les industriels doit être suivie d'un marché qui puisse rentabiliser les investissements. Ce fait conduit à penser, de plus en plus, à un développement des activités des forgerons qui s'adaptent plus aux besoins des paysans que les grosses usines.

Ce document ne traitera pas de ces derniers aspects, car ils requièrent la compétence d'économistes et de sociologues. On tentera de trouver une réponse à la question que les paysans ont souvent posée dans leurs régions respectives : **Quel travail du sol faut-il pour notre région ?** Cette question amène une autre question. Les voies d'amélioration des

itinéraires techniques de production qu'on préconise pour les agriculteurs **sont-elles pertinentes** ? Il faut se rappeler, à cet égard, que notre région est marquée par l'intensité des phénomènes de sécheresse.

II- RAPPEL DE QUELQUES DEFINITIONS.

II-1 Le sol : système à trois phases.

Le sol est un système hétérogène à **trois phases** : une phase solide, une phase liquide et une phase gazeuse. La phase gazeuse et la phase liquide occupent le volume des vides du sol. La phase solide est constituée de particules dont la nature minéralogique est variable. On y trouve de l'argile, du limon, des sables, de la matière organique et des cailloux. La **nature et les proportions** de ces constituants fondamentaux distingueront les sols. Un sol donné aura des propriétés **physiques et mécaniques différentes, à un moment donné, selon la proportion des vides occupée par l'eau.**

II-2 L'humidité pondérale($w = M_w/M_s$)

C'est la masse d'eau que contient le sol, rapportée à la masse sèche du sol. On désigne dans ce cas par masse de sol sec, le poids de sol après un séchage à l'étuve à **105°C jusqu'à l'équilibre**. Un sol séché à l'air à température ambiante contient plus d'eau que le sol séché à l'étuve. Cela est dû au fait que l'eau hygroscopique reste adsorbée sur les particules de sol.

Par définition on a : $w = M_w/M_s$ (kg/kg)

Avec M_w = masse de l'eau

M_s = masse du sol sec.

II-3 L'humidité volumique.

L'humidité volumique du sol est calculée sur la base du volume total du sol. On définit :

$\theta = V_w/V_t$. Avec V_w : volume de l'eau, et V_t : volume total du sol (Hillel, 1974). Elle est plus élevée sur les sols argileux. On peut passer de l'humidité pondérale à l'humidité volumique par l'équation :

$\theta = w \cdot \rho_b$. Avec ρ_b : densité apparente du sol. La densité de l'eau est considérée égale à l'unité

II-4 La densité apparente

Par définition la densité apparente du sol sec $\rho_b = M_s / (V_s + V_a + V_w)$. (g/cm^3)

Avec V_s : volume des solides, V_a : volume de l'air et V_w volume de l'eau.

La densité apparente est influencée par la structure et la texture du sol ainsi que par ses caractéristiques de gonflement et de retrait (Hillel, 1974).

II-5 Le potentiel de l'eau dans le sol.

Le potentiel exprimé en énergie par unité de poids est appelé charge hydraulique. La charge hydraulique ou charge potentielle totale de l'eau du sol (H) est la somme des charges potentielles gravitationnelles (H_g) et de pression (H_p) (Hillel, 1974).

On peut écrire $H = H_g + H_p$.

Avec H_g : charge du potentiel gravitationnel,

H_p : pression hydrostatique de l'eau.

La charge hydraulique est exprimée en cm d'eau et les valeurs peuvent atteindre – 10000 ou –100000 cm d'eau. Pour éviter la manipulation de chiffres encombrants, Schofield, (1935), cité par Hillel (1974), suggère d'utiliser le **pF par analogie au pH**. Il définit **pF = log(Pression : tension ou succion)**. pF1 correspond à une charge de tension 10 cm d'eau ; pF3, à une charge de tension de 1000 cm d'eau.

II-6 La capacité au champ.

La capacité au champ est un critère pratique d'appréciation de la capacité du réservoir sol. Les valeurs de la capacité au champ peuvent varier en poids, de 4% pour les sables, à 45 % pour les argiles et les sols lourds (Hillel, 1974). Les sols argileux retiennent l'eau plus longtemps et en plus grande quantité que les sols sableux. Le type d'argile aussi joue un rôle important. Plus la teneur en **argile gonflante** est élevée plus le sol **retiendra de l'eau**. La matière organique aussi est un facteur qui augmente la rétention d'eau par le sol.

Cette notion de capacité au champ a permis aux agronomes de calculer la réserve hydrique que peut avoir un sol pour l'alimentation de la culture. Ces valeurs permettent d'avoir des repères et de faire des appréciations des possibilités du sol. De façon générale la capacité de rétention est déterminée ainsi qu'il suit : $CR = (wp_{F2.5} - wp_{F4.2}) \times P \times \rho_b$, avec P : profondeur du sol. La valeur du pF la plus faible, qui correspond à l'humidité équivalente, dépend du type de sol. Morel (1989), montre que pour un sol argileux c'est pF3 qu'il faut choisir, et pF 2.5 pour un sol limoneux ou pF 2 pour un sol sableux. D'un autre côté, la valeur de l'humidité équivalente dépend aussi du taux de matière organique du sol, alors que l'humidité au pF 4.2 est peu sensible à cette composante. La **capacité de rétention augmente avec le taux de matière organique**. Osty, 1971 et Gras, 1988, cités par Morel (1989) proposent les équations suivantes :

$$H.E \text{ (humidité équivalente)} = 0,34A + 0,90 MO + 10,8. (\%)$$

$$CR \text{ (capacité de rétention)} = 0,60A + 0,19L + 0,96MO + 4,11.(\%)$$

Il est de ce point de vu intéressant pour le paysan d'accroître le taux de matière organique du sol afin d'améliorer la réserve utile.

Le **pF4.2 est l'humidité d'un sol qui a subit pendant 48 h une pression ou une succion de 15 bars**. A cette valeur la plante entame un processus de flétrissement permanent. Cette valeur n'est pas la même pour toutes les plantes. Il existe des conditions dans lesquelles certaines plantes peuvent prélever de l'eau au-delà de pF4,2. A l'occasion de ce travail où nous cherchons à déterminer la faisabilité du travail du sol, nous considérerons le pF 4,2 comme limite inférieur du réservoir sol.

II-7 Le travail du sol.

Du point de vue mécanique, travailler un sol, c'est le soumettre à des contraintes de sorte à obtenir un **Etat final défini** à partir d'un Etat initial connu (Manière et Ducreux, 1980). Selon le résultat recherché et les moyens disponibles, on choisira d'utiliser une technique plutôt qu'une autre. En plus des considérations pédoclimatiques, le choix d'une technique de préparation du sol sera fonction des moyens dont dispose le paysan en outils et en force de traction.

III- MATERIEL ET METHODE.

III-1 Caractéristiques physiques et mécaniques du sol de la station de Saria.

III-1.1 La densité du sol et la texture.

La densité apparente du sol en début de saison des pluies est élevée. On observe une valeur moyenne de 1,65 pour l'horizon 0-20 cm. Le sol en fin de saison pluvieuse se prend en masse suite à la dessiccation. La **cohésion augmente** de façon importante. L'humectation est difficile en début de saison pluvieuse. Sous les climats tropicaux les premières pluies sont violentes et irrégulières, avec une forte ETP journalière.

En 1998 après une pluie de 30 mm le 13 mai des mesures ont été faites sur la parcelle pour connaître la profondeur du front d'humectation. L'infiltration s'est faite à une profondeur moyenne de 12 ± 3 cm.

Le sol de la station a 19 % d'argile, 26% de limon et 55% de sable.

III-1.2 Le diagramme des états de consistance.

Atterberg (1925), a défini les humidités qui déterminent les limites entre les états de consistance du sol. Quand un sol est saturé en eau il est à l'état de consistance liquide. Sous contrainte il se comporte comme un liquide. En se desséchant, il devient plastique c'est à dire qu'il peut se déformer sans se rompre sous contrainte. C'est dans cet état que l'on peut faire des labours moulés. **La limite de liquidité (Ll) sépare l'état liquide et l'état plastique**. La dessiccation peut conduire à passer de la consistance plastique à l'état friable. A la consistance « friable », le sol s'effrite quand il est pressé entre les doigts. Il ne colle pas à la main. **La limite de plasticité (Lp) sépare l'état plastique de l'état friable**. Une dessiccation

plus poussée conduit le sol à un état où il se comporte comme un objet dur. Sous contrainte, il se brise. **La limite de retrait (Lr) sépare l'état friable de l'état dur.**

Le diagramme de la Figure 57, montre les Etats de consistance du sol de Saria. La dessiccation du sol est très rapide. Après une pluie de 51 mm le 9 juin on obtient une humidité de 14,5 % le lendemain. Deux jours plus tard nous sommes à une humidité de 5,5 % sur l'horizon 0-10 cm. Il faut noter que dans le document, toutes les fois que l'on écrira sans préciser « humidité » il s'agira de l'humidité pondérale.

Le **tableau XIII** présente les valeurs des limites de consistance obtenues sur le sol de la Station de Saria. **L'augmentation du taux d'argile en profondeur entraîne une élévation des limites de consistance.** Ce phénomène s'observe dans le cadre de cette étude sur l'horizon 20-80 cm.

TABLEAU XIII : Limites de consistances du sol de la station de Saria.

Horizons	Limite de retrait	Limite de plasticité	Limite de liquidité
0-20 cm	10,6	11,3	15,7
20-80 cm	11,2	16,0	24,0

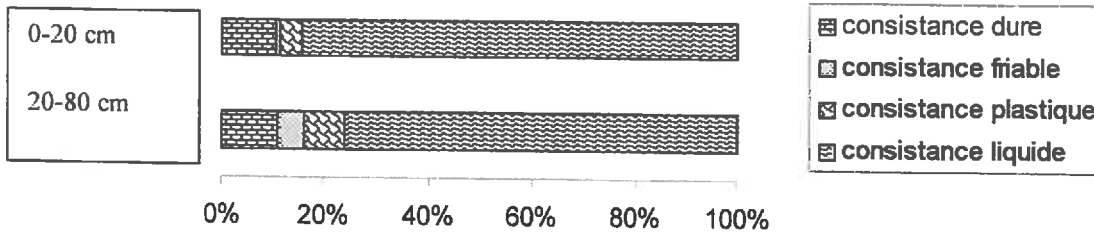


Figure 57 : Diagramme des états des consistances du sol de Saria

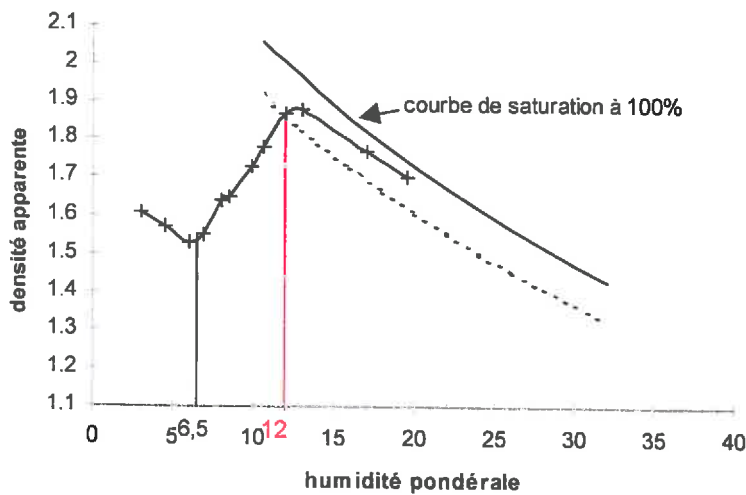


Figure 58 : Diagramme des états de consistance du sol du site à Saria.

III-1.3 La courbe de compactage.

La courbe de compactage d'un sol est l'évolution de sa densité en fonction de l'humidité quand il est soumis à un tassement de type dynamique. L'étude du phénomène est faite dès 1933 par l'ingénieur Américain Proctor (Costat et Sanglerat, 1975). Le principe de l'étude est utilisé en agriculture pour gérer les actions réalisées de façon à éviter d'intervenir dans les conditions de création de forte densité ou de mottes Δ (Gautrauno et Manichon, 1987).

La courbe de compactage Proctor a été faite sur le sol de Saria à une énergie de 104 j/dm^3 (Ouattara, 1987). Cette énergie est équivalente à celle mise en œuvre dans une exploitation mécanisée en traction animale. La Figure 58 montre qu'à cette énergie le maximum Proctor est situé juste vers 13 %. A cette humidité on atteint le maximum de compactage et le sol subit un pétrissage. Ainsi, à la dessiccation il subit une évolution vers le maximum de densité apparente qui est défavorable pour l'infiltration de l'eau et le développement des racines des plantes.

III-2 Détermination des bornes de travail du sol en conditions humides.

III-2.1 Les conditions du terrain.

Le travail du sol en conditions humide selon les théories de la mécanique du sol, peut se faire sur un sol où l'on a un état de consistance friable et plastique (Manière et Ducreux, 1980). Pour un type de sol donné, les limites supérieures de l'intervention sont fixées par l'humidité du maximum Proctor. Cette humidité est un indicateur sur la limite des zones supérieures d'intervention en humide. Elle varie en fonction de l'énergie mise en œuvre par l'attelage qui travaille. Pour la courbe de Proctor qui a été établie sur le sol de Saria, il y a un grand risque de compactage quand on travaille à des humidités supérieures ou égales à 12 %.

Il faudrait que le sol soit ressuyé après une pluie avant que l'on y intervienne. Dans la pratique on intervient dans le champ le lendemain des pluies importantes (au moins 20 mm). La notion de limite Proctor est prise en compte par le fait que l'on évite de faire de la boue quand on veut travailler en parcelle. L'intervention en sol trop humide conduit à faire un pétrissage à l'image de ce que les paysans font pour la construction de leurs cases ou la fabrication des briques en banco. Les agronomes s'accordent sur le fait que le sol doit être, au plus à l'humidité de la capacité au champ pour la mise en œuvre d'une opération. Cette capacité au champ pour notre cas serait obtenue au pF2.5 à une humidité pondérale de 11,8%. Cette valeur est inférieure à celle du maximum Proctor.

Les mesures d'humidité faites en 1996 à Saria sur l'horizon 0-10 cm ont donné 4,3% pour 0-5 cm et 9 % sur 5-10 cm comme limite pour l'usage de la charrue. Cela fait une moyenne de 6,6%. La valeur est supérieure l'humidité à pF 4,2, qui est de 4,3%. Avec 6,6 % d'humidité on obtient une cohésion de 73 kg/cm^2 . Une valeur de cohésion de 100 kg/cm^2 a été observée par Chopart (1978) au Sénégal. La valeur limite de la cohésion varie selon l'effort de traction donc on dispose. La valeur que l'on a sur le sol de Saria est une valeur calculée. L'évolution de la cohésion en fonction de l'humidité, montre que la valeur n'est pas éloignée de la cohésion de 100 kg/cm^2 observée au Sénégal. On la retiendra comme limite inférieure du travail du sol en traction animale et manuelle.

III-2.2 La variation de la cohésion du sol à Saria.

La cohésion du sol varie en fonction de l'humidité du sol. Pour des raisons de commodité, on a utilisé la formule de Caquot et Kérisel (1966). Cette formule permet le calcul de la cohésion en fonction de la limite de liquidité et de l'humidité du sol. La relation est la suivante.

$$C = 7x((LI - w)/(LI - 10))^5$$

Avec LI : humidité pondérale à la limite de liquidité en %,

w : humidité pondérale du sol considéré en %,

Le tableau XIV présente l'évolution des valeurs de cohésion et d'humidité du sol de Saria. La cohésion s'annule à 13% d'humidité pondérale. La cohésion a une valeur de 1 kg/cm² quand on est à 11,8 %, l'humidité à la capacité au champ. La limite inférieure d'intervention mesurée à Saria pour la réalisation du travail du sol est de 6,6 %. Elle correspond à une cohésion de 73 kg/cm².

Les réserves hydriques des différentes profondeurs du sol sont calculées selon la procédure suivante : $Res = (w - w_{pF4,2}) \times \rho_b \times Z / 100$

Res : réserve hydrique du sol (mm).

W : humidité pondérale du sol. (%)

W_{pF4.2} : humidité à pF4.2,

ρ_b : Densité apparente ;

Z épaisseur de sol en mm.

Les valeurs marquées en gris sont les valeurs d'humidité et de cohésion pour lesquelles on est aux bornes extrêmes de la réserve en eau du sol. Celles marquées en bleu sont celles de la réserve hydrique du sol aux limites du travail du sol selon que l'opération est faite en labour (20 cm), scarifiage (10 cm) ou par grattage manuel à la daba (5 cm).

TABLEAU XIV : Evolution de la cohésion et de la réserve du sol sur l'horizon 0-20 cm

W(%)	Cohésion kg/cm ²	Res/20cm (mm)	Res/10cm (mm)	Res/5cm (mm)
2,0	561	-	-	-
3,0	385	-	-	-
4,0	255	-	-	-
4,3	224	0,0	0,0	0,0
5,0	163	2,3	1,2	0,6
6,0	100	5,6	2,8	1,4
6,6	73	7,8	3,8	1,9
7,0	58	8,9	4,5	2,2
8,0	31	12,2	6,1	3,1
9,0	16	15,5	7,8	3,9
10,0	7	18,8	9,4	4,7
11,0	3	22,1	11,1	5,5
11,8	1	24,8	12,4	6,2
12,0	1	25,4	12,7	6,4
13,0	0	28,7	14,4	7,2

III-2.3 Les bornes du travail du sol de Saria.

La réserve utile du sol sur l'horizon 0-20 cm est de 25 mm. Dans le cas du sol de la station de Saria les mesures de densité donnent une **densité moyenne de 1,65** pour l'horizon 0-20 cm. Les valeurs des humidités caractéristiques du sol de Saria sont au **tableau XV** ci-dessous..

TABLEAU XV: Récapitulatif des humidités caractéristiques du sol de Saria.

	PF4.2	PF2.5
Hp	4,3	11,8
Hv	7,1	19,5

La réserve utile est égale à 24,8 mm sur les 20 premiers cm du sol.

Pour la réalisation du scarifiage et du grattage, les bornes supérieures sont les mêmes que celle du labour. Les bornes inférieures sont très proche de l'humidité au pF4.2, car la valeur de la réserve est de 0 mm quand on atteint cette valeur. Selon le calcul que le modèle fait à partir de moment où la réserve hydrique du sol est épuisée, **il apparaît 0 au résultat**. Dans le cas de cette étude, on a considéré **une valeur de 5% d'humidité pondérale**.

Le **tableau XVI** présente le récapitulatif des bornes d'interventions. Il vient des mesures réalisées sur terrain et de la démarche ci-dessus expliquée.

**TABLEAU XVI : Bornes de mise en œuvre des opérations de préparation du sol.
(cas de la station de Saria)**

<i>Variables</i>	<i>Labour (20 m)</i>	<i>Scarifiage (10 cm)</i>	<i>Grattage (5 cm)</i>
Humidité inférieure	6,6%	5 %	5 %
Humidité supérieure	11,8%	11,8%	11,8%
Réserve limite inf.	7,6 mm	1,2 mm	0,6 mm
Réserve limite sup.	24,8 mm	12,4 mm	6,2 mm

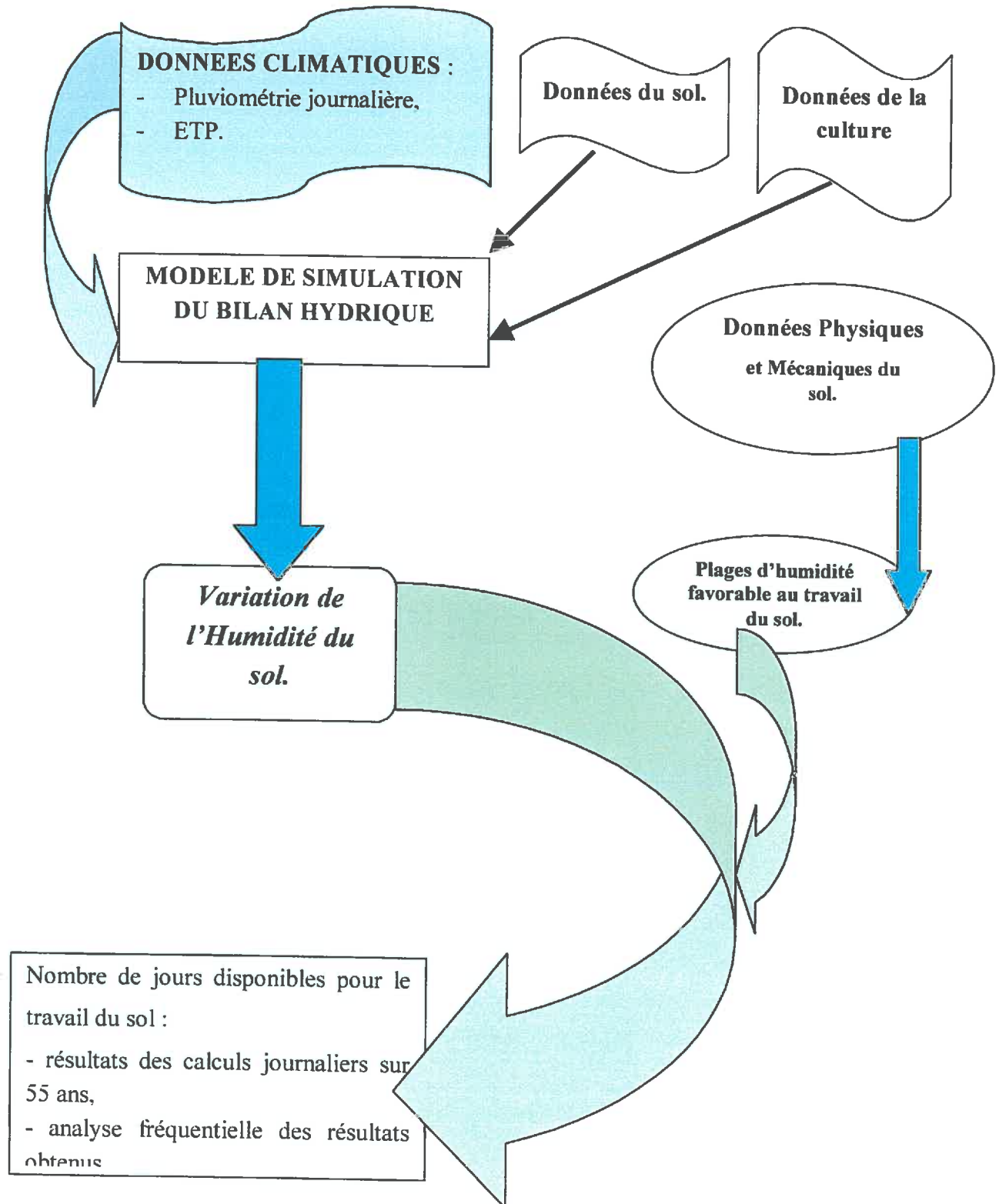


Figure 59 : Procédé d'étude prévisionnelle du travail du sol.

Pour connaître la sensibilité du modèle, nous ferons l'hypothèse de l'existence des sols avec des réserves utiles de 18 et 20 mm dans l'horizon 0-20 cm. On peut rencontrer ces situations sur les sols dégradés avec peu de matière organique dans l'horizon superficiel.

III-3 Principe de l'étude.

Le travail du sol est une opération contraignante pour l'agriculteur du point de vue **énergétique et de point de vue climatique** dans les pays du Sahel. Sur le plan énergétique et de techniques de réalisation des opérations de travail du sol, beaucoup d'études ont été faites (Herblot, 1984 ; Chopart 1980 ; Nicou et al., 1987 ; Barro, 1988 ; Ducreux, 1989 ; Le Thiec, 1991 ; Segodo et al., 1999). Les résultats de ces études montrent le rôle essentiel de la préparation du sol dans l'amélioration des rendements. Le travail du sol est fortement tributaire des conditions **pédoclimatiques des régions** où se réalisent la production. En début de saison des pluies, les sols dans les pays du Sahel sont secs; leur humidité varie avec la pluviosité du milieu et le phénomène de dessiccation dû au ruissellement, à l'évaporation et à la transpiration en cas d'enherbement. Cette variation conduira le sol dans sa partie qui est sujette à une opération de préparation du sol, à être apte ou inapte à une technique donnée. **La connaissance des caractéristiques du sol**, notamment la réserve utile, est nécessaire à la détermination des bornes d'intervention. Les bornes d'intervention pour une opération de travail du sol et les données climatiques pluies et E.T.P., permettent une évaluation des chances de mise en œuvre d'une technique.

On se propose d'étudier et de quantifier les possibilités effectives de travailler le sol, en mettant un niveau d'humidité simulé de l'horizon superficiel du sol au regard des bornes d'humidité tolérables pour les différentes formes de travail du sol. Ces bornes ont été précisées dans les paragraphes précédents. Pour cela, plusieurs étapes sont nécessaires: Calcul par simulation de bilan hydrique du niveau d'humidité du sol, jour par jour, sur toutes les périodes/années pour lesquelles on dispose de données météorologiques journalières permettant d'effectuer les simulations.

- 1) Analyse jour par jour de la condition « le niveau d'humidité est-il compris dans les bornes admises pour la préparation du sol selon la technique choisie ? ». A cette question, la réponse jour par jour est « oui » ou « non ».
- 2) Calcul (par sommation simple) du nombre de jours disponibles obtenus pendant toute la période, chacune des années considérées.
- 3) Tri, puis classement des années selon le nombre de jours disponibles atteints (croissant), et représentation statistique du nombre d'années présentant un nombre de jours favorables atteints.
- 4) Calcul de la probabilité qu'une année quelconque, on atteigne un nombre de jours disponibles pour le travail du sol. A titre d'exemple, un niveau de probabilité de

0.8 associé pour une technique de travail du sol à une valeur « n » correspondra à la possibilité, quatre années sur cinq, de disposer d'un nombre de jours « n » de réaliser l'opération.

La simulation est faite avec le modèle SARRA, décrit dans le détail dans l'annexe II-3). Pour la variable de sortie de ce modèle qui nous intéresse, les entrées nécessaires sont: la réserve utile du sol sur l'horizon concerné par la profondeur travaillée, la pluviométrie journalière, et l'ETP décadaire.

Figure 59 récapitule la démarche utilisée. Les données climatiques de la région sont utilisées par Sarra pour faire le calcul de la variation d'humidité sur un horizon du sol. Dans cette étude c'est la variable Res. (réserve du sol) qui est prise en compte à la sortie du modèle. Il est pris en compte par la méthode du seuil. A partir d'une pluie de 15 mm on considère qu'il y a un taux de 40% de ruissellement (Roose, 1994). Le calcul du bilan hydrique est fait avec les données climatiques et pluviométriques de Saria. L'ETR est calculée par le modèle.

III-4 Adaptation du modèle à l'étude prévisionnelle du travail du sol.

III-4.1 Les réservoirs virtuels ou réservoirs de surface.

L'étude prévisionnelle du travail du sol est faite dans des conditions de sol nu ou de sol à faible transpiration liée à l'enherbement. Dans ces conditions le modèle fonctionne sur un réservoir de surface virtuel. Il permet une meilleure prise en compte des phénomènes de transfert du sol vers l'atmosphère. Pour le labour on a utilisé un réservoir virtuel de 20 cm. Dans le cas du scarifiage et du grattage le réservoir a été modifié respectivement à 10 cm et 5 cm.

III-4.2 La prise en compte des pertes d'eau de la partie du sol travaillé.

Au cours de la période de préparation du sol au début de la saison de pluvieuse, les pluies sont peu importantes et espacées dans le temps. Selon Hillel (1974), il y a un phénomène d'évaporation qui entraîne l'eau vers le haut, et un phénomène de redistribution de l'eau de pluie qui la conduit plus bas. Ces deux phénomènes ont lieu simultanément dans le sol, de sorte que l'on a un plan de flux nul ou zone de partage des eaux. Il existe un

gradient d'évaporation sur le sol de la surface vers la profondeur. Le fait que l'on soit en absence de plante, permet de dire que l'évaporation concerne surtout la partie 0-20 cm du sol.

Quand on considère l'horizon 0-10 cm, il ne paraît pas possible de prendre en compte la même valeur de la variable évaporation du sol que pour l'horizon 0-20 cm. Il en est de même pour l'horizon 0-5 cm. Les profils hydriques mesurés en 1998 ont permis de faire une évaluation de la proportion d'eau qui est perdue par la partie 0-10 cm par rapport à la tranche 0-20 cm.

Le taux d'évaporation du sol nu est contrôlé par l'état hydrique du premier horizon selon Rambal et Cornet (1982) cités par Leenhardt (1991).

On a $S'_1 = (S_1 - S_{1min}) / (S_{1max} - S_{1min})$ avec :

S_1 : Stock du premier horizon,

S_{1max} et S_{1min} : Stock maximal et minimal du premier horizon.

L'évaporation est répartie sur les différentes couches du sol, au moyen d'un coefficient d'extinction f_i : tel que $f_i \times ES = E_i$. D'où $f_i = ES/E_i$.

ES = Evaporation du sol,

E_i = Evaporation de la couche i du sol.

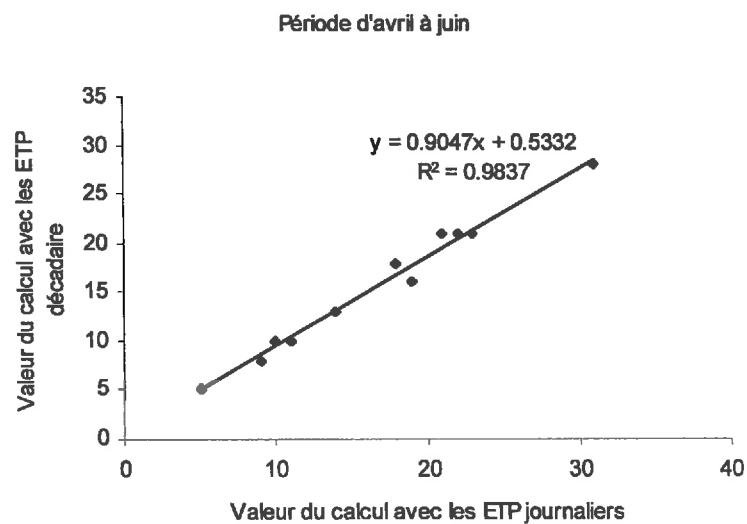
Selon ce principe, les mesures hydriques faites à la station de Saria en 1998 permettent de déterminer un coefficient d'extinction de 0,62 entre la couche 0-10 et la couche 0-20 cm. Ces valeurs signifient que 62 % de l'évaporation d'eau vient de l'horizon 0-10 cm., et 38% de l'horizon 10-20 cm. Pour la profondeur de 10 cm il faut faire le calcul de la variation de la réserve utile en ne considérant que 62 % de la valeur de la variable ES (Evaporation du sol).

Sur la station de Saria on dispose de données journalières de l'ETP de 1987 à 1998. Quant à la pluviométrie, les relevés journaliers sont disponibles de 1944 à 1998. Une étude comparative est faite pour apprécier l'écart qui existerait entre les résultats des simulations faits :

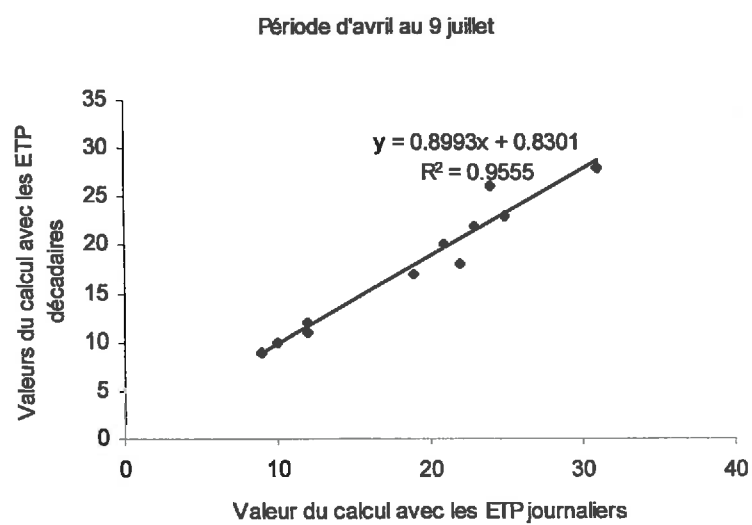
d'une part avec les valeurs des ETP journalières,

et d'autre part avec les valeurs des ETP moyennes décennales.

Les résultats des deux types de simulations étant peu différents, il est donc alors possible de faire l'étude sur les données pluviométrique de 1944 à 1998 avec les ETP moyennes décennales



A)



B)

Figure 60 : Variation du nombre de jours disponibles en fonction de L'ETP journalier ou décadaire moyenne.

III- 5 Concordance entre les résultats obtenus avec l'ETP journalier et ceux obtenus avec ETP moyenne décadaire.

La Figure 60 présente les résultats de l'étude comparative. Que ce soit la période d'avril à juin ou celle avril au 9 juillet il y a une bonne corrélation entre les résultats des deux types de calcul. Les coefficients de corrélation sont de 0,98 ou 0,99 pour 11 points. Il est alors possible de faire le calcul de détermination des jours disponibles sur les 55 années avec des valeurs des ETP décadaires moyens. Ces résultats sont en conformité avec les courbes présentées au **chapitre 1** sur la variation de l'ETP. Les valeurs inter annuelles sont peu différentes. Le facteur climatique qui varie le plus d'une année à l'autre, est la pluviométrie. Cette étude peut être faite avec 55 années de pluviométrie de la Station de Saria

III-6 Les périodes de travail du sol étudiées.

La période d'étude du travail du sol concerne le début de la saison des pluies. Elle va du mois d'avril au 9 juillet. Quatre périodes ont été suivies pour les raisons suivantes. De façon générale les paysans commencent le travail du sol vers le 10 mai. **Le mois d'avril** a été observé car il serait intéressant d'exploiter toutes les possibilités dont on dispose sous ce climat. Au cas il y aurait des possibilités de travail du sol avant le semis qui a lieu vers le 15 mai il faudrait les exploiter. **La période d'avril au 15 juin** a été retenue pour apprécier le nombre de jours dont dispose le paysan pour la mise en place de la variété qu'il utilise actuellement. Selon des études faites par Somé (1989), et les résultats des études faites en milieu paysan (chapitre II), le 15 juin est une date limite de semis pour les variétés photosensibles des paysans.

Deux périodes sont considérées pour l'étude, pour les cas où le paysan fait l'usage de variétés améliorées ou d'autres spéculations comme l'arachide et le niébé (**avril-fin juin et avril-9 juillet**).

III-7 Evaluation des efforts de traction à Saria.

Des mesures d'effort de traction sont faites en 1996 pour évaluer l'effort spécifique que l'on a au cours de la mise en œuvre du labour. Les mesures sont faites avec un dynamomètre à traction en station et une charrue en traction bovine de 9 pouces.

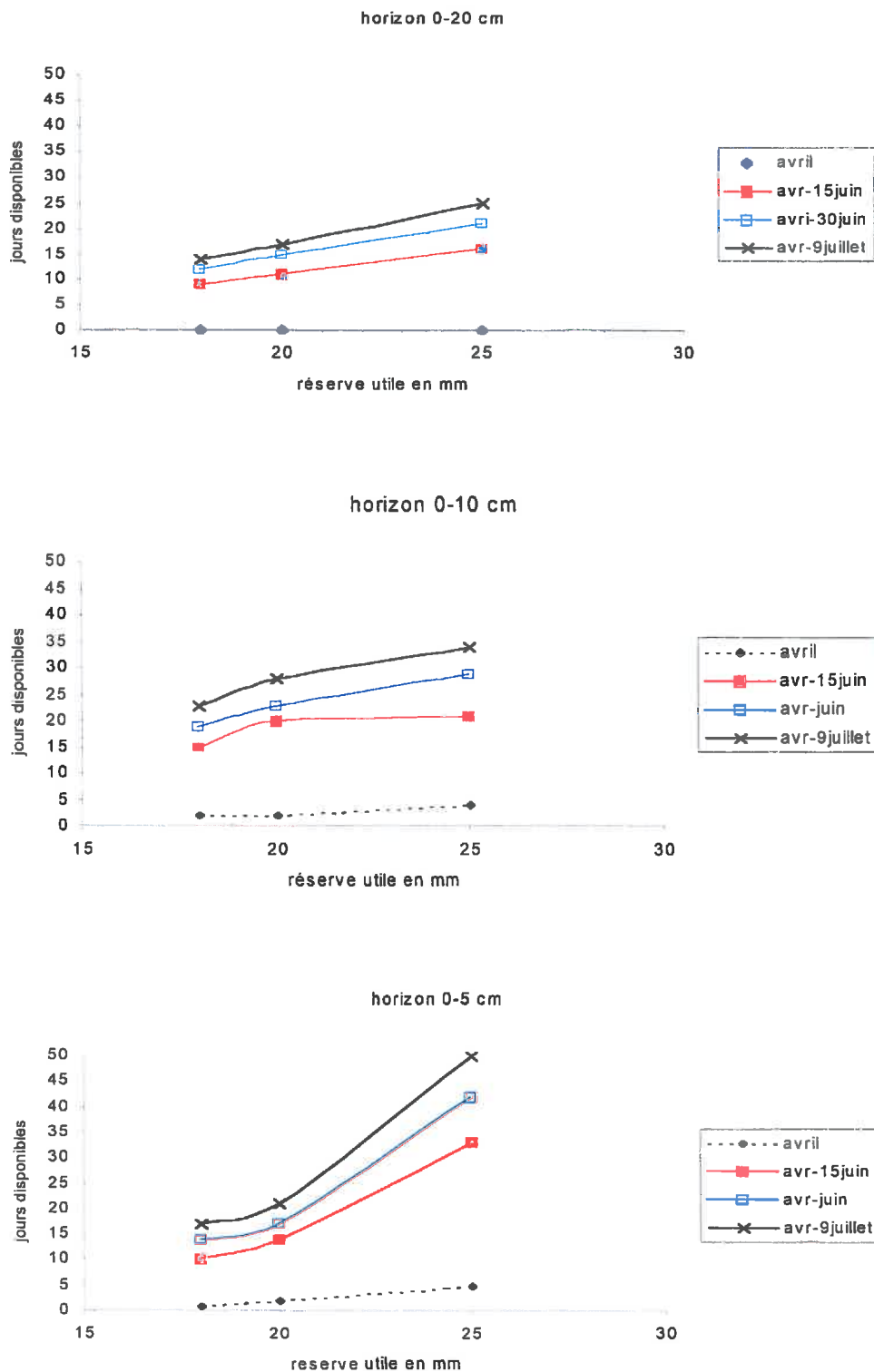


Figure 61 : Variation des jours disponibles en fonction de la réserve hydrique utile du sol à la probabilité d'occurrence de 0.8.

IV- RESULTATS-DISCUSSIONS.

IV-1 Variation du nombre de jours disponibles en fonction de la réserve utile du sol.

La Figure 61 montre que lorsque la réserve utile augmente, le nombre de jours disponibles augmente. Plus la réserve utile est élevée, moins on peut faire un travail du sol par scarifiage ou par labour au mois d'avril. Cela parce que le sol, très sec à cette période ne s'humecte pas vite. Les pluies tropicales par leur violence et par leur faible nombre en ce mois en sont les causes principales. Le travail du sol superficiel présente plus de possibilités de réalisation que le travail du sol profond au mois d'avril. Une année sur deux, il y a un peu plus de jours disponibles pour ces opérations au mois d'avril.

Quand la saison des pluies avance, les sols à forte réserve utile ont plus de jours disponibles pour le travail du sol. Ce fait est surtout important sur les 5 premiers cm. Car les petites pluies l'humectent et le temps de dessiccation est plus long quand la réserve en eau est forte.

IV-2 La réalisation du travail du sol

IV-2.1 La réalisation du labour.

Le labour est réalisé dans la région de Saria à partir de la troisième décade de mai. Les pluies arrivent aux environs du 15 mai. Il faut deux ou trois pluies pour que le sol soit suffisamment humide pour permettre la mise en œuvre de la charrue. Cela signifie simplement que les semis précoces ne seront pas faits sur des parcelles labourées.

Les résultats présentés à la Figure 62 montrent que le nombre de jours disponibles pour les labours est de 17 quand on considère la période d'avril au 15 juin. En allant jusqu'au 30 juin on a 21 jours et 25 jours dans les cas de cultures à cycle très court.

Le nombre de jours disponibles pour le labour est plus faible que pour les autres opérations. **En avril, il n'est pratiquement pas possible de faire du labour à la probabilité de 0,8.** Cela est dû au fait que la profondeur importante du sol (20 cm) pour le labour nécessite plus de pluies pour que le sol soit suffisamment humidifié.

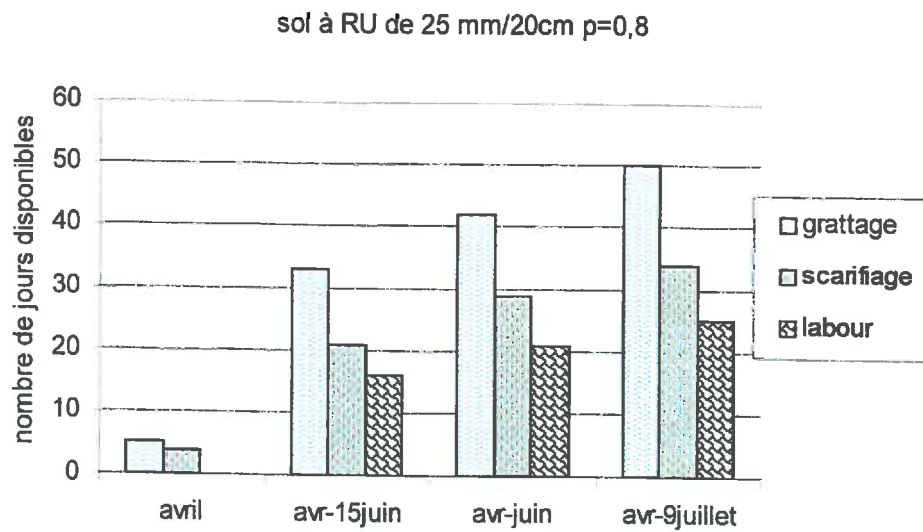


Figure 62 : Jours disponibles dans la région de Saria pour les opérations de préparation du sol à la probabilité de 80%.

IV-2.2 La réalisation du scarifiage.

Le scarifiage est réalisable dès le mois d'avril. La technique peut être utilisée de façon précoce car elle est réalisée à une profondeur de 7 cm. **D'avril au 15 juin, on a 21 jours avec la probabilité de 0,8.** Pour la probabilité de 0,5 on a 31 jours. D'avril à fin juin on a 29 jours pour la probabilité de 0,8 et 40 jours pour 0,5. On observe un accroissement du nombre de jours disponibles par rapport à ceux du labour. Ceci est dû au fait que la profondeur prise en compte pour la mise en œuvre du scarifiage est plus faible que pour le labour, de faibles pluies peuvent permettre de travailler. Les plages de réalisation de l'opération sont plus grandes que celle du labour (Figure 62).

IV-2.3 La réalisation du grattage.

La réalisation du grattage ne prend en compte que les 5 premiers centimètres (Figure 62). **Les valeurs obtenues sont supérieures aux valeurs que l'on a dans le cas du scarifiage.** Pour la période d'avril au 15 juin on a 32 jours disponibles. Quand on va jusqu'à la fin juin, on a 42 jours. Une petite pluie permet d'avoir un sol apte au grattage alors que l'humidité n'est pas encore suffisante ni en valeur ni en profondeur pour les autres opérations. Dans la pratique les opérations se passent de façon un peu différente. Au mois d'avril il n'est pas bon de faire le travail manuel du sol, car à cause de la violence des premières pluies il y a des risques d'érosion plus importants. L'effet de "mulch terreux" que l'on a au moment du semis, suite à cette opération est perdu s'il y a un écart important entre la date de l'opération et celle du semis.

IV-3 Cas des sols à réserve utile faible.

Ce cas concerne les sols pauvres en matière organique, avec un faible taux d'argile. Il peut concerner aussi les sols à forte charge gravillonnaire. Le sol de la station de Saria a un taux de matière organique de 0,91. On atteint de taux de 0,50% de matière organique dans certains sols en milieu paysan. Il existe des sols à faible réserve utile qui seraient de **18 ou 20 mm** sur les 20 premiers centimètres.

La Figure 61 montre qu'on a moins de jours disponibles dans le cas des sols à réserve utile faibles (18 ou 20 mm/20 cm), que pour les sols de la station de Saria.

Pour des opérations qui se font sur l'**horizon 0-20 cm**, on a un nombre de jours disponibles qui baisse proportionnellement à la réserve utile. On perdrait **5 à 6 jours** pour la période du 1^{er} avril au 15 juin. Pour la période du 1^{er} avril au 30 juin, on note une perte de **6 à 9 jours**. Cela correspond à une perte en superficie travaillée de **1,3 à 2 ha**, pour un temps de travail de **23h/ha et 6 h/j**. Il y a deux raisons essentielles à cette baisse :

- pour un travail du sol profond, l'horizon qui est concerné par l'opération ne s'humecte pas rapidement en début de saison. Les causes sont multiples, on peut citer la perméabilité faible du sol et la forte intensité des pluies. (Roose, 1994).

- le travail du sol profond (labour), à un temps de travail important par surface.

Le nombre de jours potentiellement disponibles est faible dans ces sols. La prise en compte de la période de début juillet n'améliore pas le nombre de jours disponibles.

Dans le cas d'opérations de préparation de sol qui concernent l'horizon 0-10 cm le nombre de jours disponibles baisse surtout quand la réserve utile du sol est très faible. Entre 18 et 20 mm de réserve utile, le nombre de jours disponibles augmente de 5, alors qu'il n'augmente que d'un jour entre 20 et 25 mm. Dans cet horizon l'accroissement des jours disponibles est surtout lié aux bornes d'interventions dans le contexte pluviométrique de la région de Saria. Le phénomène est réel dans la période d'avril au 15 juin. Quand on avance dans la saison des pluies la pluviosité plus importante induit un léger accroissement des jours disponibles quand la réserve utile augmente.

L'intervention en surface sur l'horizon 0-5 cm est fortement tributaire de la capacité de rétention du sol. De 18 à 25 mm de RU, le nombre de jours disponibles passe du simple au double. Pour la période d'avril au 15 juin, on a 10 jours avec une réserve utile de 18, et 33 jours avec une réserve utile de 25 mm. Cela est dû au fait que les faibles pluies humidifient rapidement la surface et permettent la réalisation de l'opération.

L'amélioration de la réserve utile du sol engendre un accroissement des jours disponibles pour toutes les opérations de travail du sol. Cet accroissement est surtout notable pour les opérations de préparations superficielles.

IV-4 Limites d'effort de mise en œuvre du labour.

La mise en œuvre d'un outil dépend de la force de la cellule motrice qui peut être un homme, une machine ou un animal. Elle est aussi liée la résistance que le sol oppose à la réalisation de l'opération. Travailler le sol comme on l'a défini plus haut consiste à le briser et à créer un accroissement de la porosité. Cette pratique favorise l'infiltration de l'eau et la croissance des racines. Dans la réalité, les énergies dont dispose le paysan sont limitées. Au Burkina les outils de travail du sol sont surtout mis en œuvre par la traction animale, ou de façon manuelle. L'usage des tracteurs ou des motoculteurs est fait dans les zones cotonnières de l'Ouest ou sur les périmètres irrigués. Il semble donc judicieux de se pencher sur les limites considérées pour la réalisation du travail du sol par traction animale.

Selon les travaux de Nicou (1974) et de Maertens (1964), la force de résistance à la pénétration d'un barreau métallique dans le sol dépend de trois facteurs : la texture, la structure et l'humidité. Cette force intègre la cohésion, l'adhérence et le frottement à la pointe de la tige du pénétromètre utilisé pour réaliser la mesure. En 1978 Chopart a montré sur les sols du Sénégal que la limite de réalisation de l'opération de labour correspond à une résistance spécifique du sol d'environ 37 kg/dm². Elle correspond à un effort de traction de 140 kg pour une profondeur de travail de 15 cm. Selon l'auteur cette résistance est

équivalente a un effort mesuré au pénétromètre à percussion de 200 kg. Cette résistance à la pénétration indique une limite où la résistance du matériau est supérieure à l'effort que des bœufs peuvent fournir, pour la mise en œuvre d'un outil. Du point de vue mécanique il est possible avec des moyens de traction supérieurs de faire un travail du sol au-delà de cette limite.

L'étude faite par Chopart au Sénégal a permis d'avoir des résultats sur des sols à 3 % d'argile. A Saria le sol a 19 % d'argile. Un sol argileux est plus cohérent qu'un sol sableux. Les mesures faites à la Station de Saria en 1996 montrent que l'on atteint la limite de 120 à 130 kg pour une profondeur de travail inférieure à celle du Sénégal (tableau XVII).

TABLEAU XVII : Effort spécifique de travail du sol à Saria.

Profondeur. (cm)	Effort spécifique. (kg/dm ²)	Effort de traction. (Kg)	Section de sol. (dm ²).
9,2	34	79	2,3
11,3	36	94	2,6
11,5	45	117	2,6

Les efforts spécifiques sont calculés à partir de l'effort de traction et de la section du sol. La différence de profondeur est faible entre la seconde valeur et la troisième tandis que les valeurs de l'effort de traction sont élevées. A la limite de la zone humidifiée le soc de la charrue atteint l'horizon plus sec de cohésion plus élevée. Nous sommes à la fin du front d'humectation du sol.

Nous avons un effort de traction spécifique de 36 kg/dm². La valeur supérieure de l'effort de traction semble être de 45 kg/dm². Il donne sur le joug environ 120 à 130 kg.

Les limites en terme d'effort de traction sont les mêmes que ceux du Sénégal (130 et 140kg). Comme les sols sont plus argileux et plus cohérents que les sols du Sénégal, les profondeurs de travail sont plus faibles.

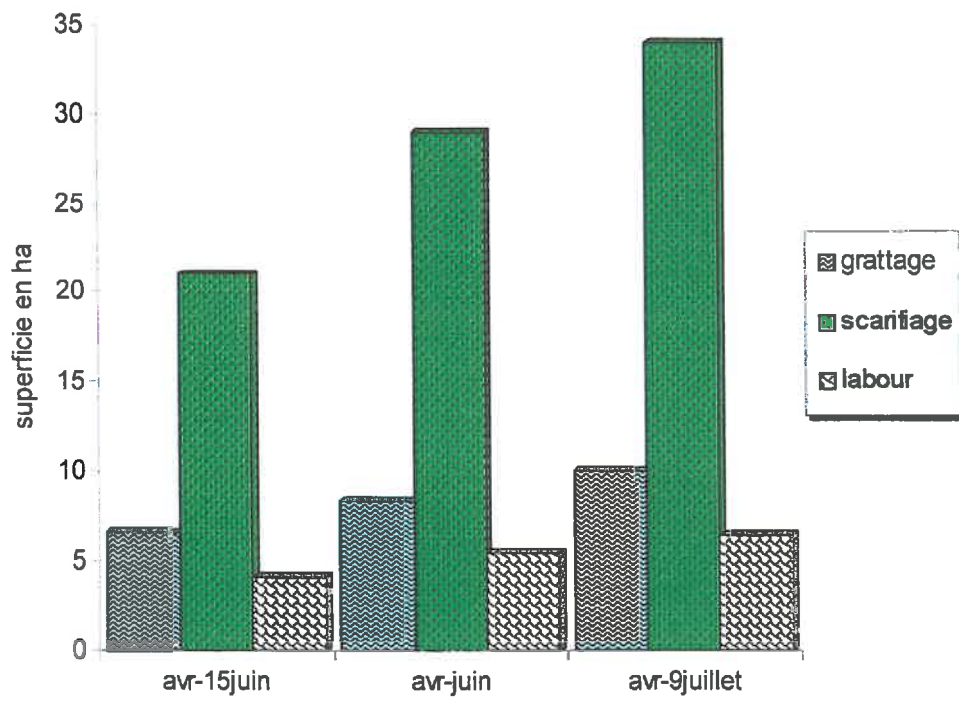


Figure 63 : Superficie potentielle réalisable par type de préparation du sol dans la région de Saria à la probabilité de 80%.

IV-5 Conséquences sur la réalisation du travail du sol dans la région.

IV-5.1 Le temps de mise en œuvre des techniques de préparation du sol.

Le temps de réalisation d'un **labour en traction animale** est d'environ **23 h/ha** (Barro, 1988). Pour la mise en œuvre de la technique il faut attendre que le sol soit suffisamment humide. C'est seulement possible au cours du mois de mai et de juin. Le temps de travail du sol pour le scarifiage est de **6 h/ha**. Le temps de travail journalier est de **6h/jour** en traction animale. Pour le travail du sol par grattage manuel on considère qu'il faut **40 h/ha**. La journée de travail dans ce cas est de **8h/jour**.

IV-5.2 Superficies potentiellement réalisable dans la région de Saria.

Les prévisions faites ici (Figure 63), le sont avec une probabilité de 80%. Pour la station de Saria nous avons une réserve utile forte. Les superficies potentiellement réalisables pour toutes les opérations à la Station de Saria (25 mm/20 cm), sont supérieures à celles que l'on obtient sur des sols à faible capacité de rétention (18 ou 20 mm pour l'horizon 0-20 cm). Dans ces conditions, les surfaces qui peuvent être travaillées sont : **4 ha pour le labour, 22 ha pour le scarifiage et 7 ha pour le grattage manuel**. En allant jusqu'au 30 juin pour le travail du sol, les valeurs deviennent : 5 ha pour le labour, 30 ha pour le scarifiage et 9 ha pour le grattage.

Le cas du sol de Saria montre qu'avec une date limite de semis du 15 juin, on n'a qu'un potentiel de 4 ha que l'on peut réaliser en faisant le labour, avec un seul attelage. Avec la technique du grattage manuel on a un potentiel de 7 ha dans la même période. La technique du scarifiage permet d'avoir le potentiel le plus élevé. La différence essentielle entre les trois techniques est la vitesse de réalisation. Le grattage peut être fait par un nombre important de personnes en même temps. Ainsi, en augmentant le nombre d'opérateurs on peut évidemment travailler une surface plus importante. Le nombre de jours disponibles est deux fois plus élevé que celui du labour.

Le labour a le potentiel le plus faible (4ha). Ce fait est lié au temps de travail qui est de 23 h/ha. Pour faire plus de surface il faut mettre en œuvre deux attelages. La mise en œuvre de deux attelages augmente considérablement les charges de l'exploitation, et par conséquent les risques. Il faudrait deux charrues et quatre bœufs. Les bœufs devraient être pris en charge après les périodes de travail du sol. Il est par ailleurs possible que l'on n'ait pas la l'opportunité de réaliser pleinement les opérations de labour même quand on a deux attelages. On soulignera que ces calculs, basés sur les caractéristiques du sol de la station de Saria, fournissent des résultats plus élevés que ceux que l'on aurait dans beaucoup de parcelles paysannes, à réserves en eau plus faibles.

Le scarifiage semble donc être la technique qui a la meilleure capacité de mise en œuvre. On peut faire avec un attelage et un outil un potentiel de 20 hectares à la probabilité de 80% avant le 15 juin.

Cette différence dans la mise en œuvre des techniques de travail du sol est prise en compte par les paysans. Le labour n'est fait que sur une partie de l'exploitation. Il est réalisé sur une superficie de 1 ou 2 ha.

L'étude des parcelles paysannes a montré que le travail du sol au cours des deux années de suivi n'a pas d'effet significatif sur le rendement en grains des variétés locales photosensibles. Les résultats observés en station sur l'effet des techniques d'implantation des cultures du sorgho, sur le système racinaire, la biomasse et la production de grains corroborent ce fait (voir Chapitre 3). Le facteur le plus important semble être la date de semis, surtout dans les sols les plus superficiels.

Ces résultats ne sont qu'en contradiction apparente avec l'efficacité du labour pour l'accroissement des rendements, montré par de nombreux auteurs dont (Herblot, 1984 ; Nicou 1974 ; Chopart, 1980 ; Nicou et al., 1987 ; Barro, 1988 ; Somé, 1989, Sédogo et al., 1999). Un certain nombre d'éléments créent en effet des différences entre champs paysans et champs expérimentaux, qui pèsent sur l'extrapolabilité des résultats obtenus dans ces derniers :

- Les tests d'étude des effets du travail du sol sont faits en station sur des variétés améliorées qui sont parfois peu rustiques alors qu'en milieu paysan on utilise des variétés locales.

- Dans les essais, on met les cultures dans des conditions optimales de fertilisation pour permettre d'observer l'expression maximale des effets du travail du sol, alors que les paysans n'utilisent que de la fertilisation organique à un niveau souvent faible.

- Les variétés utilisées pour montrer ces effets ne sont pas photosensibles et leur cycle est généralement court ou moyen. Leurs dates de semis ne sont pas soumises aux mêmes contraintes de calendrier que les variétés locales des paysans.

- Les labours réalisés en station sont faits à une profondeur de 15 cm en traction animale et à 20-25 cm en motorisation, alors que les paysans dans la région de Saria font le labour à une profondeur de travail de 11 cm.

V- CONCLUSION

Pour pouvoir semer précocement la plus grande partie possible de la sole de sorgho de la région, et contribuer ainsi à créer les conditions d'obtention de rendements élevés, il est indispensable que les paysans disposent de techniques d'implantation adaptées. On a établi, par des enquêtes diagnostiques et par des expérimentations, qu'aucune des techniques employées ne présentait un avantage déterminant sur les autres, vis-à-vis de l'élaboration du rendement du sorgho, qui aurait imposé son emploi. La question du choix entre ces techniques se pose donc. Pour y répondre, l'analyse de leur faisabilité, dans les conditions de sol et de climat de la région, était essentielle.

Cette étude a été abordée d'abord sur le plan mécanique. On a défini des seuils de résistance mécanique du sol, c'est à dire des seuils de teneur en eau de la terre limitant des domaines où le travail du sol est possible, pour chaque technique. Une étude fréquentielle du bilan hydrique, simulé sur une longue période à partir des relevés pluviométriques, a permis de calculer le nombre de jours disponibles pour réaliser les opérations culturales. Sur ces bases, le nombre de jours disponibles varie du simple au double, entre le 1er avril et le 15 juin (date ultime de semis au-delà de laquelle le potentiel de rendement est diminué) entre le grattage manuel et le labour. Le scarifiage occupe une position intermédiaire.

Si l'on combine ces résultats avec les temps de travaux par hectare, très différents entre les techniques, il apparaît un avantage considérable au scarifiage. Cette technique permet, avec un seul attelage, de préparer une surface 5 fois plus importante que le labour entre le 1er avril et le 15 juin. Vis-à-vis du calendrier de semis, la rapidité d'exécution qu'offre cette technique constitue un atout majeur.

Il reste que d'autres fonctions des techniques de travail du sol n'ont pas été étudiées ici. S'agissant de la maîtrise de la densité de peuplement, dans le contexte de cette région, l'existence d'épisodes de sécheresse après semis semble beaucoup plus déterminante que la technique de travail du sol. On s'attardera plus sur la question de l'efficacité des techniques dans la lutte contre les adventices des cultures. Les enquêtes dans les champs des paysans n'ont pas apporté d'éléments tangibles sur ce plan. Mais les références expérimentales établies par de nombreux auteurs accordent un poids important, pour l'efficacité de la technique, à la profondeur de travail et à l'enfouissement des plantes adventices par l'outil. Ce qui confère en principe au labour un avantage sur les travaux plus superficiels comme le scarifiage. On considérera cependant que, dans la réalité, le handicap éventuel de cette dernière technique est comblé par l'avantage que procure, pour la lutte contre les adventices, le faible temps de travail qui la caractérise.

En effet, le scarifiage libère des travaux d'implantation une bonne partie de la force de travail disponible (par rapport au grattage manuel), et autorise des semis précoces (par rapport au labour). Il permet donc la diminution de la concurrence entre les sarclages des premières parcelles semées et les travaux du sol des plus tardives. Ce faisant, il aboutit à réduire le risque de sarclages retardés, cause principale de mauvais entretien des parcelles, dont les conséquences sur les rendements ont été mises en évidence dans les résultats des enquêtes. Les paysans disposent donc avec le scarifiage d'un moyen efficace pour la conduite de leurs cultures, à la condition qu'ils gèrent leur calendrier de travail en profitant des opportunités qu'offre cette technique.

CONCLUSION GENERALE

Les travaux présentés dans ce mémoire trouvent leur origine dans les questions que nous nous posons, en tant que chercheur agronome burkinabé soucieux du développement agricole de notre pays. Dans la partie centrale de celui-ci, en particulier, l'accroissement de la production de céréales revêt une importance considérable pour faire face aux besoins alimentaires des populations.

Or, depuis des décennies, les rendements du sorgho restent très faibles malgré les efforts de la recherche qui ont permis la création de variétés à haut potentiel et la mise au point expérimentale de techniques de culture efficaces. La production globale stagne malgré une augmentation des surfaces cultivées chaque année, ceci se faisant au détriment des jachères et donc, de la reconstitution du capital de fertilité des terres. Les rendements restent soumis aux aléas climatiques d'un milieu contraignant pour la production végétale : sols souvent superficiels et pauvres, durée limitée de la saison des pluies, répartition erratique de celles-ci entraînant l'alternance d'épisodes de sécheresse et de périodes d'excès d'eau dégradant le sol.

Face à ces contraintes, les moyens des agriculteurs sont limités. Depuis plusieurs années, le renchérissement du coût des intrants et la diminution des crédits aux cultures empêchent l'intensification. Et c'est bien pour cela que les paysans, pour tenter de maintenir au moins leur production, accroissent leur surface cultivée. Le labour en traction animale a été le moyen nécessaire pour conquérir de nouvelles surfaces sur les friches et les parcours. On a vu dans certaines régions la généralisation de son utilisation. Mais, non associée à l'utilisation des autres facteurs de production, son utilisation a été décevante en termes de productivité par unité de surface.

Maintenant, dans le plateau central du Burkina, les surfaces mises en cultures ne peuvent augmenter et l'augmentation de la production ne peut venir que d'un accroissement des rendements des parcelles. La question qui se pose est de savoir comment l'obtenir, avec quelles variétés et avec quelles techniques.

Sur le premier plan, le choix des variétés de sorgho, les paysans ont fait leur choix. Ils refusent en général les variétés à haut potentiel, pour des raisons de qualité des grains (goût, facilité de préparation des repas), dans un contexte où la production est essentiellement consacrée à couvrir les besoins familiaux, en autoconsommation. De plus, ces variétés exigent

l'utilisation de quantités importantes d'intrants pour exprimer leurs potentiels, et les paysans n'ont plus les moyens de les acquérir. Enfin, même si elles sont relativement précoces, elles présentent le risque de fournir une production très médiocre, voire insignifiante, lorsque les semis ont été retardés. La floraison se produit trop tard pour que le remplissage des grains puisse se faire avant que le sol ne soit complètement desséché. Il s'agit, en effet, de variétés non sensibles à la photopériode, dont la date de floraison dépend étroitement de la date de semis. Les variétés que préfèrent les paysans, pour les qualités de leurs grains, sont sensibles à la photopériode et rustiques. Leur culture, même si elle n'autorise pas l'obtention de rendements très élevés, est préférable dans la mesure où les risques d'aboutir à des rendements nuls sont minimisés. L'intérêt de la photosensibilité des variétés, pour minimiser les risques, a été bien établi par les chercheurs du Cirad travaillant dans cette région climatique.

Sur le deuxième plan, les techniques d'implantation, les choix des paysans ne semblent pas aussi arrêtés, puisque co-existent dans la région : des travaux manuels de grattage superficiel à la daba, ainsi que le labour et le scarifiage avec une houe en traction animale. Dans une région où, à priori, la précocité des semis doit constituer un avantage pour les cultures, les performances de ces différentes modalités ne sont évidemment pas les mêmes.

Le programme de recherches que nous avons choisi d'entreprendre dans le cadre de cette thèse a trait aux techniques d'implantation du sorgho dans la région centrale du Burkina, pour en tirer les voies d'augmentation des rendements sans avoir recours à des intrants.

Dans un premier temps, nous avons voulu analyser les pratiques des paysans, pour diagnostiquer les causes principales de la variabilité des rendements du sorgho. En 1997 et 1998, nous avons donc conduit des enquêtes dans les champs paysans, autour de la station de recherche de Saria qui est bien représentative du plateau central du Burkina. Nos populations de parcelles ont été structurées autour de deux facteurs principaux : la profondeur du sol, qui détermine la valeur de sa réserve en eau, et les techniques d'implantation. Aucun de ces facteurs n'est apparu suffisamment explicatif de la variabilité des rendements, et nous avons dû procéder à une analyse plus détaillée de l'élaboration des rendements pour mettre en évidence : (i) l'influence de la précocité du semis, qui est d'autant plus marquée que le sol est superficiel ; (ii) l'importance de la maîtrise de la densité de peuplement, qui apparaît liée aux aléas climatiques (sécheresse après semis) et à la densité semée, sans qu'aucune liaison ne soit visible avec la technique de travail du sol ; dans beaucoup de cas, une trop faible densité de peuplement a limité le rendement ; (iii) l'importance de la maîtrise du salissement des parcelles, par la date des sarclages, et l'incidence néfaste du striga. En général, plusieurs facteurs défavorables se sont combinés pour conduire à des rendements faibles, en particulier dans les sols les plus profonds qui présentent les plus fortes potentialités. En résumé, un semis précoce, sur labour, en sol profond, ne garantit pas le succès de la culture. Ce qui remet un peu en cause les dogmes diffusés par les services de vulgarisation, sur la base des résultats expérimentaux de la recherche. L'intérêt de techniques de préparation peu coûteuses en temps

de travail à l'hectare, comme le scarifiage, est apparu. La généralisation de cette technique doit permettre un avancement global des dates de semis sur l'ensemble de la sole, en privilégiant les premiers semis dans les sols superficiels. Elle doit réduire, par une diminution de l'étalement des semis, les risques de concurrence pour la main d'œuvre entre les derniers travaux de préparation et les premiers sarclages. Il doit en résulter, globalement, une augmentation de la production.

Mais avant de préconiser cette généralisation, il a été nécessaire de vérifier, en milieu contrôlé, que les effets propres des différentes techniques d'implantation sur les rendements étaient peu différents entre-eux. Nous l'avons fait à la station de Saria, en choisissant des conditions expérimentales (variété traditionnelle, absence de fertilisation minérale) proches de celles des champs paysans. Nous avons bien retrouvé l'avantage attendu des semis précoces. Mais l'effet favorable du labour sur la dynamique de l'enracinement, que nous avons retrouvé conformément aux résultats de recherche existants, ne s'est pas traduit par un avantage sur le rendement. Il nous a été donc possible de conclure qu'il est possible d'envisager, dans les conditions de la région, un remplacement sans dommage du labour par des techniques plus légère et donc moins consommatrice d'équipement et de temps de travail.

La quantification, en termes de calendrier de semis, de l'avantage des techniques de scarifiage comparées au grattage manuel et au labour, nous a été apportée par une étude fréquentielle des jours disponibles pour ces différents travaux : le labour apparaît ici très défavorisé, compte-tenu de ce qu'il exige en termes d'épaisseur d'humectation du sol, ce qui entraîne un retard des travaux à partir du début de la saison humide. En combinant ces résultats avec les données de temps de travaux nécessaires par unité de surface, l'avantage au scarifiage se creuse encore plus par rapport aux autres techniques.

En conclusion de ces travaux, et compte-tenu des caractéristiques de la région (climat et sols, variétés utilisées, absence d'intrants) l'objectif d'avancer en moyenne les dates de semis pour favoriser l'obtention de rendements élevés peut être atteint avec une technique rapide comme le scarifiage. Son utilisation doit commencer par les sols les plus superficiels, là où il est indispensable d'avoir des semis très précoces. Ainsi, en cas d'échec du semis (sécheresse pendant la phase de levée), celui-ci pourrait être recommencé suffisamment tôt. Pour les sols plus profonds, le scarifiage peut aussi être utilisé, en surveillant l'évolution au cours des ans de l'état de salissement des parcelles. En effet, cette technique est en principe moins efficace que le labour pour la maîtrise des adventices. Nos observations n'ont pas apporté d'éléments sur ce sujet. Mais la prudence doit être de mise, même si la possibilité accrue de réaliser les sarclages sans retard, grâce au scarifiage, constitue un élément favorable. Dans cette conception, le labour passe du statut de technique préconisée à celui de technique de correction, dont l'usage occasionnel doit être raisonné selon l'état de la parcelle. C'est bien ce que font déjà certains paysans qui, possesseurs d'une charrue, ne l'utilisent pas systématiquement tous les ans dans les mêmes parcelles.

Ces conclusions nous semblent importantes dans la mesure où, si elles étaient prises en compte par les services d'encadrement de l'agriculture, elles devraient favoriser l'augmentation de la production. Elles devraient aussi contribuer à orienter les crédits vers des moyens plus adaptés à la réalité agricole locale.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

- Bado V. Sédogo M.P., Cescas M.P., Lompo F. et Bationo A., 1997.** Effet à long terme des fumures sur le sol et les rendements du maïs au Burkina Faso. Cahier de l'agriculture Vol 6 n° 6 p.571-575
- Barro A., 1988.** Contribution à l'étude des relations eau-sol-plante-machine. Mémoire d'Ingénieur d'Agronomie tropicale. ESAT-2. Montpellier. 50 p.
- Barro A., 1994.** Rapport de synthèse sur les taches stériles des parcelles de la coopératives de DI. INERA/Saria. 10 p.
- Barro A. et Traoré H., 1996.** Influence de la préparation du sol et du sarclage sur la production et l'enherbement du sorgho au Burkina Faso. INERA/ CNRST science et technique Vol 22 n°2. p27-35.
- Bohm W., 1976.** In situ estimation of root length at natural soil profiles. J. Agric. Comb. (87) 365-368.
- Bourgeon G., 1991.** Mécanisme d'agrégation des sols tropicaux pauvres en argiles gonflantes. 4^{ième} rapport d'exécution du projet CEE/STD2 contrat TS2A-0146 F(TT) 24 p.
- Burgos-Léon W., Ganry F., Nicou R., Chopart J.L. et Dommergues Y., 1980.** Un cas de fatigue des sols induite par la culture du sorgho. Agronomie tropicale XXXV-4
- CIRAD.CA-BRGM-CNRS-IER-INERA-UAW, 1992.** Mécanisme d'agrégation des sols tropicaux pauvres en argiles gonflantes. RAPPORT FINAL. 156 p.
- Caquot A. et Kérisel J., 1966.** Traiter de mécanique des sols. Edition Gauthier-Villars, Paris.
- Costet J., et Sanglerat G., 1975.** Cours pratique de mécanique des sols. Plasticité et calcul des tassements. Edition Bordas, 263 p.
- Chantereau J. et Nicou R., 1991.** Le sorgho. 159 p. CTA
- Chopart J.L. 1981.** Le travail du sol au Sénégal. Analyses des contraintes techniques et des propositions actuelles de la recherche. ISRA 36 p.

- Chopart J.L.** 1984. Développement racinaire de quelques espèces annelles cultivées en Afrique de l'Ouest et résistance à la sécheresse. p145-154
- Chopart J.L.** 1990. Rôle du travail du sol sur les termes du bilan hydrique - enracinement et rendement des cultures pluviales. Agronomie et ressources naturelles en régions tropicales. p223-237.
- Chopart J.L.**, 1978. Prolongation de la période des labours de fins de cycle grâce à des techniques d'économie de l'eau. Application aux sols sableux de la zone centre du Sénégal. Rapport IRAT/ ISRA. 65 p.
- Chopart J.L.**, 1980. Etude au champ des systèmes racinaires des principales cultures pluviales au Sénégal (Arachide Mil Sorgho Riz pluvial). Thèse INP Toulouse 159 p.
- Chopart J.L.**, 1986. Méthode d'étude de l'enracinement à mettre en place dans le cadre du projet R3S/PF2. Recommandation. Notes techniques IDESSA n°4/89 Idessa RCI. 16 p.
- Chopart J.L.** et **Nicou R.** 1973. Effet dépressif de cultures répétées du sorgho dans les sols sableux du Sénégal. Premier essai d'explication. Africans soils/ sols Africains. Volume XVII 1 p.181-188.
- Chopart J.L.** et **Siband P.**, 1999. Development and validation of a model to describe root length density of maize from root counts on soil profiles. Plant and soil 00 : 1-14
- Cordary D.**, 1994. Mécaniques des sols. Lavoisier. Tec&doc. 380 p.
- Dancette C.**, 1976. Mesure d'évapotranspiration et d'évaporation potentielle d'une nappe d'eau libre au Sénégal. Agronomie tropicale vol.31(4) p.321-338
- Doorenbos J.** et **Pruitt W.O.**, 1977. Crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper. 24. Rome.
- Eagleman J.**, 1971. An experimental derived model for actual evapotranspiration. Agric. Meteorol. 8, 385-394.
- ERGCI - Développement**, 1996. Etude pédologique du périmètre du centre régional de recherche agricole de Saria. INERA 71 p.
- Forest F.** et **Kalms J.M.**, 1984. Influence du régime d'alimentation en eau sur la production du riz pluvial. Simulation du bilan hydrique. Agron. Trop. 39,(1), 32-40.

- Franquin P. et Forest F., 1977.** Des programmes d'analyse fréquentielle des termes du bilan hydrique. *Agron. Trop.* 32 (1), 1-22.
- Gautronau Y. et Manichon H., 1987.** Guide méthodologique du profil cultural. CEREF-ISARA 71 p.
- Ganry F., Roger P.A. et Dommergues Y., 1978.** A propos de l'enfouissement des pailles dans les sols sableux tropicaux du Sénégal. *Académie d'agriculture de France.* p.445-454
- Guiko S., 1984 :** La végétation de Haute Volta. Tome 1 et 2. Doctorat d'Etat ès Sciences Naturelles. Université de Bordeaux III. 318 p.
- Guillobez S. 1991.** Etude des intensités et de l'agressivité des pluies à la Station de Saria. INERA Station de Kamboinsé ESFIMA/CES 12 p.
- Guillobez S. et Zougmore R. 1991.** Etude du ruissellement et de ses principaux paramètres à la parcelle (SARIA) INERA BURKINA FASO
- Herblot G., 1984.** Une expérimentation «Travail du sol en sec» en Haute Volta. *Machinisme Agricole Tropical* n° 85.
- Hillet D. 1974.** L'eau et le sol. Principe et processus physique. Edition Vander. 288 p.
- Hoffmann G., 1994.** Contribution à l'étude des phanérogames parasites du Burkina Faso et au Mali : quelques aspects de leur écologie, biologie et technique de lutte. Thèse Faculté des Sciences et Techniques de St. Jérôme. 177 p.
- Jacquinet L., Nicou R., 1965.** La nutrition minérale du sorgho en différentes conditions de fertilité. Contrôle par le diagnostic foliaire. OAU/ STRC Kartoum 15 p.
- Jenny H., 1964.** Etudes Agropédologique des Stations de Saria et de Fara-koba (Haute Volta). Rapport IRAT/Haute Volta. Ouagadougou.
- Kaboré T.S., 1996.** Innovations techniques et efficacité économique dans les systèmes de production des provinces du Bulkièmdé et du Sanguié au Burkina –Faso. Thèse de 3^{ième} Cycle. Fac des sciences économiques et de gestion. Côte d'Ivoire. 185 p.
- Lafolie F., 1991.** Modelling water flow, nitrogen transport and root uptake including physical non-equilibrium and optimization of the root water potential. *Fertilizer Research* 27, 215-231.

- Leennardt D.**, 1991. Modélisation du bilan hydrique dans le système sol plante. Définition de trois niveaux de simplification opérationnels. 13p. D'après thèse ENSAM.
- Le Thiec G.**, 1991. Le coutrier à traction animale : recherche alternative au labour en zone sèches. Cahier de la recherche Développement. n° 28 p. 83-86.
- Le Thiec G. et Bordet D.**, 1989. Essai de mise au point d'outil de travail du sol à traction animale. *Machinisme Agricole Tropical* n° 102.
- Leterme P., Manichon H. et Roger-Estrade J.** 1994 . Analyse intégrée des rendements du blé tendre et de leurs causes de variation dans un réseau de parcelles d'agriculteurs du Thymerais. *Agronomie* 14, n° 6, p. 341-361
- Lompo F.**, 1983. Problématique de la matière organique dans la zone de plateau Mossi. Etude de la disponibilité des résidus culturaux et leur mode de transformation. Saria. Mémoire de fin d'études IDR. Université de Ouagadougou. 108 p.
- Manichon H.**, 1980. Les objectifs du travail du sol. *Machinisme Agricole Tropical* n° 71 p32-36
- Manichon H.** 1994. Quelques questions et réponses sur les enquêtes régionales. Montpellier. CIRAD-CA p58-62.
- Manière G., Ducreux A.** 1980. Comportement physique et mécanique du sol lors de son travail *Machinisme Agricole Tropical* n°71 p37-40
- Maraux F.**, 1994. Modélisation mécaniste et fonctionnelle du bilan hydrique des cultures. Le cas des sols volcanique du Nicaragua. Thèse INA-PG / CIRAD/ INRA. 268 p.
- Maraux F. et Lafolie F.**, 1998. Modeling soil water balance of a maize-sorghum sequence. *Soil Science Society of American Journal*. Vol 62 n°1 p.75-82.
- Meartens C.**, 1964. La résistance mécanique des sol à la pénétration : ses facteurs et son influence sur l'enracinement. *Ann. Agr.* XV vol. 5
- Meatens C.**, 1974. La résistance mécanique à la pénétration, ses facteurs et son influence sur l'enracinement. *Ann. Agron.* 15(5) p. 539-554.
- Meartens C.**, 1988. Intérêt de l'endoscopie pour l'étude de l'influence et de l'enracinement d'un couvert végétal sur l'utilisation de l'eau du sol. Dans *Etude sur les transferts d'eau dans le système-sol-plante-atmosphère*. p. 213-224.

- Morel R.**, 1989. Les sols cultivés Edition Lavoisier. 373 p.
- Nicou R.**, 1974. Le problème de la prise en masse à la dessiccation des sols sablo-argileux de la zone tropicale sèche. Agr. Trop. XXX n° 4 – Oct.- Déc. 1975.
- Nicou R.**, et **Charreau G.** 1985. Travail du sol et économie d'eau en Afrique de l'Ouest semi-aride. Dans technologies Appropriées pour les paysans en zones semi-arides de l'Afrique de l'Ouest p.9-37.
- Nicou R.**, **Ouattara B.** et **Somé L.**, 1987. Effet des techniques d'économie de l'eau à la Parcelles sur les culture céréalières (sorgho, maïs, mil) au Burkina Faso. Rapport CIRAD/INERA.
- Nicou R.**, **Ouattara B.** et **Somé L.**, 1990. Effet des techniques d'économie de l'eau à la Parcelle sur les cultures céréalières (sorgho, maïs, mil) au Burkina Faso. Agronomie Tropicale 45 (1) : 43-47.
- Ouattara B.**, 1987. Caractérisation physique et mécanique d'échantillons des sols de Saria. Rapport de Stage LAGEPHY. ENSA Montpellier 20 p.
- Ouattara B.** et **Chopart J.L.** 1993. Un référentiel de terrain, de nouveaux outils de diagnostic et d'aide à la décision pour un choix raisonné d'itinéraire technique. Sixième conférence de la CORAF. Ouagadougou. 13 p.
- Ouattara B.**, **Sedogo M.P.**, **Lompo F.** et **Ouattara K.**, 1991. Effet de techniques culturales sur l'alimentation hydrique du sorgho et le bilan minéral du sol dans le plateau central. Dans bilan hydrique Agricole et sécheresse en Afrique tropicale : vers une gestion des flux hydriques par le système de culture.
- Pieri C.** 1989. Fertilité des terres et des savanes ; Doc. CIRAD-IRAT Montpellier. 444 p.
- Poulin J. F.**, **SEDOGO M.** et **Maurant P.** 1993. Cartographie des Zones Homogènes au Burkina Faso, proposition de successions culturales cohérentes. Dans Analyse des situations agricoles. p. 45-48.
- Ritchie J.T.**, 1985. A user oriented model of the soil water balance in wheat Growth and Modeling, ed. W. Day and R.K. Atkin, Nato ASI series. New York : Plenum Publishing Corp.

- Roose E., Arrivets J. et Poulain J., 1979.** Dynamique actuelle de deux sols ferrugineux tropicaux indurés sous sorgho et sous savane soudano-sahélienne. Saria (Haute Volta). Synthèse des campagnes 1971-1974. ORSTOM 104p. Multigr.
- Roose E., 1981.** Dynamique actuelle des sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale. Travaux et documents de l'ORSTOM n° 130. 566p. édit. ORSTOM. PARIS.
- Roose E., 1994.** Introduction à la gestion conservatoire de l'eau de la biomasse et de la fertilité des sols. Bulletin pédologique de la FAO. 70. 420 p.
- Ruiz L., Ganry F., Waneuken V., Oliver R. et Siband P., 1993.** Recherche d'indicateur azoté de la fertilité azotée des terres. Proceedings of the scope workshop. Sénégal. CIRAD France 406p. p.111-121.
- Siband P., Wey J., Oliver R., Letourmy P. et Manichon H., 1999.** Analysis of the yield of two groups of maize cultivars. Varietal characteristics, yield potentials, optimum densities. *Agronomie* 19 (1999). p 379-394.
- Sedogo P.M., 1981.** Contribution à la valorisation des résidus culturaux en sol ferrugineux et sous climat tropical semi-aride (matière organique du sol et nutrition azotée des cultures), Thèse de docteur ingénieur ENSAIA-Nancy, 195 p.
- Sedogo P.M., 1993.** Evolution des sols ferrugineux lessivés sous culture: incidence des modes de gestion sur la fertilité. Thèse de doctorat es sciences, Université Nationale de Côte d'Ivoire, 285p.
- Sedogo P.M., Barro A. et Bonzi M., 1999.** La dent RS8 de travail du sol en sec, une alternative à la charrue. *Science et technique* Vol. 23 n°1. p44-48.
- Somé L., 1989.** Diagnostic agropédologique du risque de sécheresse au Burkina Faso. Etude de quelques techniques agronomiques améliorant la résistance pour les cultures de sorgho, de mil et de maïs. Thèse de Doctorat. USTL Montpellier II. 312 p.
- Somé L et Sivakumar M.V.K, 1994.** Analyse de la longueur de la saison culturale en fonction du début des pluies au Burkina Faso. *Compte rendu des travaux* n°1. Division du sol et agroclimatologie. INERA/ICRISAT. Niamey
- Trouche G. et Kondombo/Barro C., 1996.** Rapport analytique campagne 1995 Programme Somima INERA/SARIA. Burkina Faso. 85 p.

- Taonda S.J.B., 1995.** Evolution de la fertilité des sols sur un front pionnier en zone nord-soudaniene (Burkina Faso). Thèse de Doctorat Institut Polytechnique de Lorraine. 191 p.
- Vaksmann M., 1989.** Version modifiée de BIP. Document interne CIRAD. 29 p.
- Vaksmann M., Traoré S., Niangado O., Stutterheim N.C. et Reyniers F-N., 1995.** Intensification et plasticité du développement du sorgho. Colloque «intensification au Sahel : mythe ou réalité ». Bamako du 28/11 au 2/12/95. 6p.
- Vaksmann M., Chanterau J., Bahmani I., AG Hamada M., Chartier M. et Bonhomme R., 1997.** Influence of night temperature on photoperiod response of a west african guinea sorghum landrace. In colloque : amélioration du sorgho et sa culture en Afrique de l'ouest et du centre. CIRAD-ICRISAT. P 23-35.
- Wey J., Oliver R., Manichon H. et Siband P., 1998.** Analysis of local limitations to maize yield under tropical conditions. *Agronomie* 18 (1998) p545-561.

LISTE DES FIGURES ET ILLUSTRATIONS.

Figure 1: Variation de la pluviosité annuelle de la station de Saria.....	13
Figure 2 : Evolution de l'insolation moyenne à la station de Saria sur 11 années.....	15
Figure 3 : Evolution de l'humidité relative moyenne à la station de Saria sur 11 années.....	15
Figure 4 : Variation de la température moyenne à la Station de Saria sur 11 années.....	16
Figure 5 : Evolution de L'ETP pentadaire à la Station de Saria sur 11 années.....	17
Figure 6 : Evolution de la pluviométrie annuelle de la Station de Saria sur 55 années.....	18
Figure 7 : Evolution de la production du sorgho dans la province du Bulkiemdé.....	20
Figure 8 : Carte de l'Afrique de l'Ouest.....	28
Figure 9 : Carte des cinq régions de recherche du Burkina Faso. La Station de référence de la zone Centre est la Station de Saria.....	28
Figure 10 : Carte morphopédologique de la région de Saria. (R. Bertrand IRAT/DRN, 1989)	29
Figure 11 : Outil de travail manuel du sol (DABA).....	31
Figure 12 : Houe Manga et réalisation du scarifiage en traction bovine en milieu paysan.....	32
Figure 13 : Proportions de répartition des superficies des exploitations.....	34
Figure 14 : Nombre d'actifs par hectare en fonction de la superficie des exploitations.....	35
Figure 15 : Proportion des profondeurs de sol en 1997 et en 1998.....	36
Figure 16 : Proportion des sols en bas de pente.....	37
Figure 17 : Proportion des sols en mi-pente.....	37
Figure 18 : Proportion des sols en haut de pente.....	37
Figure 19 : Proportion d'utilisation des techniques de travail du sol au cours des 2 années....	41
Figure 20 : Date de travail du sol en fonction de la date de la dernière pluie en 1997.....	43
Figure 21 : Date de travail du sol en fonction de la date de la dernière pluie en 1998.....	44
Figure 22 : Classes de dates de semis et pluviométrie en 1997 et 1998.....	45
Figure 23 : Evolution de la date de semis en fonction de la date du travail du sol en 1997.....	46
Figure 24 : Lien entre la date de travail du sol et la date de semis en 1998.....	47
Figure 25 : liaison entre la date de semis et le premier sarclage.....	48
Figure 26 : liaison entre le premier sarclage du second sarclage.....	49
Figure 27 : Importance du striga sur la parcelle en fonction du délais.....	49
Figure 28 : Histogramme des classes de rendements grains en 1997 et 1998.....	52
Figure 29 : Evolution de la production de grain en fonction du poids paille.....	56
Figure 30 : Variation du rendement grain en fonction de la date de semis.....	56
Figure 31 : Variation du rendement en fonction du nombre de grain/m ²	58
Figure 32 : Variation du rendement en fonction du poids de mille grains.....	58
Figure 33 : Variation du poids de mille grains en fonction du nombre de grains.....	58
Figure 34 : Variation du nombre de grains/m ² en fonction de la densité des poquets.....	60
Figure 35 : Variation du rendement grains en fonction de la densité des poquets et des limites de compétions.....	60
Figure 36 : Evolution du nombre de grains/m ² en fonction du rapport de la densité au semis et celle de la récolte.....	62

Figure 37 : Variation du nombre de grains/m ² en fonction du taux de fertilité des plantes	62
Figure 38 : Variation du nombre de grain/m ² en fonction de la satisfaction des besoins en eau au cours du cycle.	64
Figure 39 : Schéma du dispositif expérimental en Station.	77
Figure 40 : Relation entre le nombre d'impacts sur la face verticale (transversale) et la longueur des racines en (cm/cm ³).	80
Figure 41 : Longueurs racinaires du sorgho conduit suivant différentes techniques de travail du sol en fonction de la date de semis sur sorgho à 70 JSA.	81
Figure 42 : Evolution de la hauteur des plantes entre le premier et le second mois pour le semis du 14 Mai.	84
Figure 43 : Evolution de la hauteur des plantes entre le premier et le second mois pour un semis du 22 juin.	84
Figure 44 : Liaison entre la hauteur et la biomasse sèche du sorgho Nazongala.	85
Figure 45 : Evolution de la biomasse des parties végétatives (tiges, feuilles) et de en fonction du travail du sol sur semis précoces. (14 Mai)	86
Figure 46 : Evolution de la biomasse des parties végétatives en fonction du travail du sol sur semis moyen.(22 juin).	86
Figure 47 : Variation de la réserve hydrique du sol en 1997 et 1998 pour les dates de semis utilisées en Station (entre la surface et 80 cm de profondeur).	88
Figure 48 : Courbes de satisfaction des besoins en eau en 1997	89
Figure 49 : Courbes de satisfaction des besoins en eau en 1998	89
Figure 50 : Rendement grains du sorgho Nazongala en Station en 1997.	91
Figure 51 : Rendement grains du sorgho Nazongala en Station en 1998.	91
Figure 52 : Production de grains du sorgho en fonction du travail du sol et de la densité en 1998.	94
Figure 53 : Production en parcelles de la Station de recherche.	94
Figure 54 : Production de grain en fonction du nombre de grains/m ² en 1997 et 1998.	96
Figure 55 : Rappel sur la production en parcelles paysannes	96
Figure 56 : Variation de la production de grain en fonction de la date de semis.	99
Figure 57 : Diagramme des états des consistances du sol de Saria.	107
Figure 58 : Diagramme des états de consistance du sol du site à Saria.	107
Figure 59 : Procédé d'étude prévisionnelle du travail du sol.	111
Figure 60 : Variation du nombre de jours disponibles en fonction de L'ETP journalier ou décadaire moyenne.	115
Figure 61 : Variation des jours disponibles en fonction de la réserve hydrique utile du sol à la probabilité d'occurrence de 0.8.	117
Figure 62 : Jours disponibles dans la région de Saria pour les opérations de.	119
Figure 63 : Superficie potentielle réalisable par type de préparation du sol dans la région de Saria à la probabilité de 80%.	123

TABLEAU I : Structure des échantillons de parcelles étudiées(nombre de parcelles).....	40
TABLEAU II : Variabilité des rendements du sorgho selon la profondeur du sol, le travail du sol et le précédent cultural.....	53
TABLEAU III : Critères de diagnostic et d'interprétation.	63
TABLEAU IV : Eléments de diagnostic pour les parcelles à précédent sorgho en 1998.....	65
TABLEAU V : Etat des parcelles et des peuplements, selon les niveaux de rendement.....	69
TABLEAU VI : Eléments de diagnostic pour les parcelles sur précédent mil en 1998.....	70
TABLEAU VII : Eléments de diagnostic pour les parcelles sur précédent sorgho en 1997....	71
TABLEAU VIII : Dates de semis de sorgho sur l'essai en station.	78
TABLEAU IX : Longueur racinaire en cm/cm ³ du sorgho conduit suivant différentes techniques de travail du sol en fonction de la date de semis 70 JAS.....	82
TABLEAU X : Analyse de Variance du rendement grain en 1997.....	92
TABLEAU XI : Analyse de variance du rendement grain en 1998.....	92
TABLEAU XII : Analyse de variance du rendement paille en1998.....	92
TABLEAU XIII : Limites de consistances du sol de la station de Saria.....	106
TABLEAU XIV : Evolution de la cohésion et de la réserve du sol sur l'horizon 0-20 cm...	109
TABLEAU XV: Récapitulatif des humidités caractéristiques du sol de Saria.....	110
TABLEAU XVI : Bornes de mise en œuvre des opérations de préparation du sol. (cas de la station de Saria)	110
TABLEAU XVII : Effort spécifique de travail du sol à Saria.....	122

ANNEXES











ANNEXE I : Evolution de l'occupation de l'espace à Saria de 1952 à 1988.



Carte 1 : Occupation de l'espace à Saria en 1952

1Km

Carte 2 : Occupation de l'espace à Saria en 1988

	Station agricole de Saria
	Culture pluviale et jachère courtes
	Friches
	Jachères longues et parcelles abandonnées
	Flat alluvial
	Rizières
	Village
	Routes pistes
	Chemin de fer
	Axe principal d'écoulement des eaux.

Sur la carte de 1952 on observe qu'il existe des parcelles de longues jachères et des friches en proportion importante.

La carte de 1988 montre que 40 ans après, les jachères longues ont disparu. Les zones de friches ont été réduites. Ce fait est du à la haute densité de la population. A cette époque on pouvait atteindre le chiffre de 120 hb/km². Le paysan est contraint pour survenir à ses besoins de défricher les zones qui jadis étaient considérées comme impropres à l'agriculture. Les animaux n'ont plus d'espace pour le pâturage. Il y a donc dans la région beaucoup de départ vers des zones où il y a de l'espace. Ces déplacements sont temporaires et concernent surtout les jeunes. La production agricole doit être intensifiée car il n'y a pas d'autres choix. Mais cette intensification doit se faire avec le paysan et avec des techniques adaptées à son système de production.

ANNEXE II-1 Données des observations du milieu paysan en 1997 et 1998.

Le tableau 1 présente les observations faites en 1997 sur 29 parcelles dans un rayon deux km autour de la Station de Saria.

Le tableau 2 présente les observations faites en 1998 sur 74 parcelles dans un rayon de 2 km autour de la station de Saria. En 1998 les paysans n'ont pas fait de démariage.

Il semble qu'il est fait seulement quand les conditions sont humides. Cela est une stratégie de sécurité de la production mais elle expose les plantes au stress quand le sol est sec. C'est au moment du manque d'eau qu'il faut surtout éliminer les plantes excédentaires afin de préserver l'eau qui serait consommée par elles. Il est clair que ces plantes consommeront en plus des éléments minéraux ce qui n'est pas à la faveur pour une bonne production dans les sols généralement pauvres.

Tableau 1 : Observations en parcelles paysannes suivies en 1997 dans la région de Saria (Burkina Faso)

Exploitation		Sol			Opérations Culturales										
Individus	Sup expl	NbAct/ha	profondeur	Topo-séquence	Précédent	Travail du sol	dern pluie	D W sol	Date de semis	démar(JAS)	Striga	Sacl.1 (JAS)	Sarel.2 (JAS)	Sarel.3 (JAS)	ETR/ETMc
1	7	1.4	35	Haut de pente	arachide	Labour	4/6/97	5/6/97	5/6/97	57	Striga	14	56	-	65
2	19	1.4	100	Bas de pente	sorgho	grattage	14/5/97	18/5/97	28/5/97	54	Striga	20	54	-	79
3	3	2.7		mi-pente	sorgho	labour	4/6/97	5/6/97	5/6/97	46	-	33	58	-	
4	1	5.0	50	Bas de pente	sorgho	grattage	27/5/97		30/5/97	52	Striga	18	51	-	70
5	4	1.8	90	mi-pente	sorgho	labour	9/6/97	10/6/97	10/6/97	24	Striga	40	63	-	77
6	3	2.3	100	mi-pente	sorgho	scarifiage	27/5/97	28/5/97	28/5/97	53	-	33	69	-	79
7	8	1.0	100	Bas de pente	sorgho	labour	10/5/97	11/5/97	19/5/97	46	striga	29	59	-	78
8	4	2.0	50	Bas de pente	sorgho	scarifiage	10/5/97	11/5/97	12/5/97	41	-	40	77	-	70
9	3	2.3	100	mi-pente	sorgho	scarifiage	27/5/97	28/5/97	10/6/97	24	-	38	65	91	80
10	5	2.0	50	mi-pente	sorgho	scarifiage	10/5/97	12/5/97	12/5/97	53	-	22	65	-	70
11	3	3.7	100	Bas de pente	sorgho	labour	4/6/97	5/6/97	6/6/97	56	-	32	60	-	77
12	5	1.6	100	Haut de pente	sorgho	scarifiage	10/5/97	12/5/97	12/5/97	41	striga	35	29	-	78
13	2	1.0		-	sorgho	labour	27/5/97	28/5/97	30/5/97	23	-	21	43	-	
14	2	1.0	100	Bas de pente	sorgho	grattage	27/5/97	28/5/97	28/5/97	25	-	26	62	-	79
15	5	1.6		mi-pente	sorgho	labour	16/6/97	17/6/97	17/6/97	47	-	32	52	-	80
16	7	2.1	100	bas de pente	sorgho	scarifiage	9/6/97	10/6/97	13/6/97	54	-	22	55	-	67
17	22	2.5	25	mi-pente	sorgho	labour	10/5/97	11/5/97	15/5/97	53	-	36	63	-	66
18	3	1.0	27	haut de pente	sorgho	labour	9/6/97	10/6/97	11/6/97	52	striga	29	48	-	
19	3	4.0		bas	sorgho	scarifiage	10/5/97	12/5/97	12/5/97	41	-	36	59	-	
20	4	2.8	100	bas de pente	sorgho	grattage	10/5/97	11/5/97	11/5/97		-	32	60	-	
21	2	1.0	72	mi-pente	sorgho	labour	9/6/97	10/6/97	11/6/97	43	-	24	61	-	73
22	4	3.0	100	mi-pente	sorgho	Labour	27/5/97	28/5/97	29/5/97	53	striga	28	63	99	79
23	2	3.0		-	sorgho	grattage	14/5/97	15/5/97	15/5/97		-	37	65	92	
24	2	1.0	100	bas de pente	sorgho	grattage	10/5/97	12/5/97	12/5/97	54	-	33	71	115	78
25	2	5.0		-	sorgho	grattage	10/5/97	11/5/97	11/5/97	54	-	34	47	-	
26	5	2.0		-	sorgho	scarifiage	10/5/97	11/5/97	11/5/97		-	42	83	-	
27	3	1.3	50	haut de pente	sorgho	scarifiage	10/5/97	11/5/97	11/5/97	42	-	43	81	105	70
28	2	1.5	100	haut de pente	sorgho	grattage	10/5/97	11/5/97	11/5/97		-	40	67	-	78
29	3	2.3	100	mi-pente	sorgho	grattage	27/5/97	28/5/97	28/5/97	38	-	26	62	-	79

Tableau 1 : (Suite)

Individus	1997						Comp du rendement	
	Variables du rendement			Comp du rendement			Npp/Nptatale	
	Poids1000g	Nbre gr/m ²	RDT grain	RDT paille	Pqtréc	nbre p. pleines		
1	25.0	4155	1.04	2.20	36200	181	1.00	
2	20.7	6970	1.44	5.20	34800	174	1.00	
3	24.7	4785	1.18	2.60	35800	172	0.97	
4	20.6	3114	0.64	1.20	25800	122	0.95	
5	22.0	4370	0.96	3.20	24200	121	1.00	
6	24.8	5726	1.42	3.40	37000	185	1.00	
7	22.5	4703	1.06	3.80	28800	144	1.00	
8	25.1	4779	1.20	2.66	28600	119	0.83	
9	23.1	3978	0.92	0.00	17400	87	1.00	
10	23.2	4663	1.08	4.40	31600	158	1.00	
11	22.6	4154	0.94	2.80	21400	106	0.99	
12	20.0	9205	1.84	3.00	28200	39	0.95	
13	19.4	5149	1.00	2.80	23600	118	1.00	
14	21.7	4610	1.00	3.40	25000	125	1.00	
15	21.6	7878	1.70	5.00	37000	185	1.00	
16	26.7	6956	1.86	4.00	28600	143	1.00	
17	24.5	5063	1.24	3.40	35800	179	1.00	
18	26.3	6933	1.82	4.00	23200	116	1.00	
19	25.1	4469	1.12	2.80	24200	121	1.00	
20	32.6	7619	2.48	5.80	23400	117	1.00	
21	24.9	4988	1.24	4.00	28400	142	1.00	
22	27.9	3006	0.84	2.00	32400	162	1.00	
23	23.9	2256	0.54	1.40	20600	103	1.00	
24	19.0	3056	0.58	3.80	21800	108	0.99	
25	22.0	3279	0.72	1.80	20800	103	0.99	
26	25.7	4751	1.22	2.60	28800	138	0.96	
27	20.0	4905	0.98	2.00	16600	82	0.99	
28	22.2	3874	0.86	4.00	32200	159	0.99	
29	25.9	3935	1.02	2.40	24400	122	1.00	

Tableau 2 : Observations en parcelles paysannes suivies en 1998 dans la région de Sarria (Burkina Faso)

Exploitation			Sol			Opérations culturales									
Numéro	Superficie acti/ha	profondeur	topo-séquence	précédent	travail du sol	derm.Pluie	D Wsol	Dre semis	Striga(m2)	Sarcl1(JAS)	Sarcl2(JAS)	Sarcl3(JAS)	ETR/ETMc		
1	7	3.6	35.00	haut de pente	sorgho	grattage	13/5/97	11/5/97	14/5/97	28	23	76	102	70	
2	19	2.7	100.00	bas de pente	sorgho	grattage	13/5/97	11/5/97	14/5/97	0	21	47	73	77	
3	7	3.6	30.00	haut de pente	sorgho	labour	21/6/97	22/6/97	26/6/97	49	13	61	-	72	
4	1	4.0	50.00	bas de pente	sorgho	scarifiage	13/5/97	14/5/97	16/97	7	24	51	87	78	
5	4	3.3	90.00	mi-pente	sorgho	scarifiage	18/5/97	18/5/97	19/5/97	0	37	73	98	77	
6	3	2.3	100.00	mi-pente	sorgho	labour	13/5/97	14/5/97	16/5/97	0	35	93	-	80	
7	8	2.4	100.00	bas de pente	sorgho	labour	13/5/97	14/5/97	15/5/97	19	36	63	97	77	
8	4	2.5	50.00	bas de pente	sorgho	labour	28/5/97	28/5/97	3/6/97	2	22	56	-	78	
9	3	4.7	100.00	mi-pente	sorgho	scarifiage	18/5/97	28/5/97	28/5/97	0	21	61	85	78	
10	5	3.6	50.00	mi-pente	sorgho	scarifiage	13/5/97	14/5/97	15/5/97	1	36	69	101	74	
11	3	6.7	100.00	bas de pente	sorgho	labour	18/5/97	18/5/97	20/5/97	7	32	64	98	80	
12	5	2.8	100.00	haut de pente	sorgho	scarifiage	13/5/97	17/5/97	31/5/97	113	22	45	79	78	
13	4	2.8	40.00	bas de pente	sorgho	grattage	13/5/97	28/5/97	29/5/97	27	19	63	91	72	
14	2	1.5	100.00	bas de pente	sorgho	grattage	13/5/97	14/5/97	20/5/97	9	14	56	110	80	
15	4	2.8	35.00	mi-pente	sorgho	Labour	2/6/97	5/6/97	6/6/97	1	22	55	91	76	
16	7	4.0	100.00	bas de pente	sorgho	scarifiage	21/6/97	22/5/97	26/6/97	0	27	50	-	86	
17	22	3.5	25.00	mi-pente	sorgho	grattage	13/5/97	14/5/97	15/5/97	53	43	71	113	70	
18	3	3.0	27.00	haut de pente	sorgho	scarifiage			19/5/97	19	53	84	-	74	
19	4	5.0	48.00	haut de pente	sorgho	grattage	2/6/97	14/5/97	3/6/97	131	29	62	90	78	
20	4	4.5	100.00	bas de pente	sorgho	grattage	13/5/97	14/5/97	14/5/97	1	22	58	102	77	
21	2	3.0	72.00	mi-pente	sorgho	grattage	13/5/97	14/5/97	28/5/97	0	23	60	89	80	
22	4	6.5	100.00	mi-pente	sorgho	Scarifiage	18/5/97	18/5/97	26/6/97	9	22	38	67	86	
23	5	4.6	40.00	haut de pente	mil	grattage	19/5/97	18/5/97	19/5/97	14	32	58	111	74	
24	1.5	4.0	100.00	bas de pente	sorgho	scarifiage	13/5/97	14/5/97	3/6/97	0	27	51	76	83	
25	4	8.8	53.00	haut de pente	mil	scarifiage	13/5/97	14/5/97	28/5/97	19	13	49	78	77	
26	3	5.3	70.00	mi-pente	sorgho	Scarifiage	13/5/97	14/5/97	29/5/97	7	24	41	78	80	
27	3	1.3	50.00	haut de pente	sorgho	grattage	13/5/97	14/5/97	17/5/97	6	46	77	116	77	
28	2	3.0	100.00	haut de pente	sorgho	grattage	18/5/97		31/5/97	7	25	59	85	78	
29	3	2.7	100.00	mi-pente	sorgho	grattage	13/5/97	14/5/97	14/5/97	72	27	60	103	77	
30	4	3.8	35.00	mi-pente	sorgho	scarifiage	13/5/97	13/5/97	14/5/97	4	39	62	103	70	
31	1	5.0	100.00	mi-pente	sorgho	scarifiage	13/5/97	19/5/97	20/5/97	3	32	49	83	80	
32	3	1.3	50.00	haut de pente	mil	grattage	13/5/97	17/5/97	24/5/97	2	54	87	120	76	
33	2	3.0	100.00	Haut de pente	sorgho	grattage	13/5/97	14/5/97	1/6/97	14	13	37	82	83	
34	3	3.0	60.00	mi-pente	sorgho	scarifiage	2/6/97	2/6/97	3/6/97	25	26	71	94	82	
35	4	4.5	100.00	mi-pente	sorgho	Scarifiage	18/5/97	18/5/97	29/5/97	4	21	46	89	78	
36	2	1.5	50.00	haut de pente	sorgho	scarifiage	18/5/97	19/5/97	1/7/97	1	30	55	-	84	
37	3	4.0	40.00	haut de pente	mil	grattage	13/5/97	14/5/97	14/5/97	0	28	82	102	70	
38	6	3.8	100.00	mi-pente	sorgho	scarifiage	13/5/97	13/5/97	14/5/97	126	33	80	108	77	
39	6	3.8	100.00	mi-pente	mil	scarifiage	2/6/97	3/6/97	3/6/97	1	24	42	94	83	

Tableau 2 : (suite : 1998)

Numéro	Varirables de rendements					Composantes du rendement				
	PMG(g)	Nbregr/m ²	Rdgr(t/ha)	RDTPl(t/ha)	Nppts recolte	Rec/Sem	p.pleines(NP)	Pnppl/(Pnttal)		
1	21.8	5326	1.16	2.40	24400	60.00	4.04	0.99		
2	21.9	2465	0.54	1.60	24400	68.00	2.80	0.95		
3	22.4	5357	1.20	2.60	31200	47.00	6.56	0.99		
4	28.7	7108	2.04	4.80	37600	90.00	4.84	1.00		
5	28.7	9344	2.68	7.80	31200	87.00	5.48	1.00		
6	26.3	2743	0.72	1.60	24800	74.00	3.48	0.96		
7	23.9	3347	0.80	2.40	19600	63.00	3.76	1.00		
8	27.3	8355	2.28	6.60	34400	62.00	8.68	0.91		
9	22.9	3851	0.88	3.20	23600	76.00	3.00	0.85		
10	24.4	8368	2.04	8.00	23600	66.00	8.08	0.94		
11	25.2	10083	2.54	5.80	32800	92.00	7.64	1.00		
12	20.2	3165	0.64	2.00	32000	90.00	3.64	0.88		
13	21.5	3623	0.78	2.60	22800	64.00	3.40	1.00		
14	24.9	883	0.22	0.60	23200	42.00	2.00	0.89		
15	24.7	3964	0.98	3.80	26000	83.00	6.16	1.00		
16	24.1	8067	1.94	4.00	27200	76.00	7.00	0.95		
17	24.5	4822	1.18	3.40	17200	48.00	4.04	0.94		
18	27.5	4580	1.26	3.80	18800	60.00	3.24	0.99		
19	20.4	8542	1.74	5.00	36400	91.00	7.44	0.95		
20	28.8	9365	2.70	5.60	30400	85.00	6.52	0.99		
21	26.1	7271	1.90	5.00	34800	100	5.76	0.93		
22	24.3	2140	0.52	1.20	25600	50.00	1.96	0.88		
23	26.8	5456	1.46	6.00	24800	60.00	4.80	0.98		
24	24.4	2128	0.52	1.20	24800	70.00	2.64	0.89		
25	23.2	4310	1.00	3.00	35200	100	6.64	1.00		
26	26.7	12528	3.34	10.00	30000	80.00	8.40	0.98		
27	22.1	1903	0.42	2.20	21600	70.00	3.72	0.94		
28	23.6	1271	0.30	1.00	24800	70.00	1.88	0.80		
29	20.8	1248	0.26	1.40	21200	70.00	2.56	0.98		
30	25.1	4230	1.06	2.40	33200	100.00	6.72	1.00		
31	23.0	5309	1.22	3.00	38800	100.00	5.04	0.86		
32	22.9	1921	0.44	1.80	34800	100.00	3.68	0.90		
33	21.8	4581	1.00	1.80	29200	50.00	5.52	0.94		
34	27.5	2767	0.76	1.20	22000	50.00	1.32	1.00		
35	24.26	6925	1.68	3.20	32400	90.00	5.44	0.90		
36	22.3	628	0.14	0.60	30000	80.00	2.88	0.76		
37	18.0	666	0.12	0.40	35600	90.00	2.72	0.82		
38	22.5	4096	0.92	3.40	27200	70.00	5.20	1.00		
39	23.3	1803	0.42	1.20	25200	60.00	3.80	0.92		

Tableau 2 : (suite 1998)

N°	Superficie	actif/ha	profondeur	topo-séquence	précédent	travail du sol	Dern.Pluie	D Wsol	Dte semis	Striga(m2)	Sare11(JAS)	Sare12(JAS)	Sare13(JAS)	ETR/ETMc
40	3	2.0	100.00	haut de pente	sorgho	grattage	13/5/97	14/5/97	28/5/97		24	53	83	78
41	1	6.0	18.00	haut de pente	sorgho	grattage		18/5/97	4/7/97		11	36	77	82
42	5	5.8	100.00	mi-pente	mil	grattage	13/5/97	14/5/97	14/5/97	1	8	36	69	77
43	6	2.3	37.00	mi-pente	sorgho	scarifiage	13/5/97	14/5/97	14/5/97	50	36	52	91	70
44	6	2.8	100.00	mi-pente	sorgho	scarifiage	13/5/97	13/5/97	14/5/97	0	28	55	103	77
45	2	6.0	25.00	haut de pente	mil	scarifiage	13/5/97	13/5/97	14/5/97	0	46	82	111	70
46	5	2.4	35.00	mi-pente	sorgho	scarifiage	13/5/97	14/5/97	14/5/97	51	33	62	96	70
47	5	1.2	100.00	haut de pente	sorgho	grattage	13/5/97	17/5/97	16/5/97	48	57	87	124	80
48	2	3.5	100.00	mi-pente	mil	scarifiage	20/5/97	21/5/97	22/5/97	0	22	44	91	79
49	2	2.5	70.00	mi-pente	sorgho	grattage	13/5/97	15/5/97	15/6/97	5	10	37	75	73
50	5	5.2	40.00	haut de pente	mil	labour	28/5/97	28/5/97	8/6/97	1	37	62	99	76
51	3	4.0	50.00	haut de pente	sorgho	scarifiage	18/5/97	19/5/97	28/5/97	17	23	46	66	77
52	5	3.4	100.00	mi-pente	sorgho	labour		26/5/97	9/7/97	27	27	-	-	88
53	3	4.3	100.00	mi-pente	sorgho	grattage	2/6/97	2/6/97	3/6/97	2	35	71	110	83
54	2.5	2.0	100.00	mi-pente	mil	grattage	13/5/97	14/5/97	14/5/97	43	20	57	110	77
55	4	3.5	100.00	bas de pente	sorgho	grattage	13/5/97	15/5/97	3/6/97	9	12	44	83	83
56	3	5.0	37.00	bas de pente	sorgho	grattage	21/6/97	22/6/97	22/6/97	2	18	43	72	81
57	4	8.0	100.00	bas de pente	sorgho	scarifiage	21/6/97	22/6/97	23/6/97	1	31	58	-	87
58	2	5.0	100.00	mi-pente	sorgho	grattage	13/5/97	14/5/97	29/5/97	21	20	57	85	78
59	2	4.0	25.00	mi-pente	sorgho	scarifiage	13/5/97	14/5/97	9/6/97	0	14	38	72	76
60	2	5.0	100.00	bas de pente	mil	grattage	13/5/97	15/5/97	24/5/97	38	35	64	110	79
61	3	4.7	100.00	mi-pente	sorgho	Scarifiage	13/5/97	14/5/97	28/5/97	1	11	55	79	78
62	2	7.0	100.00	Bas de pente	sorgho	grattage	2/6/97	28/5/97	3/6/97	0	24	48	76	83
63	3.5	5.1	100.00	mi-pente	sorgho	scarifiage		22/6/97	2/7/97	0	19	41	-	89
64	5	4.2	100.00	Bas de pente	sorgho	scarifiage	13/5/97	14/5/97	29/5/97	0	12	56	97	78
65	2	5.0	60.00	mi-pente	mil	scarifiage	18/5/97	18/5/97	20/5/97	2	44	78	116	77
66	4	4.3	52.00	mi-pente	sorgho	grattage		1/6/97	3/6/97	0	22	40	83	78
67	2	4.0	70.00	mi-pente	mil	grattage	31/5/97	28/5/97	1/6/97	1	24	71	94	82
68	5	2.8	100.00	mi-pente	mil	grattage	13/5/97	13/5/97	29/5/97	0	29	62	96	78
69	4	2.3	50.00	mi-pente	mil	grattage		28/5/97	3/6/97	0	32	70	-	78
70	3	5.0	80.00	bas de pente	mil	scarifiage	8/6/97	8/6/97	9/6/97	1	31	56	93	81
71	5	2.0	25.00	mi-pente	mil	scarifiage	13/5/97	13/5/97	28/5/97	52	26	62	83	72
72	3	3.7	70.00	mi-pente	mil	scarifiage	13/5/97	13/5/97	29/5/97	61	24	60	81	80
73	4	3.5	35.00	haut de pente	mil	labour	14/5/97	14/5/97	18/5/97	22	48	84	111	74
74	3	3.0	60.00	haut de pente	mil	labour	1/7/97	2/7/97	3/7/97	45	23	46	71	87

Tableau 2 : suite 1998

N°	PMG(g)	Ngr/m ²	Rdtg(€/ha)	Rdtp(€/ha)	pgts recolte	Rec/Sem	p.pleines(NP)	Pnppl/(Pnttal)
40	21.0	2378	0.50	0.80	25600	70.00	3.96	1.00
41	17.8	3268	0.58	1.40	23200		4.04	0.95
42	22.8	6480	1.48	6.00	41200	70.00	10.52	0.97
43	26.1	5745	1.50	6.00	35200	100.00	7.72	0.97
44	24.3	11203	2.72	9.40	38400	100.00	7.44	1.00
45	26.0	1922	0.50	4.80	29200	80.00	4.80	0.87
46	23.1	5541	1.28	2.60	36800	60.00	7.24	0.95
47	25.5	4554	1.16	4.60	32800	80.00	6.08	0.99
48	22.3	2512	0.56	1.60	32000	80.00	4.88	0.95
49	25.2	5644	1.42	4.20	27200	80.00	5.00	0.93
50	29.0	7461	2.16	4.80	23200	60.00	4.60	1.00
51	19.2	7804	1.50	3.80	29600	80.00	6.56	1.00
52	20.9	1918	0.40	1.20	24800	70.00	2.56	0.69
53	22.5	3026	0.68	1.80	30400	100.00	3.76	0.90
54	23.6	3141	0.74	2.40	19200		3.76	0.98
55	23.9	6868	1.64	4.60	32000		5.08	0.91
56	19.4	620	0.12	0.80	34000		3.92	0.92
57	20.7	3380	0.70	2.00	16000	40.00	2.68	1.00
58	23.3	3524	0.82	2.40	20400		5.04	0.98
59	28.6	3775	1.08	2.80	25600	80.00	2.72	0.87
60	19.3	1455	0.28	1.20	28800	80.00	2.96	1.00
61	25.7	2721	0.70	1.60	23600	60.00	3.08	1.00
62	25.7	8949	2.30	5.00	31600		5.88	0.98
63	22.6	2473	0.56	1.60	29600	70.00	4.44	0.95
64	23.5	3149	0.74	2.00	23200	60.00	3.04	0.95
65	23.8	505	0.12	0.60	15600	40.00	1.92	0.80
66	22.7	968	0.22	0.80	32400	90.00	4.04	0.94
67	21.3	751	0.16	0.60	23200	80.00	2.96	0.90
68	24.5	4731	1.16	2.80	21200	70.00	2.92	0.88
69	23.5	4350	1.02	2.40	22000	70.00	2.92	0.99
70	22.7	530	0.12	0.60	23200	60.00	2.80	0.73
71	22.5	2671	0.60	2.00	34800	100.00	5.00	1.00
72	21.8	1837	0.40	1.00	18400	40.00	2.44	0.92
73	21.9	4015	0.88	2.80	24800	70.00	6.28	0.98
74	18.5	2060	0.38	1.80	25200	70.00	4.36	0.90

ANNEXE II-2 Tableau 3 : Résultats de l'étude sur les parcelles en station.(1997 et 1998)

Trsol	Blocs	Dsem97	Dsem98	PMG97	PMG98	RDTgr97	RDTgr98	Npn/ha97	Npn/ha98	DRTp197	Ng97	Ng98	RDTp198	NGP97	NGP98	Date flor
grattage-1	1	09-juin	14-mai	21.6	21.7	1.74	1.22	32452	20700	6.01	8068	5599	7.75	1243	1352	02-sept
grattage-1	2	09-juin	14-mai	22.7	22.2	1.62	1.54	30048	27778	5.41	7148	6919	8.44	1189	1245	04-sept
grattage-1	3	09-juin	14-mai	22	24.1	1.80	2.22	31250	31116	4.81	8195	9199	11.51	1311	1478	04-sept
grattage-1	4	09-juin	14-mai	22.2	22	1.85	1.20	28846	25908	4.81	8338	5464	6.68	1445	1054	02-sept
grattage-1	5	09-juin	14-mai	21.3	18	0.90	0.33	24639	12019	4.81	4232	1856	4.81	859	772	04-sept
grattage-2	1	17-juin	22-juin	19.4	24.1	1.68	1.62	33053	24439	6.01	8674	5353	7.72	1312	1095	06-sept
grattage-2	2	17-juin	22-juin	22.6	24.1	1.68	1.62	21635	25908	4.81	7446	6705	8.68	1721	1294	05-sept
grattage-2	3	17-juin	22-juin	22.9	23	2.40	1.23	30048	27244	4.81	10497	5343	6.84	1747	981	04-sept
grattage-2	4	17-juin	22-juin	19.5	22.2	1.62	1.26	30649	28045	4.45	8321	5653	7.21	1325	1008	03-sept
grattage-2	5	17-juin	22-juin	21.8	22.7	1.56	0.53	27043	15625	3.61	7167	2352	3.47	1325	753	04-sept
RS8-1	1	09-juin	14-mai	22.1	22.6	1.74	1.27	29447	25507	4.81	7886	5615	7.61	1101	1101	04-sept
RS8-1	2	09-juin	14-mai	25	24.3	2.10	1.52	32452	25374	5.41	8413	6263	8.81	1296	1234	04-sept
RS8-1	3	09-juin	14-mai	23.1	24.1	1.26	1.24	28846	19631	3.61	5463	5154	6.52	947	1313	04-sept
RS8-1	4	09-juin	14-mai	23	22.1	1.20	1.04	28245	22302	3.61	5226	4715	5.88	925	1057	01-sept
RS8-1	5	09-juin	14-mai	21.8	23.1	1.50	0.98	30649	18830	3.61	6892	4221	4.81	1124	1121	02-sept
RS8-2	1	17-juin	22-juin	22.9	23.6	1.80	1.40	33053	25908	6.01	7873	5941	8.07	1191	1146	08-sept
RS8-2	2	17-juin	22-juin	23	23.6	1.44	1.34	28846	24439	5.41	6271	5661	7.51	1087	1158	05-sept
RS8-2	3	17-juin	22-juin	21.3	22.7	2.16	2.04	34856	32986	4.81	10157	9000	8.95	1457	1364	07-sept
RS8-2	4	17-juin	22-juin	23.3	23.2	1.80	1.08	30048	22703	4.81	7738	4664	7.11	1288	1027	06-sept
RS8-2	5	17-juin	22-juin	22.5	21.5	1.56	0.88	21034	18429	4.21	6944	4098	3.37	1651	1112	29-sept
Scarifiage1	1	09-juin	14-mai	22.4	23.1	1.38	1.14	28245	24172	4.21	6171	4913	8.55	1092	1016	06-sept
Scarifiage1	2	09-juin	14-mai	23.1	22.9	1.92	1.92	28846	34722	6.61	8325	8397	10.82	1443	1209	02-sept
Scarifiage1	3	09-juin	14-mai	23.3	23	1.68	1.60	25841	29113	5.41	7222	6970	10.20	1397	1197	03-sept
Scarifiage1	4	09-juin	14-mai	21.7	22.4	2.16	1.36	37260	27911	5.41	9970	6080	8.44	1338	1089	04-sept
Scarifiage2	1	17-juin	22-juin	22.3	22.6	1.80	1.31	31250	30716	4.81	8085	5792	8.15	1294	943	03-sept
Scarifiage2	2	17-juin	22-juin	24.3	22.8	1.68	1.26	33654	24840	5.41	6925	5504	7.83	1029	1108	09-sept
Scarifiage2	3	17-juin	22-juin	22.8	24.5	1.86	2.34	33654	29781	4.81	8171	9539	12.42	1214	1601	02-sept
Scarifiage2	4	17-juin	22-juin	24	23.1	1.86	1.12	19832	17094	4.81	7762	4857	5.61	1957	1421	06-sept
Scarifiage2	5	17-juin	22-juin	18.4	22.7	1.44	1.51	33654	27244	4.81	7839	6648	6.95	1165	1421	08-sept
Scarifiage3	1	04-juil	09-juil	17.8	22.7	1.68	1.04	21635	24306	3.61	7446	4590	8.01	1721	944	07-sept
Scarifiage3	2	04-juil	09-juil	20.2	22.2	1.20	1.10	25841	24038	3.61	6752	4824	7.69	1307	1003	14-sept
Scarifiage3	3	04-juil	09-juil	21.2	22.1	2.40	1.03	18029	10817	4.21	7735	4505	3.21	2145	2082	08-sept
Scarifiage3	4	04-juil	09-juil	19.3	22.5	2.16	1.19	28245	20433	4.81	11210	4652	4.84	2007	1300	06-sept
Scarifiage3	5	04-juil	09-juil	19.9	22.9	1.80	1.67	25841	26309	3.61	9060	7288	7.88	1753	1385	11-sept
labour2	1	17-juin	22-juin	22	23	1.20	1.54	30649	27778	4.81	5463	6678	9.42	891	1202	13-sept
labour2	2	17-juin	22-juin	22.5	23.1	1.26	1.32	29447	27244	4.81	5609	5723	6.81	952	1050	06-sept
labour2	3	17-juin	22-juin	21.1	23.5	1.98	1.47	30048	39263	5.41	9399	6251	10.28	1564	796	02-sept
labour2	4	17-juin	22-juin	23.3	23.3	1.32	1.26	27043	27244	4.81	5674	5386	8.28	1049	989	08-sept
labour2	5	17-juin	22-juin	23.1	22.7	1.14	1.36	27644	25908	4.81	4943	6000	10.55	894	1158	06-sept
labour3	1	04-juil	09-juil	17.7	22.6	1.02	1.21	24639	15091	3.61	5772	5354	4.94	1171	1774	12-sept
labour3	2	04-juil	09-juil	20.6	22	1.22	1.20	33053	19765	5.41	10794	5455	4.33	1633	1380	21-sept
labour3	3	04-juil	09-juil	21.7	23.2	1.32	1.30	21635	22703	5.41	6093	5382	6.68	1408	1229	09-sept
labour3	4	04-juil	09-juil	22.6	22.7	2.16	1.23	29447	28178	4.81	9573	5414	8.23	1625	961	08-sept
labour3	5	04-juil	09-juil	23	21	1.38	1.34	22837	23771	3.61	6010	6362	7.48	1316	1338	11-sept

Annexe II-3 : Présentation du modèle Sarra.

De nombreux modèles de bilan hydrique existent, depuis Thorntwaite (1948). Ces modèles diffèrent entre eux par leur façon de représenter, puis d'ignorer ou de prendre en compte les phénomènes de transfert d'eau et d'énergie dans les relations climat-sol-plante. Ils n'ont pas le même domaine de validité, vu les mécanismes et paramètres qui sont considérés ou ignorés.

A titre d'exemple, on en cite un certain nombre et leurs grandes caractéristiques:

- Pour ce qui concerne la représentation des transferts d'eau dans le sol,
 - les modèles mécanistes (Lafolie 1991, Maraux et al 1998, ...), qui résolvent l'équation de Richards
 - les modèles multicouches (Ritchie 1985), qui considèrent le sol comme un empilement de couches aux propriétés différentes, qui percolent les unes dans les autres
 - les modèles qui considèrent le sol comme une couche uniforme (Chopart et Vauclin, 1990 ; Eldin et Lhomme, 1985 ; Franquin et Forest , 1977).

- Pour ce qui concerne les processus d'évapotranspiration,
 - les modèles qui ne séparent pas l'évaporation et la transpiration (Franquin et Forest, 1977, FAO,1977)
 - ceux qui séparent les deux phénomènes (Chopart et Vauclin, 1990).

- Pour ce qui concerne le comportement hydrique des cultures,
 - les modèles qui présentent une fonction unique de stress hydrique pour toutes les cultures (Franquin et Forest, 1977 ; Chopart et Vauclin 1990)
 - ceux qui individualisent des comportements spécifiques par rapport au stress hydrique d'espèces particulières (FAO 1977)

Le modèle BIP, repris par Forest et al. 1984 a été développé largement par le CIRAD Le modèle Sarra est un modèle dérivé du modèle BIP.. Il fonctionne sur les considérations suivantes, décrites dans le diagramme joint. (Figure 1) :

1) Stockage de l'eau :

C'est un modèle à réservoir, variable en fonction de l'avancée du front racinaire. La croissance du réservoir racinaire est plafonnée par la profondeur maximale d'enracinement. La réserve potentielle en eau est donnée au modèle par l'entrée de la réserve utile en mm/m.

Le modèle offre trois possibilités de prise en compte du système racinaire :

- 1° L'option « *front d'humectation* ». La croissance des racines ne peut se faire au-delà du front d'humectation.
- 2° L'option « *vitesse unique* ». La croissance des racines est estimée par une vitesse racinaire donnée (mm/jour) pour tout le cycle de la culture.
- 3° L'option « *trois phases* ». Elle permet de distinguer trois vitesses racinaires différentes au cours de trois phases du cycle.

Le réservoir racinaire draine dans le réservoir principal selon le principe suivant : lorsque l'eau de pluies ou d'irrigation apportée est supérieure à la capacité du réservoir racinaire l'excédent est drainé dans le réservoir principal. Le drainage est simulé de la même manière entre le réservoir principal et l'extérieur du système

2) Ruissellement

Le ruissellement peut être pris en compte de trois façons différentes :

- ruissellement nul,
- la méthode du seuil de ruissellement. On applique un taux de ruissellement à partir d'un seuil de pluviométrie.
 - Si $P_j \leq \text{seuil}$ $R_j = 0$,
 - Si $P_j > \text{seuil}$ $R_j = (\text{Ruis}\%) \times (P_j - \text{seuil})$.
- la méthode dite « ORSTOM ». Elle utilise une fonction qui utilise quatre paramètres pour le calcul du ruissellement :

$$R_j = A_1 \times P_j + A_2 \times I_{kj} + A_3 \times P_j \times I_{kj} + A_4$$

L'indice de pluie antérieure (I_{kj}) est défini par la relation récurrente :

$I_{kj} = 0,606(I_{kj-1} + P_{j-1})$, qui permet de prendre en compte l'état d'humectation de la surface du sol au moment où une nouvelle pluie arrive.

Les coefficients peuvent être choisis de dans le tableau ci-dessous quand on n'a pas fait de mesure de terrain pour les déterminer.

	Ruissellement faible	Ruissellement moyen	Ruissellement fort
A1	0,200	0,350	0,900
A2	0,030	0,040	0,050
A3	0,004	0,004	0,002
A4	3,000	3,000	10,000

3) La culture,

Pour chaque type de culture, les coefficients culturaux sont définis en fonction de la longueur du cycle et de l'espèce. C'est l'un des points importants de différence avec le modèle de Franquin et Forest, (1997),

4) Module d'évaporation du sol

L'évaporation potentielle du sol est calculée selon l'équation $ETS = m \times ETP$

m est un coefficient d'abattement (auto mulch) . Il est fixé à 0,7, mais peut être modifié.

L'évaporation réelle du sol, $ES = \text{Min}(\text{Stocksurf}(j+1) ; \text{Hrsurf}(j+1) \times EPS)$

Avec : $\text{Stocksurf}(j+1) = \text{Min}(\text{Rusurf} ; \text{Stocksurf}(j) + \text{pluie} + \text{irrig} - \text{LR})$,

$\text{Hrsurf}(j+1) = \text{Stocksurf}(j+1) / \text{Rusurf}$.

Dans le cas des études du bilan hydrique pour la satisfaction des besoins en eau des cultures, la réserve minimale de départ est calculée sur les 20 premiers centimètres. Dans les cas du calcul pour la détermination des jours disponibles pour le travail du sol (notre étude), la valeur du réservoir a été modifiée à 10 cm (pour le scarifiage) et à 5 cm (pour le labour) ,selon l'opération de travail du sol que l'on étudie, (voir schéma figure2)

5) La confrontation de l'offre en eau et la demande climatique

Elle est faite par la fonction polynomiale d'Eagleman (1971) modifiée par Vaksman (1989), L'évapotranspiration est alors calculée en fonction du coefficient cultural, de l'ETP journalier et du taux de remplissage de la réserve racinaire du sol, $EPC = kc \times ETP$

La consommation réelle de la culture (ETR1) est :

$ETR1 = EPC \times \text{EAGLEMAN}(\text{HR}, \text{ETP})$

Avec HR : comme taux de remplissage du réservoir racinaire.

La simulation est faite sur un pas de temps journalier, et le modèle regroupe les résultats sur des pas de temps pentadaires, décadaires, sur des phases du cycle, ou sur tout le cycle,

6) Gestion des entrées / sorties

Le modèle Sarra a en outre l'avantage de pouvoir utiliser une base donnée importante, Il peut permettre de faire des études sur des dizaines années, Plusieurs paramètres de sortie peuvent être obtenus (évaporation, le ruissellement, l'etp, l'etr, la réserve hydrique du sol)

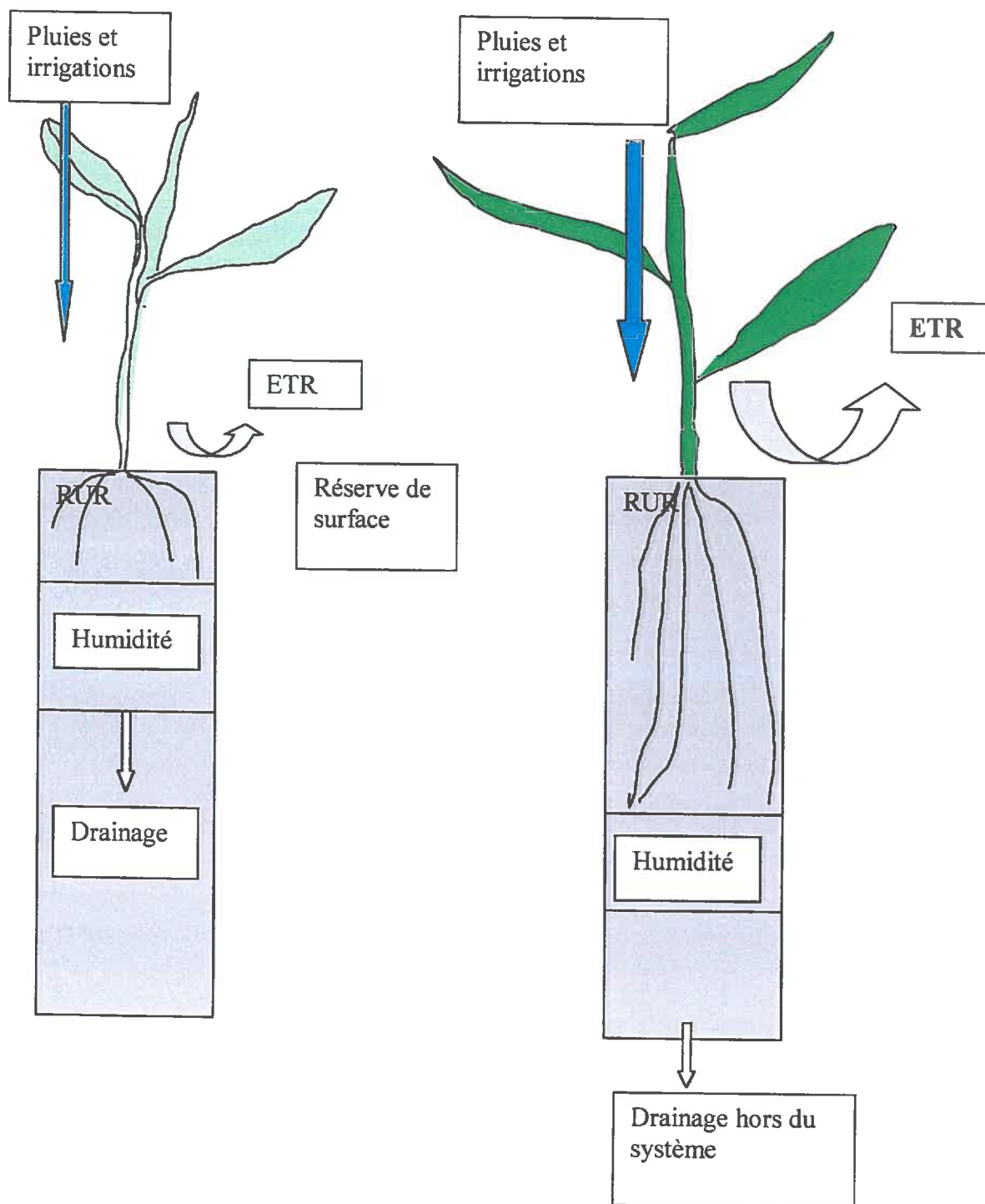
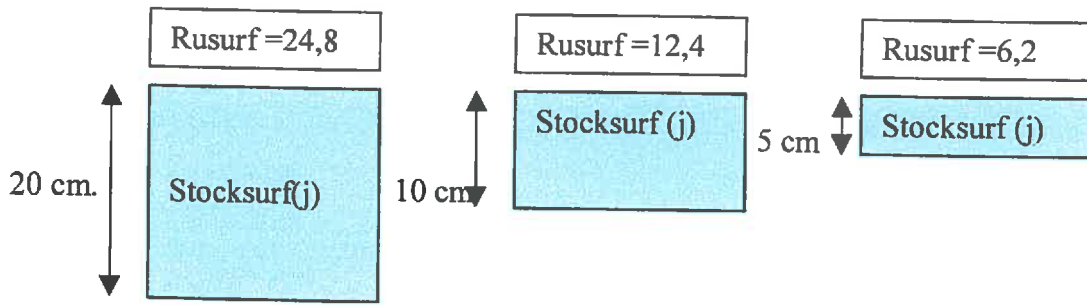


Figure 1 : Schéma du modèle de fonctionnement de SARRABIL,



$$\text{Stocksurf}(j+1) = \text{Min}(\text{Rusurf} ; \text{Stocksurf}(j) + \text{Pluie} + \text{irrig} - \text{LR}).$$

$$\text{Hrsurf}(j+1) = \text{Stocksurf}(j+1) / \text{Rusurf}.$$

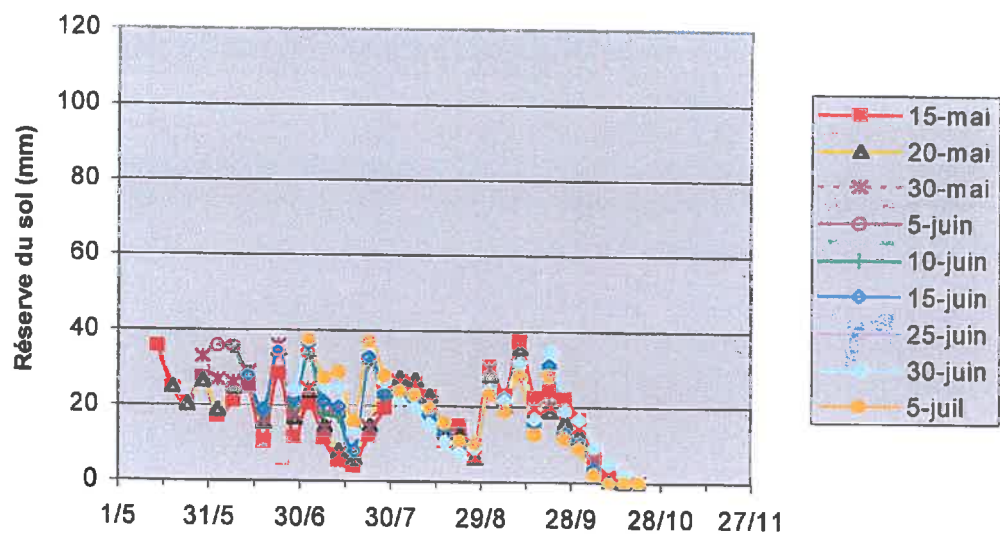
Hrsurf(j+1) est le taux de remplissage du réservoir de surface.

Figure 2 : Réservoirs de surface utilisés pour l'étude

En début de cycle le réservoir de surface est comparé au réservoir racinaire et la valeur supérieure est prise en compte. Car l'évaporation est sous estimée par les calculs fait par l'algorithme d'Eagleman. Cela permet d'avoir de ETR assez important en début de cycle.

Dans le cadre de la détermination des jours disponibles on intervient avant la mise en place de la culture. Le travail est fait essentiellement sur le réservoir de surface car le réservoir racinaire n'est pas en place. Notre réservoir de surface varie en fonction de la profondeur de sol considéré pour le travail du sol. Pour le labour il est de 20 cm, pour le scarifiage il est de 10 cm et de 5 cm pour le grattage manuel à la Daba.

Evolution de la réserve du sol par date de semis en 1997 RU 40 mm



Evolution de la réserve du sol par date de semis en 1998 RU 40 mm

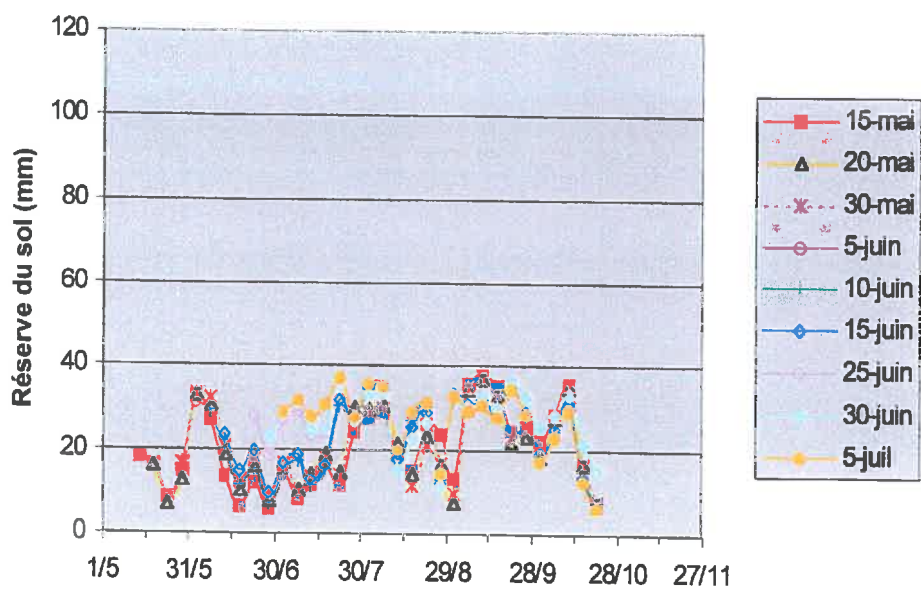
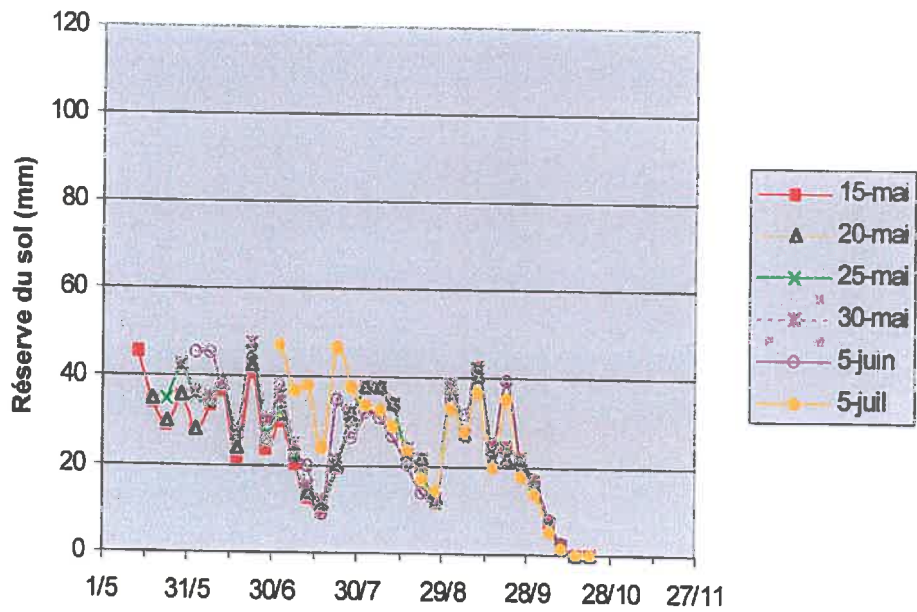


Figure 1 : Evolution de la réserve du sol par date de semis en 1997 et 1998 RU= 40 mm.

Evolution de la réserve du sol par date de semis en 1997 RU 50



Evolution de la réserve du sol par date de semis en 1998 RU 50

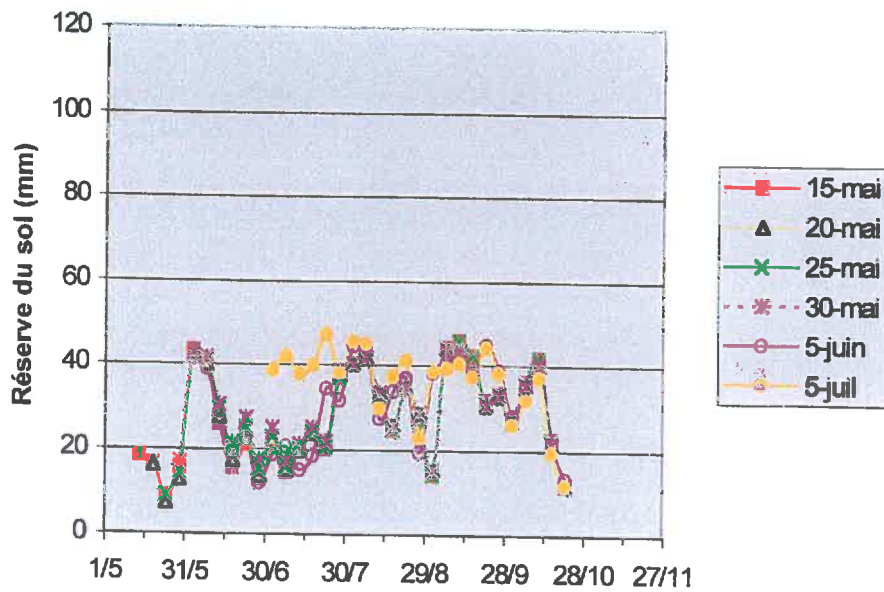
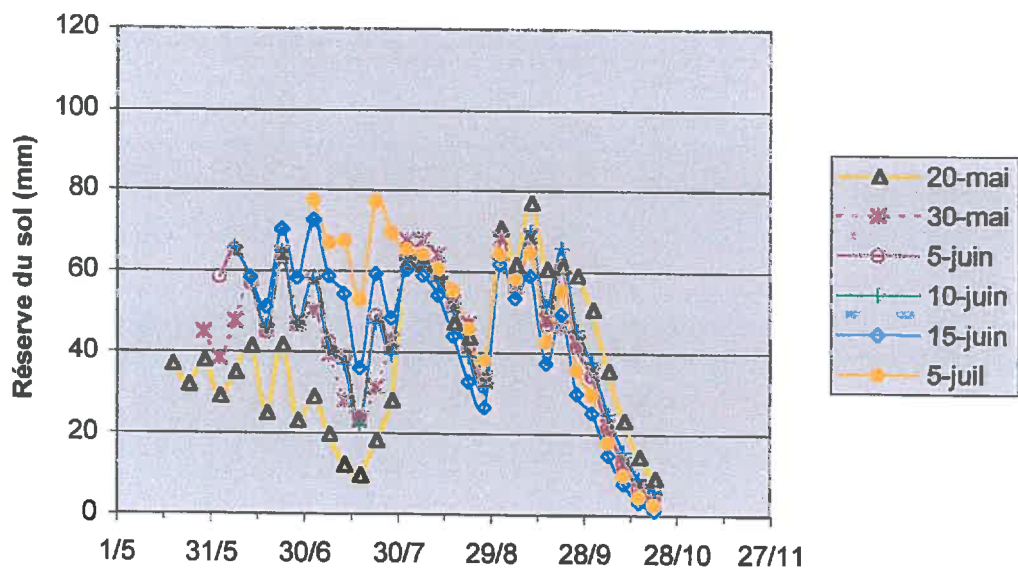


Figure 2 : Evolution de la réserve hydrique par date de semis en 1997 et 1998.
RU = 50 mm.

Evolution de la réserve du sol par date de semis en 1997 RU 80
mm



Evolution de la réserve du sol par date de semis en 1998 RU 80
mm

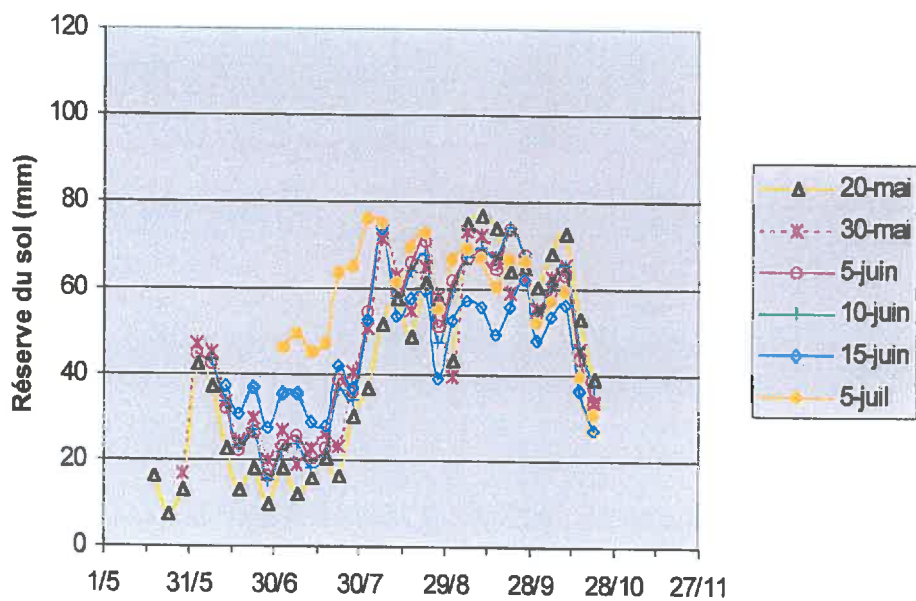
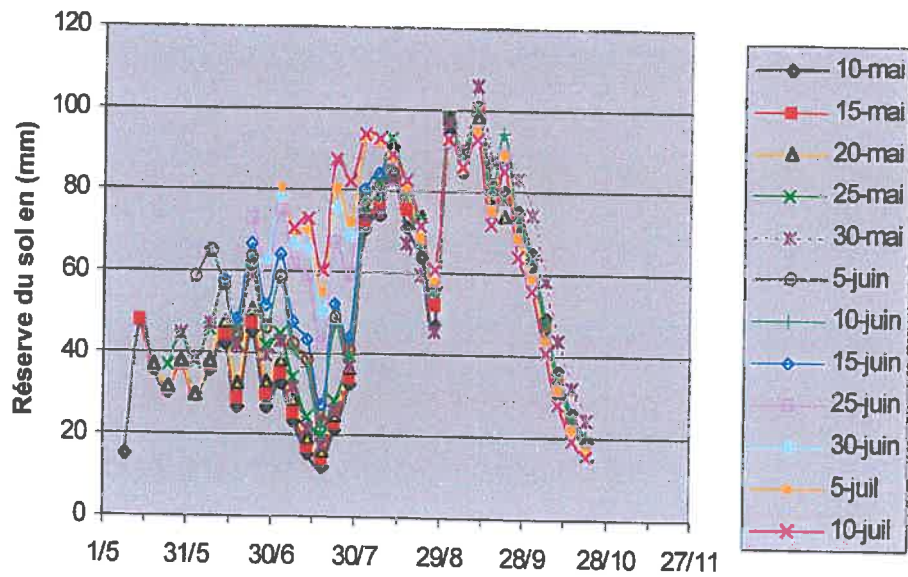


Figure 3 : Evolution de la réserve du sol par date de semis en 1997 et 1998
. RU = 80

Evolution de la réserve du sol par date de semis en 1997 RU 110 mm



Evolution de la réserve du sol par date de semis en 1998 RU 110 mm

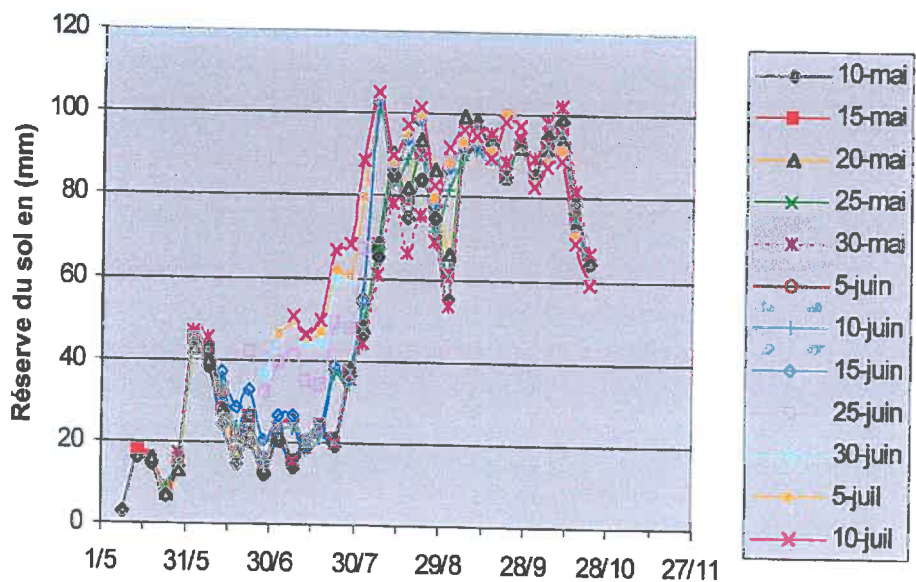


Figure 4 : Evolution de la réserve hydrique par date de semis en 1997 et 1998. RU = 110 mm.

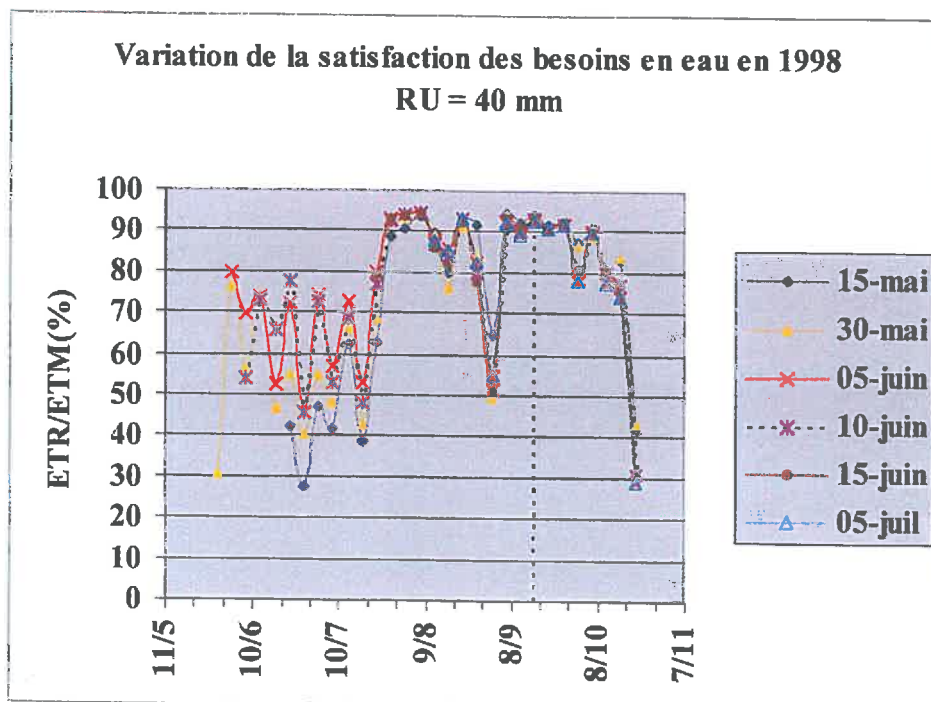
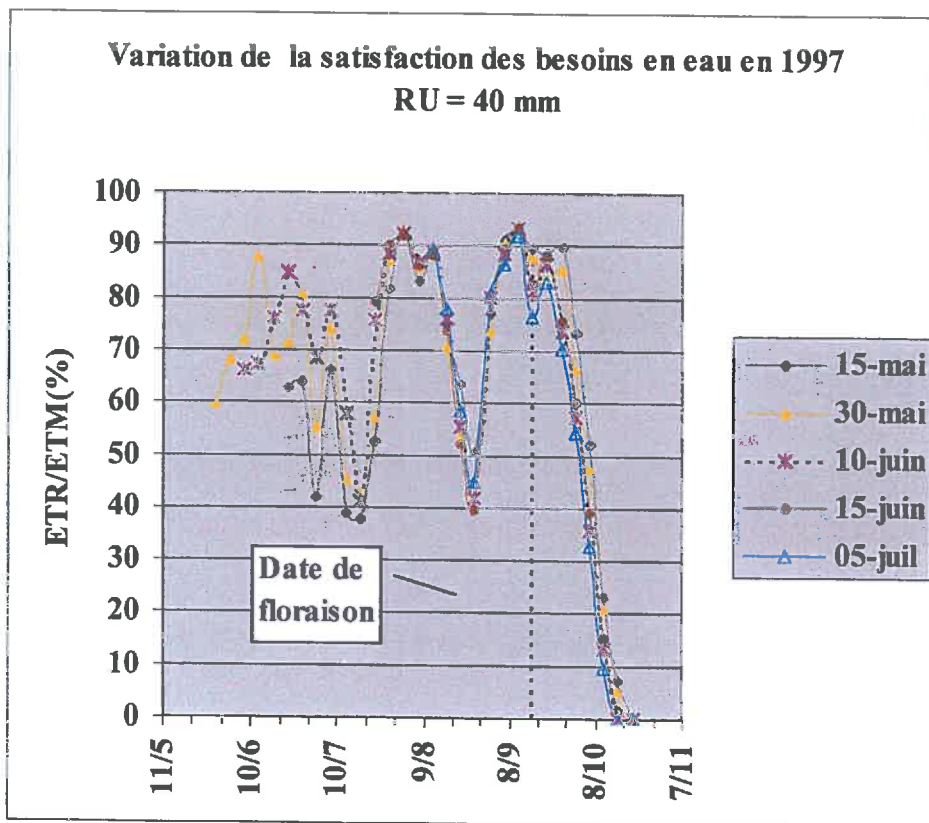


Figure 5 : Variation de la satisfaction des besoins en eaux en 1997 et 1998 par dates de semis. RU = 40 mm.

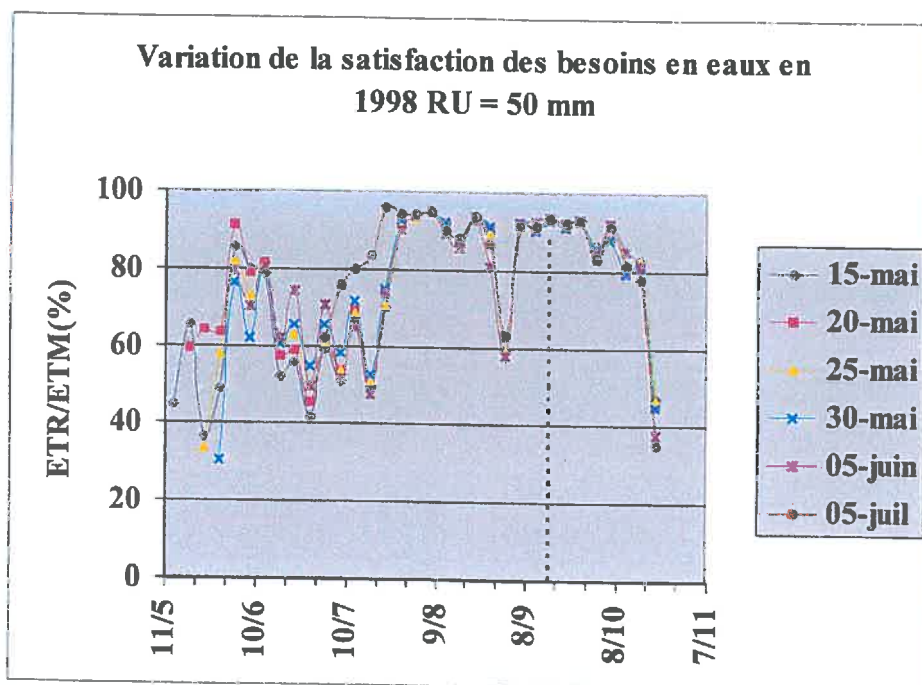
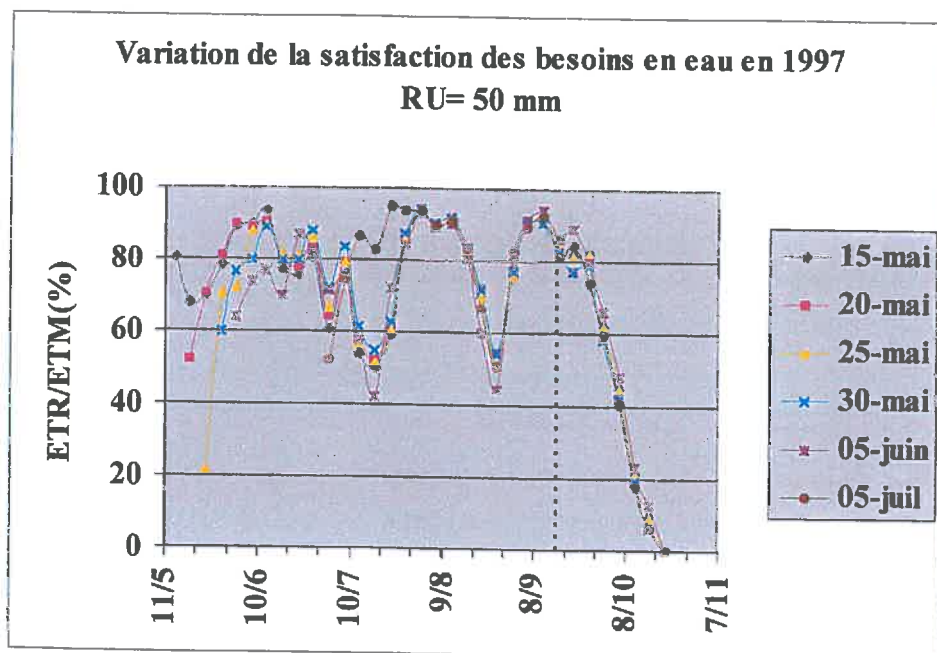


Figure 6 : Variation de la satisfaction des besoins en eau en 1997 et 1998 par dates de semis. RU = 50 mm.

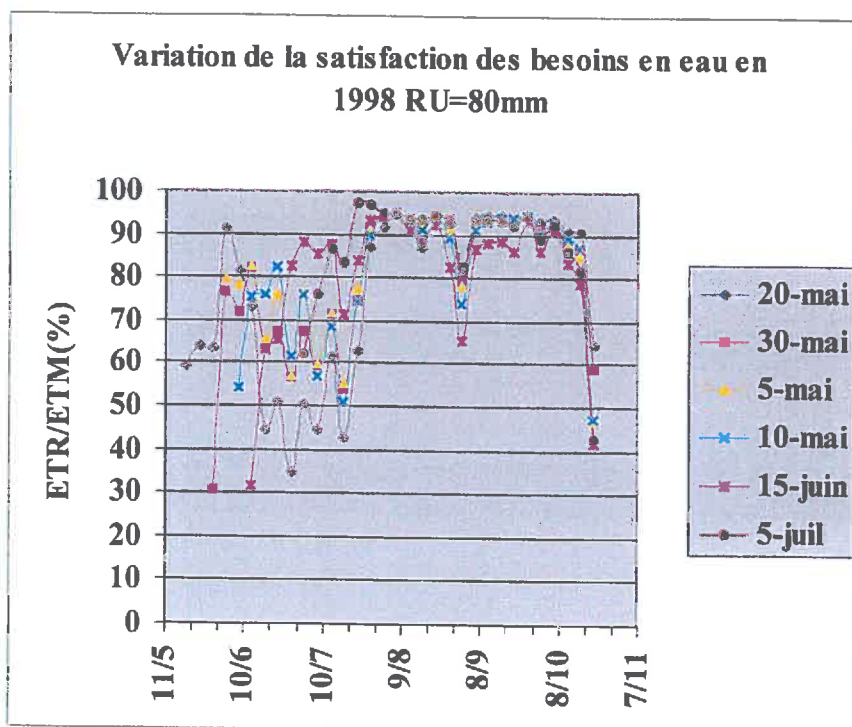
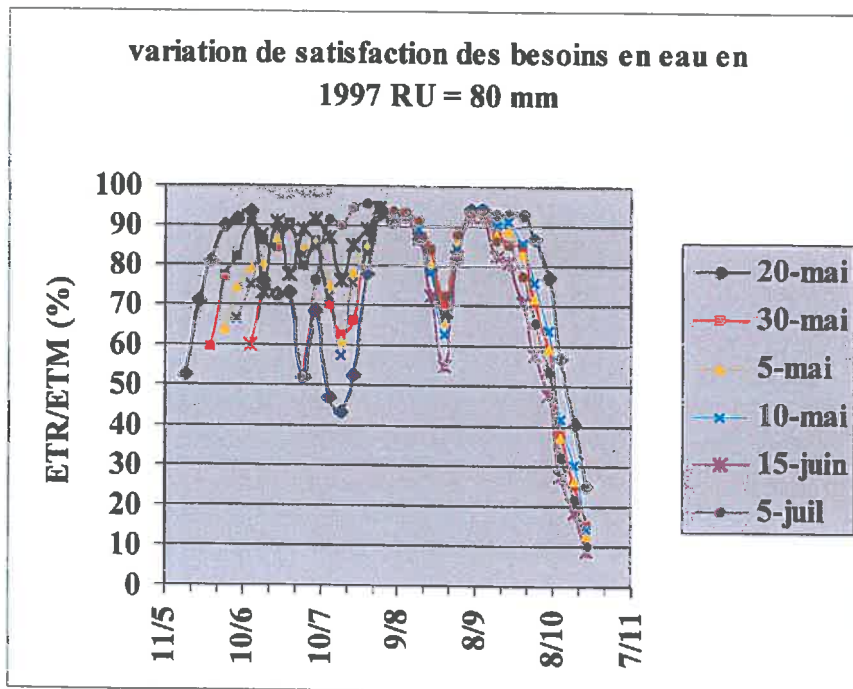


Figure 7 : Variation de la satisfaction des besoins en eaux en 1997 et 1998 par dates de semis. RU = 80 mm.

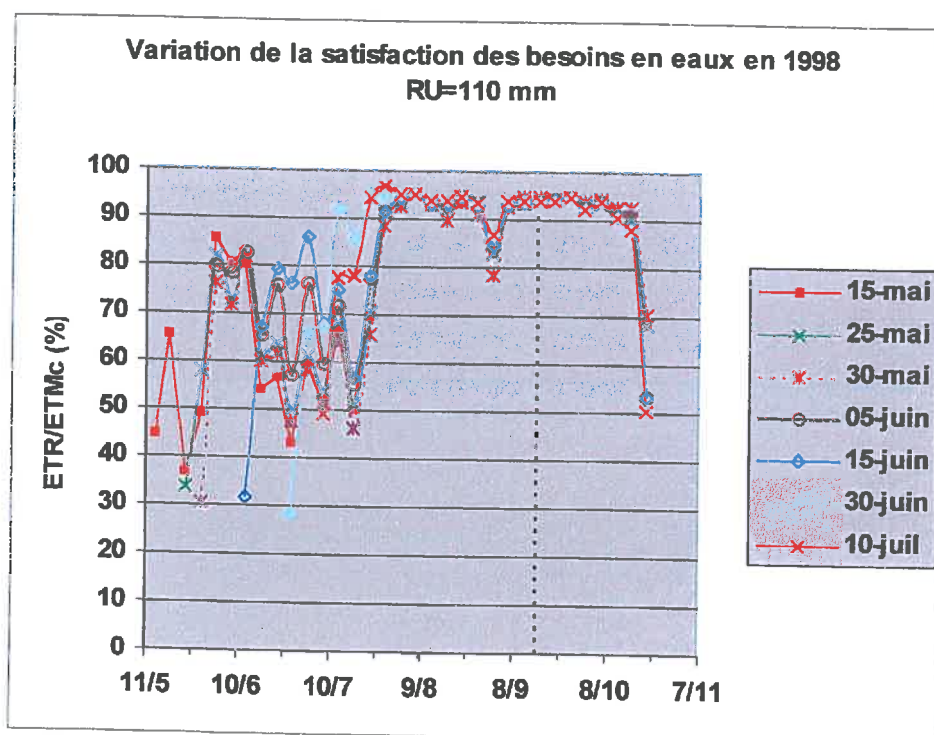
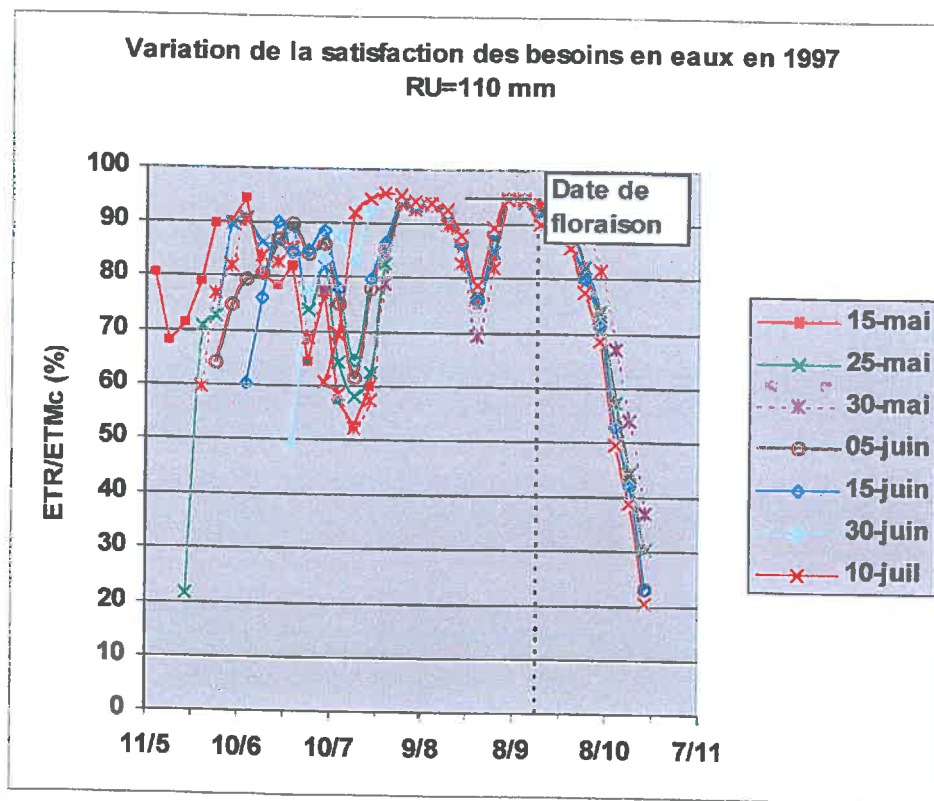


Figure 8 : Variation de la satisfaction des besoins en eaux en 1997 et 1998 par dates de semis. RU = 110 mm.

ANNEXE III

Ce document annexe montre la différence que l'on peut avoir entre la réalisation du labour en Station à 15 cm (photo 1) et le labour en milieu paysan à une profondeur de 11 cm (photo 2). Les mottes en surface sont potentiellement plus grosses pour le labour profond. Sous un climat où les pluies sont violentes les grosses mottes sont favorables à une meilleure infiltration et luttent ainsi contre l'érosion. Il faut remarquer que le labour en station est fait dans de bonnes conditions d'humidité du sol. En milieu paysan l'intervention est faite parfois dans des conditions d'humidité insuffisantes.

Il faut signaler qu'au-delà de quelques insuffisances techniques comme on l'observe sur la réalisation du scarifiage en milieu paysan :

- Animaux de trait de petit gabarit et par conséquent avec une faible capacité de traction. (photo 3a)

- Mauvais état des socs ce qui conduit les paysans à alourdir l'outil avec un rocher pour le travail. (photo 3b)

- Attelage par système de joug de garrot mal conçu limitant la capacité de traction des animaux par une gêne respiratoire et des points douloureux sur l'encolure et le garrot. (photo 3b).

Il faut remarquer que compte tenu de la résistance spécifique des sols de la région qui ont environ 15 % d'argile, il faut que la paire de bœuf soit d'un gabarit important comme ce que l'on a en Station (photo 4 a) pour faire un labour à 15 cm de profondeur.

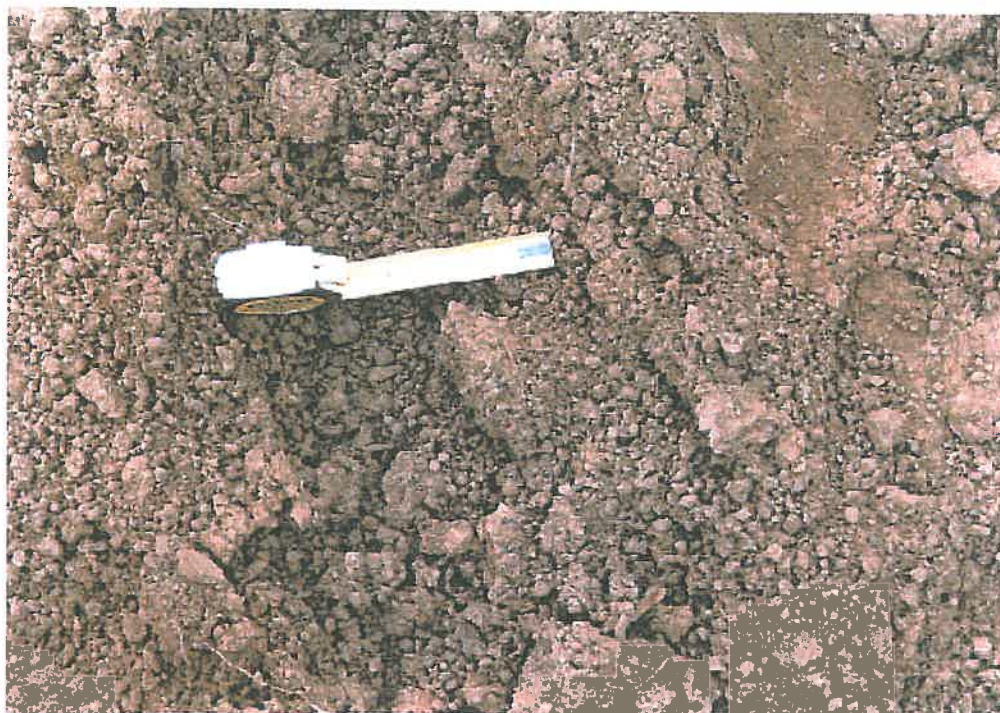


Figure 1 (Photo 1): Etat de surface d'un sol après labour en milieu paysan.



Figure 2 :(Photo 2) :Etat de surface d'un sol après labour en Station



Figure 3 : (Photo 3a), 3b) : Réalisation du scarifiage en traction bovine en milieu paysan. Sur ces deux photographies on présente l'attelage en œuvre pour l'opération. La houe manga qui est un cultivateur avec un cadre à expansion angulaire a les socs usés. Le paysan alourdi l'outil afin qu'elle pénètre dans le sol. L'effort qui est fourni par les animaux est transformé en grande partie en frottement.

La capacité de traction des animaux est limitée par un mauvais harnachement. Le joug de garrot a des angles vifs qui crée des points douloureux sur les animaux en traction. Le collier du joug est constitué de fer à béton qui en travail limite la capacité respiratoire des animaux et donc leur effort de traction. Des améliorations doivent être faites sur ce plan.

**Photo 4a)**

Attelage pour la mise en œuvre du travail du sol en sec en traction bovine. (On remarque que le joug des animaux dispose de coussins qui sont destinés éviter les points de douleur sur le garrot des animaux)



Dent RS8 montée sur le Bâtit d'une Houe Sine.

**Photo 4c)**

Le travail du sol est réalisé perpendiculairement à la pente du terrain de sorte à ralentir le l'écoulement des

Figure 4 : (Photo 4a), 4b), 4c)) : réalisation du travail du sol à la dent RS8



Photo 5a)

La dent de travail du sol en sec RS8 peut être une alternative au labour pour la préparation du sol dans des zones difficiles. Il prend 15 heures par hectare et sa mise en œuvre se fait pendant la saison sèche.

On obtient un état de surface assez motteux favorables à l'infiltration, pour une profondeur de travail de 10 cm

Photo 5b)

La profondeur de travail est de 10 cm

Figure 5 : (Photo 5a), 5b)) : Etat de surface d'un sol après travail du à la dent RS8



Figure 6 : (Photo 6) : Effet de la période de stress du début du cycle en 1998 en Station



Figure 7 : (Photo7) : Profil de comptage des impacts racinaire sur le sorgho en Station



Photo 8 : La photo montre le développement végétatif du semis du 14 mai et celui du 22 juin sur le grattage. La photographie est faite le 31 juillet soit 75 JAS pour le premier semis et 40 JAS pour le second semis.



Figure 9 (Photo 9) : Elle montre le développement végétatif des mêmes semis sur le scarifiage. On observe un développement plus important sur la parcelle de scarifiage avec le semis du 22 juin. Les plantes sur le grattage semé le 22 juin sont plus petites. Le développement des plantes semées le 14 mai n'est pas différent de ceux du même semis sur le grattage.



Figure 10 : (Photo) : Elle présente les parcelles de labour en station. Le semis du 22 juin y est plus développé que celui du scarifiage. Le semis tardif du 9 juillet a des plantes petites à cette date. Les plantes n'ont que 20 jas.

RESUME :

Le sorgho, principale culture céréalière du Burkina Faso a des rendements stagnants en dépit des efforts de la recherche agricole et de la diffusion des techniques améliorées.

Dans la zone étudiée, entre 1997 et 1998, les variétés photosensibles des paysans dans la région de Saria ont présenté des rendements compris entre 0,12 à 3,34 t/ha. Cette variabilité est liée à la localisation des parcelles et aux techniques culturales. Le rendement en grains de la culture n'augmente avec le labour ni en milieu paysan, ni en station expérimentale, malgré, en principe, ses multiples effets bénéfiques. Le semis précoce semble être le facteur le plus déterminant des bons rendements. Le rendement par hectare peut baisser par jour de retard, quand le semis est fait après la date limite du 15 juin. La maîtrise des adventices (notamment le striga), par la réalisation des sarclages est aussi un facteur déterminant de l'accroissement des rendements en grains.

L'appréciation de la faisabilité du travail du sol montre dans cette région que le labour permet à un agriculteur de préparer une surface de 4 ha, le scarifiage en traction animale de 20 ha, et 7 ha pour le grattage.

Le scarifiage avec traction animale, compte tenu de ses multiples effets, de sa facilité de mise en œuvre, et de sa vitesse de réalisation, s'est révélé être une technique bien adaptée à la zone centre du Pays.

Soil tillage effect on photoperiodic sorghum production and its using in Saria zone (Burkina Faso)

ABSTRACT:

Sorghum is the main grain food crop in Burkina Faso. However, grain yield over years is rather low, despite significant efforts realised in terms of research and extension for improved technologies.

From 1997 to 1998, in the Saria zone, photosensitive varieties grain yield were ranging from 0.12 to 3.34 t/ha. This wide yield range is related to topographic situation and farmers cropping systems. Neither on experimental station nor on farms, grain yields are significantly different between ploughing, scarifying and manual soil tillage, despite its different impacts on root length density. In most cases, early sorghum sowing provides better rooting pattern. Grain yield per hectare decreases when sowing is done beyond June 15. The control of weeds such as striga, through repeated weeding operations plays a main function for the grain yield increase. The assessment of soil tillage feasibility indicates that in Saria zone the field plot size which can be prepared depends of the kind of tillage: 4 ha for ploughing, 7 ha for manual soil tillage and 20 ha for animal-scarifying.

Due to its multiple positive effects on the sorghum growing combined with its easy implementation, animal-scarifying technique which allows early and rapid soil preparation seems to be adapted to the central part of the country.

Keys Words: Burkina Faso, Sorghum, Soil tillage, Ploughing, Scarifying, Roots leng,

Discipline : Sciences du sol.

MOTS-CLES : Sorgho, Travail du sol, Racines, Labour, Scarifiage, Burkina Faso.

Thèse préparée au sein
de l'INERA et du CIRAD
en collaboration avec la
CHAIRE DE SCIENCES DE SOL DE L'ENSAM